МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

**СБОРНИК ТРУДОВ
XIX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

15–19 апреля 2013 г.

В трех томах

Том 1

Издательство
Томского политехнического университета
2013

УДК 62.001.001.5(063)
ББК 30.1л.0
С56

С56 **Современные техника и технологии**: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 445 с.

Сборник содержит научные статьи студентов, аспирантов и молодых ученых – участников ежегодной Международной конференции «Современные техника и технологии», разделенные по научным направлениям: электроэнергетика; приборостроение; технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств; электромеханика; системы и приборы медицинского назначения.

Материалы сборника представляют интерес для специалистов, преподавателей, исследователей в сфере энергетики, электромеханики, приборостроения, машиностроения, медицинской техники.

УДК 62.001.001.5 (063)
ББК 30.1л.0

Редакционная коллегия сборника

Сидорова О.В., эксперт ЦНК УМАД НУ
Сивков А.А., д.т.н., профессор кафедры ЭСПП ЭНИН, председатель секции № 1
СилушкинС.В., старший преподаватель кафедры КИСМ ИК, председатель секции № 2
Мартюшев Н.В., к.т.н., доцент кафедры МТМ ИФВТ ТПУ, председатель секции № 3
Муравлев О.П., д.т.н., профессор кафедры ЭМКМ ЭНИН, председатель секции № 4
Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ПМЭ ИНК, председатель секции №5

Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание представленной научной информации ответственность несут авторы докладов.

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2013
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2013

СЕКЦИЯ 1

Электроэнергетика

SECTION 1

Power industry

ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

Манусов В.З., Александров Н.В.
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: alexandrov-88@mail.ru

Развитие электроэнергетических систем (ЭЭС) требует повышения их энергоэффективности и технического совершенствования. Традиционные силовые трансформаторы имеют достаточно высокий коэффициент полезного действия (КПД), однако, увеличение стоимости электрической энергии, вследствие увеличения стоимости топлива, стимулируют интенсивные поиски путей рационального использования электроэнергии, в том числе и в силовых трансформаторах. Около 50% технических потерь при передаче и распределении приходится именно на трансформаторы, из-за их большого количества в ЭЭС, которое обуславливается многоступенчатой системой повышения/понижения напряжения.

После открытия высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) в 1986 году появилась возможность создания трансформаторов со сниженными потерями (уменьшение потерь до 90%) и улучшенным массогабаритными характеристиками (уменьшение массы и габаритов до 40%). Обмотки в ВТСП трансформаторе охлаждаются с помощью жидкого азота (температура 65-77 К), что позволяет получить высококачественную пожаро- взрывобезопасную изоляцию, при этом мощность затрачиваемая на охлаждение существенно снижается. Стоит отметить, что использование ВТСП трансформаторов целесообразно для мощностей от 10 МВА вследствие использования криогенной техники. Применение ВТСП обмоток позволяет не только снизить потери, но и ограничивать токи короткого замыкания (КЗ)[1].

Рассмотрим ВТСП трансформатор с токоограничивающей функцией и возможность снижения ударного тока КЗ. На сегодняшний день сверхпроводящие ленты второго поколения являются самыми перспективными. Структура ВТСП провода приведена на рис. 1. Ширина ленты может составлять от 4 мм до 12 мм.

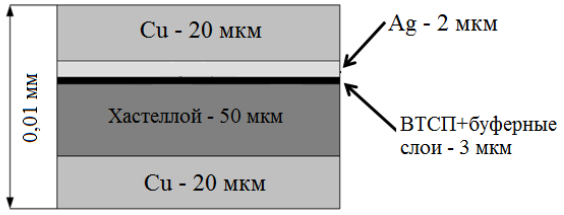


Рис. 1. Структура ВТСП провода второго поколения SCS4050 производства фирмы SuperPower

При превышении тока, протекающего по обмотке трансформатора, критического тока $I_C(T)$ ВТСП провод выходит из сверхпроводящего состояния (СП) в нормальное состояние. При этом сопротивление СП слоя в проводе значительно увеличивается, и весь ток вытесняется в другие слои ВТСП провода. Последние в силу небольшого поперечного сечения провода ограничивают ток КЗ. ВТСП являются неидеальными сверхпроводниками второго рода, т.е. переход из сверхпроводящего состояния в нормальное состояние происходит не сразу, а имеется промежуточное смешанное состояние, при котором магнитное поле еще не полностью проникает в тело сверхпроводника (сверхпроводник является диамагнетиком, не пропускает внутрь магнитное поле). Смешанное состояние существует в пределах от первого критического тока I_{K1} до второго критического тока I_{K2}. В этом состоянии ток протекает как по сверхпроводящему слою, так и по несверхпроводящим слоям, тогда активное сопротивление (удельное) ВТСП провода определяется эквивалентным сопротивлением СП слоя и несверхпроводящих слоев

$$R_Э(I,T)=\frac{R_{НС}(T)\cdot R_{СП}(I,T)}{R_{НС}(T)+R_{СП}(I,T)},$$

где $R_{НС}$ - сопротивление несверхпроводящих слоев; $R_{СП}$ - сопротивление СП слоя; I - ток, протекающий по проводнику; T - температура провода.

Величина сопротивления СП слоя может быть найдена из вольт-амперной характеристики ВТСП материала [2]:

$$R_{СП}(I,T)=10^{-6}\left(\frac{I}{I_C(T)}\right)^N\frac{1}{I},$$

$$I_C(T)=-\left(\frac{I_{C0}}{0{,}1848}\right)\ln\left(\frac{T}{77}\right),$$

где N - показатель степени вольт-амперной характеристики ВТСП провода, определяющий качество сверхпроводника; $I_C(T)$ - критический ток ВТСП провода при температуре T (при температурах свыше 90 К $I_C(T)$ равно нулю.); I_{C0} - критический ток в собственном поле при 77 К.

Активное сопротивление несверхпроводящих слоев определяется как

$$R_{НС}(T)=\frac{1}{1/R_{БС}(T)+1/R_{Ag}(T)+1/R_M(T)+1/R_{Хаст}(T)},$$

где $R_{БС}(T)$ - сопротивление буферных слоев; $R_{Ag}(T)$ - сопротивление слоя серебра; $R_M(T)$ -

сопротивление медного слоя; $R_{Хаст}(T)$ - сопротивление хастеллоя.

При известном $R_Э(I,T)$ может быть найдена длина кабеля в ограничивающем слое обмотки

$$l_{ПР}=\frac{R_{Треб}n_B n_{Ш}}{R_Э(I,T)},$$

где $R_{Треб}$ - требуемое сопротивление для ограничения тока КЗ; n_B и $n_{Ш}$ - число слоев в обмотке по высоте и ширине соответственно.

Ток КЗ протекающий по цепи

$$i(t)=\frac{U_m[\sin(\omega t+\alpha-\varphi_K)-\sin(\alpha-\varphi_K)e^{-\frac{R_\Sigma t}{L_\Sigma}}]}{Z},$$

где α - фаза включения; φ_K - угол сдвига тока в цепи; R_Σ - суммарное активное сопротивление цепи; L_Σ - суммарная индуктивность цепи; Z - полное сопротивление цепи.

Для определения условия возврата в сверхпроводящее состояние во время бестоковой паузы необходимо определить количество тепла, выделившееся во время КЗ

$$Q(I,T)=\int_0^{t_1} I^2R(T)dt\,.$$

Увеличение температуры провода вследствие тепловыделения определяется выражением [2]

$$C\frac{dT(I,T)}{dt}=Q(I,T)-Aq(T),$$

где C - полная теплоемкость провода; A - площадь поверхности охлаждения; q - плотность теплового потока, отводимого в жидкий азот с поверхности обмотки.

Уравнения должны решаться совместно. В итоге получаем нестационарное уравнение теплопроводности, которое описывает изменение температуры токоограничивающей части обмотки в зависимости от тока, протекающего по цепи, и времени

$$T(t)=T_0+\Delta T(t)=T_0+\frac{Q(I,T)-W}{C(T)},$$

где T_0 - начальная температура (77К).

Из всего вышесказанного вытекает общая математическая модель ограничения тока КЗ с помощью трансформатора с ВТСП обмотками, основанная на решении нестационарного уравнения теплопроводности и дифференциального уравнения тока короткого замыкания

$$\begin{cases} R_T=0, & I<I_{K1} \\ R_T=\dfrac{R_{НС}(T)\cdot R_{СП}(I,T)}{R_{НС}(T)+R_{СП}(I,T)}, & I_{K1}<I<I_{K2} \\ R_T=R_{НС}(T), & I>I_{K2} \\ R_T=f(T), \text{ после отключения КЗ}, & I=0. \end{cases}$$

В табл.1 приведены параметры сверхпроводящих трансформаторов (СПТ) с разными типами ВТСП проводов. Провода SF12050, SCS12050 SCS4050 производится фирмой SuperPower, провода 344C, 344S – фирмой American Superconductor. На данный момент эти фирмы являются лидерами в области производства ВТСП второго поколения.

Таблица 1. Параметры СПТ

Тип ВТСП провода	R обмотки ВН/НН в резистивном состоянии, Ом	$u_{кз}$ в СП состоянии, %	$u_{кз}$ в резистивном состоянии, %	$I_{кз}$, А
SF12050	34/0,89	4,32	20,78	966,1
SCS12050	2,83/0,07	4,32	4,63	4334
SCS4050	2,84/0,07	5,35	5,61	3574
344C	0,8/0,02	6,12	6,13	3270
344S	44/1,03	6,96	25,7	780

Как видно из таблицы, варьированием параметров проводов можно добиться нужных характеристик трансформатора при ограничении тока КЗ.

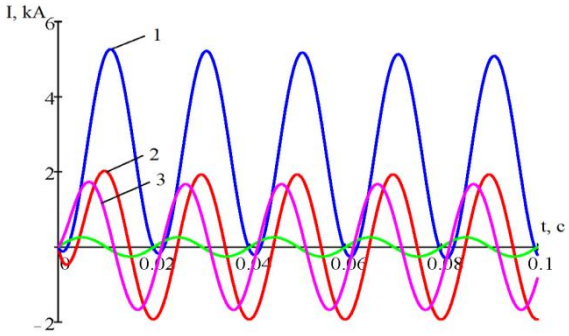


Рис. 2. Токи КЗ: 1 – без ограничения, 2 – при ограничении СПТ с проводом SF12050, 3 - при ограничении СПТ с проводом 344S

Из графиков видно, что при резистивном ограничении в значительной мере снижается ударный ток короткого замыкания.

Использование функции ограничения в ВТСП трансформаторах позволит повысить надежность электроснабжения, улучшить технико-экономические показатели по сравнению со случаем использования отдельного сверхпроводящего ограничителя тока.

Список литературы

1. Манусов В.З., Александров Н.В. Эффективность применения высокотемпературных сверхпроводящих трансформаторов в электроэнергетических системах / В.З. Манусов, Н.В. Александров // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. №1. С. 358-361.

2. T. Hardjono, C. David. Cook & S. Perera, "Behavioral Modeling of High Temperature Superconducting Wires and Coils for Power Engineering Applications," in AUPEC 2000. Innovation for Secure Power., 2000, pp. 307-312.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ РАДИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Анисимова Н.В.
Научный руководитель: Грачева Е.И., к.т.н., доцент
Казанский государственный энергетический университет,
420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51
E-mail: natalianis.vik@mail.ru

Цеховые сети напряжением до 1000В внутризаводских систем электроснабжения вследствие их большой протяженности характеризуются довольно высокими потерямиэлектроэнергии (ЭЭ). При наблюдаемом росте стоимости электроэнергии актуально повышение точности расчетов потерь в этих сетях.

Определение потерь ЭЭ в цеховых сетях является задачей, решаемой в условиях неопределенности, поскольку имеется неопределенность в исходных данных, обусловленная неточными значениями длин и количества линий сети, температурными режимами, эксплуатационными характеристиками оборудования и т.п.

Для более точного определения потерь ЭЭ представляется целесообразным применение специализированных моделей, параметры которых легко находятся отдельно для каждой конкретной цеховой сети. При составлении таких моделей все линии радиальной цеховой сети заменяются одной эквивалентной линией.

В такой ситуации целесообразно воспользоваться методами регрессионного анализа и теории планирования эксперимента, на основе которых в ряде случаев можно получить вероятностно-статистические модели, реализующие зависимость эквивалентного сопротивления сети от ее обобщенных параметров.

Для решения задачи интерполяции [1], в которой функцией цели выступают потери мощности и эквивалентное сопротивление цеховой сети, в качестве факториальных признаков нами выбраны основные обобщенные параметры радиальной цеховой сети:

x_1 – отношение суммарной длины линий цеховой сети к количеству линий, т.е. средняя длина линий

$$l_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} l_i}{n}$$

где l_i – длина i-й линии цеховой сети, м; n – количество линий;

x_2 – величина, равная количеству линий n;

x_3 – величина, равная эквивалентному удельному сопротивлению линий сети $r_{э20}$ при 20 ºС;

$$r_{э20} = 31{,}3\frac{\sum_{i=1}^{n} l_i}{\sum_{i=1}^{n} S_i l_i}$$

где S_i – сечение i-й линии, мм²; $31{,}3/S_i$ – сопротивление 1 м алюминиевой линии сечением S_i при 20 ºС, Ом/м; в случае, когда часть линий сети выполнена проводами или кабелями с медными жилами, используется величина $18{,}5/S_i$;

x_4 – квадрат среднеквадратичного коэффициента загрузки линий сети

$$k_з^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_{зi}^2}{n}$$

где $k_{зi} = I_i/I_{номi}$– коэффициент загрузки i-й линии; I_i – ток в i-й линии, А; $I_{номi}$– номинальный ток в линии S_i-го сечения, А.

При этом принимается, что на линии установлены два автоматических выключателя;

x_5 – температура окружающей среды θ_o, °С.

С параметром фактора x_3 имеет прямую связь величина сопротивления коммутационных аппаратов, принятых к установке на линии данного сечения. Определив по значению x_3 номинальный ток линии, можно вычислить сопротивление аппарата, используя аналитические зависимости сопротивлений коммутационных аппаратов от номинального тока [2].

Первоначальные диапазоны варьирования факторов охватывают сети со средней площадью цехов, средняя длина линий сети заключена в пределах от 10 до 100 м при количестве линий от 10 до 20; номинальная мощность цеховых трансформаторов – 250–1600 кВ·А, чему соответствует предел изменения средней величины сечения линий от 16 до 120 мм² (рис.1). При этом допустимый суммарный ток линий – 380–2400 А (при полной их загрузке). Диапазон изменения коэффициента загрузки линий находится в пределах от 0,3 (что соответствует малонагруженной сети) до 1 (что соответствует полностью загруженной сети). Для температуры окружающей среды приняты пределы, соответствующие крайним значениям температуры помещений цехов +5 – +35 °С.

Первоначальные границы изменения факторов представлены в табл. 1, где $\Delta X_i = \frac{X_{imax} - X_{imin}}{2}$.

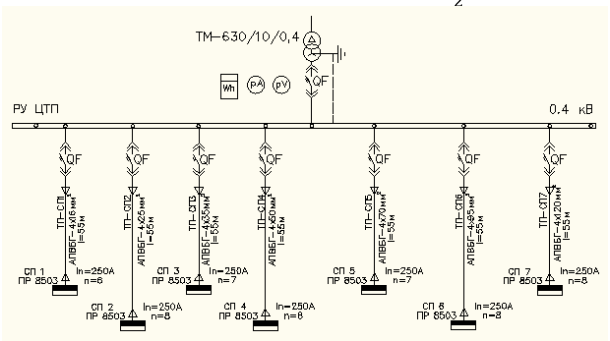


Рис.1. Радиальная схема цеховой электрической сети

Таблица 1. Первоначальные границы изменения факторов

Фактор	X_{imin}	X_{icp}	X_{imax}	ΔX_i
$x_1 \rightarrow l_{ср}$, м	10	55	100	45
$x_2 \rightarrow$ n	10	15	20	5
$x_3 \rightarrow r_{э20}$, мОм/м	1,956	1,108	0,261	0,848
$x_4 \rightarrow k_з^2$	0,09	0,545	1,00	0,455
$x_5 \rightarrow \theta_о$, °С	5	20	35	15

Таким образом, эквивалентное сопротивление радиальных сетей вычисляем по выражению

$$R = \left\{ r_{э20} \cdot l[1 + 0.004(\theta_ж - 20)] + \sum r_k \right\} \cdot \frac{1}{n}, \quad (1)$$

$$\theta_ж = k_з^2(80 - \theta_0) + \theta_0 \quad (2)$$

где $\theta_ж$ – температура жилы кабеля, 80 – допустимая температура нагрева жилы кабеля.

Для многофакторной корреляционной модели рассматривается следующая форма связи результативного показателя с факториальными:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{15}x_1x_5 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{25}x_2x_5 + b_{34}x_3x_4 + b_{35}x_3x_5 + b_{45}x_4x_5 \quad (3)$$

Для разработки математической модели потерь ЭЭвоспользуемся дробным факторным экспериментом (ДФЭ) типа 2^{5-1} с генерирующим соотношением $x_5 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$ [3]. Этот план позволяет раздельно оценить линейные эффекты и парные взаимодействия. Тройными и выше взаимодействиями пренебрегаем.Значения функции цели при различных диапазонах варьирования факторов вычисляем, используя выражение (1) – (2) применительно к радиальной сети.

В уравнении (3) коэффициенты $b_0 \ldots b_{45}$– искомые коэффициенты уравнения регрессии, вычисляемые по методу наименьших квадратов [4].

Представленный алгоритм расчета подробно реализован в работе [2].

После вычисления значений коэффициентов b_i и b_{ij} полином (3) примет вид регрессионных зависимостей $R_э$ – эквивалентного сопротивления цеховой сети и ΔР – потерь мощности

$$R_э = 5{,}4 + 4{,}2x_1 - 1{,}7x_2 - 3{,}9x_3 + 0{,}53x_4 + 0{,}23x_5 - 1{,}3x_1x_2 - 3{,}19x_1x_3 + 0{,}44x_1x_4 + 0{,}22x_1x_5 + 1{,}22x_2x_3 - 0{,}24x_2x_4 - 0{,}35x_2x_5 - 0{,}4x_3x_4 - 0{,}23x_3x_5 + 0{,}95x_4x_5; \quad (4)$$

$$\Delta P = 48 + 36{,}4x_1 - 16x_2 - 11{,}2x_3 + 41{,}5x_4 + 3{,}34x_5 - 12x_1x_2 - 11x_1x_3 + 31{,}4x_1x_4 - 11{,}05x_1x_5 + 3{,}62x_2x_3 - 13{,}9x_2x_4 - 9{,}6x_2x_5 - 9{,}8x_3x_4 - 10{,}5x_3x_5 + 3{,}53x_4x_5. \quad (5)$$

После исключения незначимых коэффициентов $b_{15} = 0{,}22$; $b_{25} = -0{,}35$; $b_{35} = -0{,}23$ в полиноме (4) и $b_{15} = -11{,}05$; $b_{25} = -9{,}6$; $b_{45} = 3{,}53$ в полиноме (5) они примут следующий вид:

$$R_э = 5{,}4 + 4{,}2x_1 - 1{,}7x_2 - 3{,}9x_3 + 0{,}53x_4 + 0{,}23x_5 - 1{,}3x_1x_2 - 3{,}19x_1x_3 + 0{,}44x_1x_4 + 1{,}22x_2x_3 - 0{,}24x_2x_4 - 0{,}4x_3x_4 + 0{,}95x_4x_5; \quad (6)$$

$$\Delta P = 48 + 36{,}4x_1 - 16x_2 - 11{,}2x_3 + 41{,}5x_4 + 3{,}34x_5 - 12x_1x_2 - 11x_1x_3 + 31{,}4x_1x_4 + 3{,}62x_2x_3 - 13{,}9x_2x_4 - 9{,}8x_3x_4 - 10{,}5x_3x_5. \quad (7)$$

Запишем полиномы (6) и (7) в натуральных величинах. Для преобразования воспользуемся выражением

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}$$

где $\tilde{x}_i$ – кодированное значение фактора; x_i– действительное значение фактора; x_{i0} – нулевой уровень фактора; Δx_i– шаг варьирования фактора.

После подстановки значений кодированных факторов в уравнение регрессии и преобразований получим полиномы в натуральном масштабе, которые будут иметь вид:

$$R_э = 2{,}5 + 1{,}3 \cdot l_{ср} - 0{,}01 \cdot n + 6{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot s + 0{,}16 \cdot k_з^2 + 0{,}002\theta_0 - 6{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot l_{ср} \cdot n + 1{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot l_{ср} \cdot s + 0{,}003 \cdot l_{ср} \cdot k_з^2 - 4{,}03 \cdot 10^{-5} \cdot n \cdot s - 0{,}007 \cdot n \cdot k_з^2 - 1{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot s \cdot k_з^2 - 1{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot k_з^2 \cdot \theta_0;$$

$$\Delta P = 5{,}47 - 0{,}1 \cdot l_{ср} + 0{,}3 \cdot n + 0{,}1 \cdot s + 15{,}9 \cdot k_з^2 - 0{,}9 \cdot \theta_0 - 0{,}01 \cdot l_{ср} \cdot n + 0{,}002 \cdot l_{ср} \cdot s + 0{,}3 \cdot l_{ср} \cdot k_з^2 - 0{,}01 \cdot n \cdot s - 1{,}5 \cdot n \cdot k_з^2 + 0{,}3 \cdot s \cdot k_з^2 - 0{,}003 \cdot s \cdot \theta_0,$$

где входящие в полиномы величины имеют следующие размерности: $R_э$ – [мОм];ΔР – [кВт];$l_{ср}$ – [м];$r_{э20}$– [мОм/м];θ_0– [°С].

Таким образом, вероятностно-статистические модели для нахождения эквивалентного сопротивления R и потерь мощности цеховых сетей позволяют учесть такие параметры как длина, количество, сечение линий сети, температура окружающей среды, число коммутационных аппаратов на линии. Подобные модели достаточно точно учитывают динамику изменения схем электрических сетей и, значит, пригодны для многократного использования.

Список литературы

1. Ивоботенко Б.А. Планирование эксперимента в электромеханике / Б.А. Ивоботенко и др. – М.: Энергия, 1975. – 184 с.

2. Грачева Е.И. Потери электроэнергии в низковольтных сетях: Монография / Е.И. Грачева. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2004. – 78 с., 85 с.

3. Маркушевич Н.С. Регулирование напряжения и экономия электроэнергии / Н.С. Маркушевич. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 104 с.

4. Иванова В.М. Математическая статистика / В.М. Иванова, В.Н. Калинина, Л.А. Нешумова. – М.: Высш. шк., 1981. – 371 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Анисимова Н.В.
Научный руководитель: Грачева Е.И., к.т.н., доцент
Казанский государственный энергетический университет,
420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51
E-mail: natalianis.vik@mail.ru

В состав энергосистемы входит несколько тысяч линий электропередач напряжением до 1000 В. Такие сети являются важнейшим звеном в системе электроснабжения предприятий, в связи с чем, выдвигаются новые требования к учету потерь электроэнергии (ЭЭ) в сетях низкого напряжения.

Процесс изменения нагрузок является совокупностью реализаций случайных процессов, поэтому получить достаточно полную информацию о режимных параметрах сети практически затруднительно. Вследствие этого чаще применяются вероятностно-статистические методы определения потерь, которые являются оценочными. Наиболее распространенным из таких методов оценки потерь ЭЭ в электрических сетях является регрессионный анализ, позволяющий получить уравнение регрессии, связывающее потери с воздействующими на них обобщенными факторами.

Линии магистральных сетей (рис.1), как правило, представляют собой шинопроводы с распределенной электрической нагрузкой. В качестве параметров, определяющих потери ЭЭ и эквивалентное сопротивление, выступают такие величины, как длина шинопровода, количество приемников, подключенных к шинопроводу и т.д.

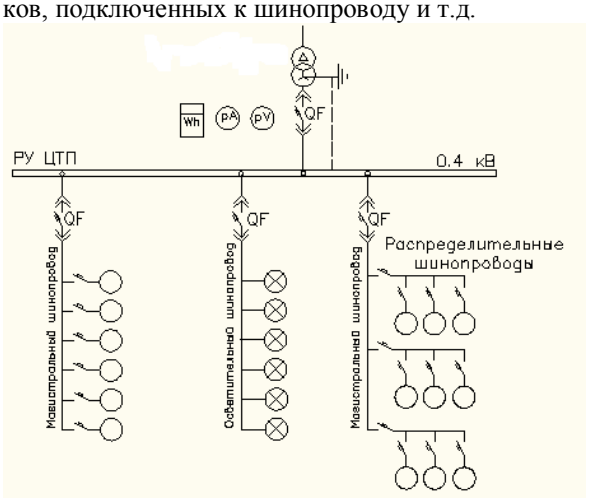


Рис.1. Магистральная схема цеховой электрической сети

Потери мощности в магистральных сетях определяются по выражению

$$\Delta P_{ш} = 3I_э^2 R_{эш} \quad (1)$$

где $R_{эш}$ – эквивалентное сопротивление шинопровода, вычисляемое из уравнения

$$R_{эш} = \left[r_{э20} \cdot l \cdot \frac{1}{6\left(1+\frac{1}{n}\right)\left(2+\frac{1}{n}\right)} + \frac{r_n}{n}\right] \cdot [1 + \alpha(\theta - \theta_0)] + \frac{r_k}{n} \quad (2)$$

Здесь r_{20} – сопротивление 1м шинопровода при 20 °С, мОм;

l – длина шинопровода, м;

n – количество приемников, присоединенных к шинопроводу;

r_n – сопротивление провода ответвления от шинопровода, мОм;

$I_э$ – эффективный ток, А;

$r_к$ – сопротивление коммутационного аппарата ответвления, мОм;

α – температурный коэффициент увеличения сопротивления, 1/°С;

θ – температура шинопровода, °С;

θ_0– температура окружающей среды, °С.

В качестве факторов используем следующие обобщенные параметры:

x_1 – суммарная длина шинопровода, l, м;

x_2 – величина, равная количеству присоединенных к шинопроводу приемников, n;

x_3 – величина, равная r_{20}, где $r_{20} = 52/I_н$ мОм/м (Iн – номинальный ток шинопровода, А); отношение $52/I_н$ представляет собой сопротивление 1 м шинопровода при 20 °С;

x_4 – квадрат коэффициента загрузки шинопровода, $k_з^2$;

x_5 – температура окружающей среды, θ_0, °С.

При известных величинах номинального тока шинопровода, коэффициента загрузки шинопровода, известном количестве присоединенных приемников можно определить ток, потребляемый одним приемником, по выражению

$$I_n = \frac{I_н}{n}.$$

В соответствии с током приемника определяется сопротивление коммутационного аппарата ответвления [1] и сопротивление провода ответвления от шинопровода к приемнику (длина ответвительного провода принимается равной в среднем 2 м).

Средние и граничные уровни каждого фактора представлены в табл. 1, где $\Delta X_i = \frac{X_{imax} - X_{imin}}{2}$.

Таблица 1. Уровни варьирования факторов

Фактор	X_{imin}	X_{icp}	X_{imax}	ΔX_i
$x_1 \rightarrow l$, м	14	32	50	18
$x_2 \rightarrow n$	8	11	14	3
$x_3 \rightarrow r_{20}$, мОм/м	0,200	0,143	0,085	0,058
$x_4 \rightarrow k_з^2$	0,250	0,625	1,00	0,375
$x_5 \rightarrow \theta_0$, °С	5	20	35	15

Диапазоны изменения обусловлены взаимосвязью таких факторов, как длина шинопровода и количество присоединенных приемников.

Для многофакторной корреляционной модели рассматривается следующая форма связи результативного показателя с факториальными:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + \\ + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{15}x_1x_5 + \\ + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{25}x_2x_5 + b_{34}x_3x_4 + \\ + b_{35}x_3x_5 + b_{45}x_4x_5 \quad (3)$$

В уравнении (3) коэффициенты $b_0 \dots b_{45}$ – искомые коэффициенты уравнения регрессии, вычисляемые по методу наименьших квадратов:

$$\mathrm{b_i} = \frac{\sum_{u=1}^{N} y_u \cdot x_{iu}}{N}; \mathrm{b_{ij}} = \frac{\sum_{u=1}^{N} y_u \cdot x_{iu} \cdot x_{ju}}{N},$$

где i, j – номера факторов; x_i, x_j – кодированные значения факторов (+1 или –1); y_u – значение выходной величины (потерь мощности и эквивалентного сопротивления); u – номер опыта; N – число опытов (в нашем случае N = 16).

Для разработки математической модели потерь ЭЭ воспользуемся дробным факторным экспериментом (ДФЭ) типа 2^{5-1}с генерирующим соотношением $x_5 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$ [2]. Этот план позволяет раздельно оценить линейные эффекты и парные взаимодействия. Тройными и выше взаимодействиями пренебрегаем. Значения функций цели – потери мощности и эквивалентного сопротивления шинопровода – вычислены в соответствии с выражениями (1) и (2).

Для исключения незначимых коэффициентов и вычисления разностей $|R_{эш} - \hat{R}_{эш}|$, $|\Delta P_ш - \widehat{\Delta P}_ш|$, а также для оценки погрешности моделей $\delta_R, \delta_{\Delta P}$ произведем расчеты значений функции цели в дополнительных точках [3].

После вычисления значений коэффициентов $\mathrm{b_i}$ и $\mathrm{b_{ij}}$ и исключения незначимых коэффициентов $b_{23} = 0{,}089$; $b_{25} = -0{,}0025$; $b_{45} = -0{,}01$ уравнение регрессии для определения эквивалентного сопротивления магистральных сетей будет

$$R_{эш} = 5{,}31 + 1{,}19x_1 - 0{,}074x_2 - 2{,}27x_3 - \\ - 0{,}63x_4 + 0{,}32x_5 - 0{,}083x_1x_2 - 0{,}41x_1x_3 + \\ + 0{,}15x_1x_4 - 0{,}31x_1x_5 + 0{,}24x_2x_4 + 0{,}18x_3x_4 - \\ - 0{,}18x_3x_5. \quad (4)$$

После вычисления значений коэффициентов $\mathrm{b_i}$ и $\mathrm{b_{ij}}$ и исключения незначимых коэффициентов $b_{15} = 196{,}3$; $b_{25} = 144{,}7$; $b_{35} = -1{,}0$ уравнение регрессии для определения потерь мощности будет иметь вид

$$\Delta P_ш = 1349{,}0 + 410{,}1x_1 - 0{,}4x_2 + 471{,}5x_3 + \\ + 675{,}8x_4 + 68{,}8x_5 - 20{,}6x_1x_2 + 196{,}3x_1x_3 + \\ + 285{,}3x_1x_4 - 21{,}7x_2x_3 + 4{,}6x_2x_4 + 214{,}3x_3x_4 + \\ + 28{,}7x_4x_5. \quad (5)$$

Таким образом, наибольшее влияние на эквивалентное сопротивление шинопровода оказывают его длина (коэффициент при факторе x_1 (длина) $b_1 = 1{,}19$) и удельная мощность (при реx_3 (мощность) $b_3 = 2{,}27$).

Причем при росте загрузки шинопровода (без изменения количества присоединенных приемников) увеличивается ток, потребляемый одним приемником, что приводит к уменьшению сопротивлений ответвительного провода и коммутационного аппарата ответвления. Этим объясняется уменьшение эквивалентного сопротивления шинопровода при росте его загрузки.

Наибольшее влияние на потери мощности в шинопроводе оказывают его длина (коэффициент при факторе x_1 (длина) $b_1 = 410{,}1$), удельная мощность (коэффициент при факторе x_3 (мощность) $b_3 = 471{,}5$) и загрузка шинопровода (при факторе x_4 (коэффициент загрузки) $b_4 = 675{,}8$). Менее сильно влияют количество присоединенных к шинопроводу приемников и температура окружающей среды.

Преобразуем полиномы (4) и (5) к виду в натуральных величинах по выражению

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}.$$

После преобразований полиномы в натуральном масштабе будут иметь вид

$$R_{эш} = 8{,}47 + 0{,}147 \cdot l - \frac{11{,}7}{n} - 2{,}76 \cdot r_{20} - 5{,}83 \cdot \\ \cdot k_з^2 + 0{,}088 \cdot \theta_0 - 0{,}164 \cdot \frac{l}{n} - 0{,}392 \cdot l \cdot r_{20} + \\ + 0{,}022 \cdot l \cdot k_з^2 + \frac{22{,}8 \cdot k_з^2}{n} + 8{,}29 \cdot k_з^2 \cdot r_{20} - 0{,}208 \cdot \\ \cdot \theta_0 \cdot r_{20},$$

$$\Delta P_ш = 5213{,}9 - 5{,}1 \cdot l - 3938{,}1 \cdot n + 9052{,}3 \cdot \\ \cdot r_{20} - 1494{,}4 \cdot k_з^2 - 359{,}3 \cdot \theta_0 - 40{,}9 \cdot l \cdot n + \\ + 188{,}0 \cdot l \cdot r_{20} + 42{,}3 \cdot l \cdot k_з^2 + 438{,}1 \cdot k_з^2 \cdot n + \\ + 9852{,}9 \cdot k_з^2 \cdot r_{20} - 13362 \cdot n \cdot r_{20} + 5{,}1 \cdot \theta_0 \cdot k_з^2,$$

где входящие в полиномы величины имеют следующие размерности: $R_{эш}$ – [мОм]; $\Delta P_ш$ – [кВт]; l – [м]; r_{20} – [мОм/м]; θ_0 – [°С].

Таким образом, разработанные регрессионные модели позволяют учитывать динамику схемных и режимных параметров схем низковольтных электрических сетей, а поэтому пригодны для многократного использования при оценке потерь мощности и электроэнергии.

Список литературы

1. Грачева Е.И. Определение потерь электроэнергии в низковольтных цеховых сетях промышленных предприятий и пути повышения надежности их работы / Е.И. Грачева, В.О. Иванов, Н.В. Денисова. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2008. – 60 с.

2. Маркушевич Н.С. Регулирование напряжения и экономия электроэнергии / Н.С. Маркушевич. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 104 с.

3. Грачева Е.И. Потери электроэнергии в низковольтных сетях: Монография / Е.И. Грачева. – Казань: Казан.гос. ун-т, 2004. – 78 с., 87 с.

КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 35-110 КВ

М.Ю. Аристархов
Научные руководители: В. П. Вдовико, к.т.н, с.н.с., главный специалист ООО «ЭМА»;
Н. П. Гужов, к.т.н, доцент
Новосибирский государственный технический университет
E-mail: maxim.aristarhov@ema.ru

Кабельные линии (КЛ) имеют большее значение по сравнению с другими способами передачи электроэнергии потребителю. Они, наряду с силовыми трансформаторами, относятся к числу основных фондов электроэнергетики, поэтому техническое состояние этих устройств существенным образом влияет на успешное функционирование промышленных предприятий. Надежность КЛ является одной из важнейших характеристик их эксплуатации.

В настоящее время согласно нормативно-техническому документу РД.34.45-51.300-97[1] КЛ должны периодически подвергаться испытаниям на электрическую прочность изоляции. Однако, эти испытания содержат в себе ряд недостатков, таких как:

- необходимость вывода КЛ из эксплуатации при испытаниях;
- применение разрушающих методов испытаний электрической изоляции без контроля образования дефектов;
- отсутствие технического обоснования для проведения испытаний;
- ухудшение свойств КЛ в результате коммутаций КЛ и др.

Для оценки технического состояния силовых КЛ наряду с регламентными испытаниями все чаще применяется диагностика неразрушающими методами контроля. Это такие методы, как:

1. методы, основанные на измерении характеристик частичных разрядов (ЧР), позволяющие обнаружить дефект и определить степень его опасности;
2. тепловизионный осмотр КЛ.

В последний период времени находит применение установка OWTS производства германской фирмы Seba KMT [2]. Эта установка аккумулирует в себе метод измерения частичных разрядов с затухающим осциллирующим напряжением. Применение данной установки позволяет определить:

- распределение и величину ЧР по длине линии;
- количество ЧР в проблемных местах;
- зависимость уровня ЧР от напряжения;
- напряжение возникновения ЧР;
- напряжение гашения ЧР;
- тангенс угла диэлектрических потерь;
- электрическую емкость.

Этот метод, являясь более эффективным по сравнению с методиками, описанными в [1], также обладает существенным недостатком, заключающимся в необходимости вывода КЛ из рабочего режима и отсутствием возможности контролировать состояние изоляции в периоды между испытаниями.

Для обеспечения требуемого уровня надежности КЛ методика определения технического состояния должна включать в себя комплексную оценку определенного числа параметров, характеризующих реальное состояние кабеля. В настоящее время мировая тенденция в диагностировании направлена на применение неразрушающих методов испытания и процесс определения технического состояния должен быть в режиме мониторинга под рабочим напряжением.

Учитывая необходимость применения более эффективного способа контроля, разработана система контроля технического состояния КЛ, которая позволяет на основании измеряемого –комплекса диагностических параметров в режиме мониторинга под рабочим напряжением и на основании их анализа проводить оценку технического состояния КЛ[3-5]. Это такие параметры как:

- кажущийся заряд ЧР;
- температура поверхности жилы;
- значение тока;
- значение напряжения.

Разработанная система контроля технического состояния КЛ представляет собой единую иерархическую трехуровневую распределённую систему измерения, преобразования, передачи и обработки диагностических параметров. Система работает в реальном времени в темпе протекания технологического процесса. Упрощенная структура системы представлена на рисунке 1.

Система разделяется на уровни:

- нижний уровень (сбора данных),
- средний уровень (преобразование первичных значений и передача на верхний уровень),
- верхний уровень (обработка данных, представление информации).

На рисунке 1 представлена система для одной фазы КЛ, другие фазы представлены упрощенно.

Средний и верхний уровни являются общими для всех фаз КЛ.

Определение значений данных нижнего уровня обеспечивается с помощью датчиков ЧР, датчиков температуры, трансформаторов тока и напряжения.

К среднему уровню относятся:

- модуль ввода МВА8;
- преобразователь протоколов Modbus-RTU/ASCII (RS-232/422/485) в Modbus/TCP (Ethernet) MOXA Mgate MB3180;
- измеритель ЧР Корона 20;
- промышленный компьютер Matrix MXE-3000 с установленным ПО для обработки сигналов с измерителя;
- многофункциональный измерительный преобразователь ION7330.

На среднем уровне осуществляется:

- обработка и анализ сигналов с датчиков нижнего уровня;
- передача результатов обработки на верхний уровень по протоколам Modbus/TCP, Modbus/RTU.

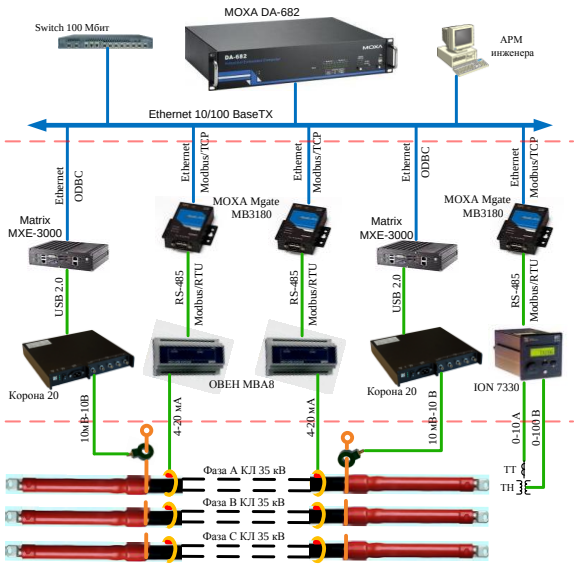


Рис. 1. Упрощенная структура системы контроля состояния

Связь датчиков нижнего уровня с оборудованием среднего уровня осуществляется с помощью кабеля (витая пара). Связь измерителя ЧР (Корона 20) и промышленного компьютера (Matrix MXE-3000) осуществляется по интерфейсу USB 2.0. Связь МВА8 и MOXA Mgate MB3180 организована по интерфейсу RS-485. Протокол передачи Modbus/RTU.

К верхнему уровню относятся:

- коммутатор 100 Мбит D-Link Des-1005;
- промышленный компьютер MOXA DA-682;
- АРМ инженера.

На верхнем уровне осуществляется:

- обработка и анализ сигналов с приборов среднего уровня:

1. определение технического состояния КЛ 35кВ;
2. расчет степени опасности дефекта;
3. расчет остаточного ресурса;

- передача результатов обработки на АРМ инженера;
- ведение журнала событий;
- контроль работоспособности устройств среднего и нижнего уровня;
- предоставление регламентированного доступа к данным и управлению.

Связь приборов среднего уровня с оборудованием верхнего уровня осуществляется по интерфейсу Ethernet по протоколам передачи Modbus/TCP, Modbus/RTU, ODBC.

Система может развиваться за счет подключения (на нижнем и среднем уровнях) новых датчиков, модулей дискретного и аналогового ввода/вывода, цифровых измерителей параметров электрической сети и других устройств, использующих стандартные протоколы связи(Modbus/RTU, Modbus/TCP, ODBC). Система может также интегрироваться в АСУ ТП.

Используя результаты измерения диагностических параметров и их анализа с помощью математических моделей, возможно оценить техническое состояние КЛ. Имеющиеся модели позволяют также определить прогнозируемое время отказа и остаточный ресурс.

Список литературы

1. РД.34.45-51.300-97 Объем и нормы испытаний электрооборудования. 1997 г.
2. А.В. Авдонин и др. Критерии для диагностики кабельных линий методом OWTS// Электро. 2010 г. №2
3. В.П. Вдовико. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. – Новосибирск: Наука, 2007. – 155 с.
4. В.П. Вдовико. Методология диагностирования высоковольтного электрооборудования. – Новосибирск: Наука, 2011. – 118 с.
5. Ю.П. Аксенов и др. Особенности диагностики кабельных линий 110-500 кВ// Электро. 2005 г. №4.
6. Л.Г. Сидельников, А.Г. Санников Техническое обслуживание силовых кабельных линий (6-35) кВ по техническому состоянию. – Пермь, 2005.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА

Барвинок М.Б.
Научный руководитель: Мытников А.В., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, ул. Усова, 8
E-mail: maximum87@inbox.ru

Введение

Целью представленной работы является исследование и разработка основ метода контроля состояния обмоток трансформаторов на разных его стадиях эксплуатации.

Современная энергетика ощущает острую потребность в новых методах диагностики электрического оборудования. В частности силовые трансформаторы (СТ), которые эксплуатируются уже по 25-40 лет и продолжают работать на износ. По данным Европейского цента анализа аварийных ситуаций в энергосистемах около 20-25% отказов и аварий мощных трансформаторов связано с повреждением обмоток. Часто такая ситуация приводит к пожару. Техническое состояние обмоток и магнитопровода в СТ контролируется при помощи методик, которые были разработаны еще в середине XX века, а потому не могу отвечать современным требованиям диагностики силового трансформатора.

Метод низковольтных импульсов (НВИ) [1] известен уже 25 лет, как наиболее чувствительный метод обнаружения остаточной деформации в обмотках силовых трансформаторов вследствие электродинамических воздействий.

Развитее данного метода способствует увеличению чувствительности к обнаружению возможных дефектов и получению более достоверной информации о техническом состоянии трансформатора.

Основы метода НВИ

Суть метода НВИ [2] состоит в том, что от специального генератора на одну из обмоток (или в нейтраль) трансформатора подается прямоугольный зондирующий импульс низкого напряжения (100–500 В) и одновременно осциллографируются реакции обмоток на воздействие этого импульса – напряжения на измерительных сопротивлениях, подключенных к другим обмоткам. В основе метода заложен принцип последовательного дефектографирования. То есть сначала при первичном дефектографировании на трансформаторе снимаются нормограммы, которые в дальнейшем будут сравниваться с дефектограммами – осциллограммами, полученными при последующих измерениях. Сравнение по определенной методике нормограмм и дефектограмм позволяет оценить состояние обмоток трансформатора. Изменения в дефектограмме по сравнению с нормограммой свидетельствуют о появлении электрических повреждений или механических деформаций. При отсутствии результатов первичного дефектографирования анализ состояния обмоток проводится путем сравнения разных фаз.

Подобная методика диагностики обмоток разрабатывалась в ВЭИ. Основная метода – применение импульсов амплитудой 85 В длительностью 1мкс, фронт 0..100 нс.

Наш подход состоит в применение импульса амплитудой около 100-300 В и длительностью 50 – 500 нс с фронтом 5-10 нс [1]

Меньшая длительность позволяет повысить чувствительность метода за счет формирования отклика только в емкостных элементах системы.

Результат – повышение достоверности измерений и точность постановки диагноза.

Таким образом, наше направление: развития технологии диагностики активных частей методом наносекундных импульсов.

Предполагаемые преимущества этого метода.

1) Повышение общей чувствительности импульсного метода диагностики по оценкам можно увидеть смещения обмоток на 2..3%

2) Увеличение точности в постановке диагноза состояния активной части.

3) Определение характера дефекта (межвитковое замыкание, замыкание на землю и т.п.

4) Определение степени развития дефекта.

Физическая основа предполагаемой нами методики состоит в том, что уменьшение длительности зондирующего (базового) импульса до уровня 50..300 нс с временем нарастания фронта 5..10 нс исключает появление тока в индуктивных элементах системы. Сигнал отклика в этом случае представляет собой падение напряжения только на емкостных элементах системы, что с свою очередь позволяет повысить чувствительность процедуры контроля состояния обмотки и как результат – существенно увеличить точность постановки диагноза.

Проведение моделирование показывает, что применение наносекундных импульсов может повысит точность и общую чувствительность метода. Анализ переходного процесса формируемого базовым импульсом в емкостных элементах системы позволит более точно выявлять возможные дефекты активных частей (осевые, радиальные, КЗ витки, замыкание витка на землю и т.д.)

Опыт проводился на модели двухобмоточного трансформатора, с выведенными на панель корпуса прибора отпайками. Зондирующий импульс с параметрами 200 В, 400 нс подавался на вход обмотки от импульсного генератора, собранного на базе схемы Введенского. На выводах этой же об

мотки регистрировался отклик, как при отсутствии, так и при наличие короткозамкнутых витков. В ходе экспериментов менялись количество и место расположения короткозамкнутых витков.



Рис. 1. Отклик с высоковольтной обмотки. Дефекты отсутствуют

Сделано это было, для удобства проведения опыта. Затем мы замыкаем витки обмотки, и смотрим, как изменился сигнал относительно первичного.



Рис. 2. Отклик с высоковольтной обмотки. В начале обмотки замкнуто 3 витка

На рис.2 можно отметить значительное изменение формы отклика. Таким образом, с помощью предложенной методики оказывается возможным выявлять такой дефект, как межвитковое замыкание.

Заключение

Опыт диагностики трансформаторов в условиях эксплуатации показал, что достоверная оценка механического состояния обмоток трансформаторов возможна даже при отсутствии результатов первичного дефектографирования [5].

Эксперименты выполненные на модели высоковольтной обмотки продемонстрировали возможность выявлять электрические повреждения (короткозамкнутые витки).

Дальнейшее совершенствование импульсного метода на основе зондирующего импульса наносекундной длительности будет направлено на создание технологии выявления следующих дефектов:

1) Межвитковые замыкания
2) Обрыв в обмотках
3) Междуфазное короткое замыкание обмотки
4) Замыкание на землю
5) Осевые и радиальные смещения обмотки

Т.о. метод импульсный метод контроля состояния обмоток обеспечивает надежное выявление всех видов механических деформаций, а также распрессовку обмоток. Применение данного метода позволяет обнаружить повреждения обмоток даже в тех случаях, когда изменение сопротивления значительно меньше нормируемого значения 3%.

Список литературы

1. Лех В., Тыминьски Л, Новый метод индикации повреждений при испытании трансформаторов на динамическую прочность, Электричество. 1966 №1
2. Диагностика обмоток силовых трансформаторов методом низковольтных импульсов, С. В Аликин, А. А. Дробышевский, Е. И Левицкая, М.А. Филатова. Электротехника, № 12, 1991.
3. Разработка технологии диагностики состояния обмоток трансформаторов и электродвигателей на основе импульсного метода, Лавринович Валерий Александрович, Мытников Алексей Владимирович, Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока № 2 2011, с 286-292.
4. Development of advanced control state technology of transformer and electric motor windings based on pulsed method, V.A. Lavrinovich, A.V. Lavrinovich, A.V. Mytnikov. Proceedings of 8th International Conference on“Technical and Physical Problems of Power Engineering”, 5-7 September 2012, Ostfold University College, Fredrikstad, Norway, pp. 82-85.
5. Development of advanced control state technology of transformer and electric motor windings based on pulsed method, V.A. Lavrinovich, A.V. Lavrinovich, A.V. Mytnikov. International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering”, December 2012, Issue 13, Volume 4, Number 4, pp. 149-153.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНОФОРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ.

Белоножко А.В., Соколова Р.А.
Научный руководитель: Смирнов С.В., д.т.н., профессор
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40
E-mail: anastasiya.belonozhko@gmail.com

Существует несколько способов получения светодиодов белого света, но в настоящее время самым эффективным и экономически выгодным является использование кристалла синего светодиода и нанесенного на него слоя желто-красного люминофора[1].

Эффективность белого светодиода напрямую зависит от характеристик фотолюминесцентного преобразователя, представляющего собой отвержденную люминофорную смесь из собственно люминофора и некоторой связки (обычно эпоксидная смола). Процессы превращения энергии в люминофорном слое и вывода преобразованной энергии из светодиода на сегодняшний день исследованы недостаточно. И, самое главное, для оценки эффективности преобразования энергии излучения необходима разработка модели, устанавливающего закономерности взаимосвязи параметров полупроводникового кристалла, люминофора и люминофорного слоя с характеристиками светодиода, в том числе с эффективностью[2].

Основными параметрами люминофора, влияющими, на эффективность светодиода, считаются: толщина покрытия, концентрация, гранулометрический состав.

Толщина слоя люминофора и концентрация люминофора в эпоксидной смоле определяют соотношение интенсивностей двух типов излучения, что позволяет оптимизировать такие характеристики светодиода белого свечения, как световая эффективность и индекс светопередачи.

Для выяснения оптимальных значений данных параметров были исследованы шесть образцов люминофоров: 5 образцов ФЛЖ-7-11 производство Россия, ООО НПК «Люминофор»: 4-1(296), 4-2(175), 4-5(86), 4-6(440), 4-7(558) и 1 образец AWB-3(210) производство Тайвань. В скобках указана толщина слоя люминофора в мкм.

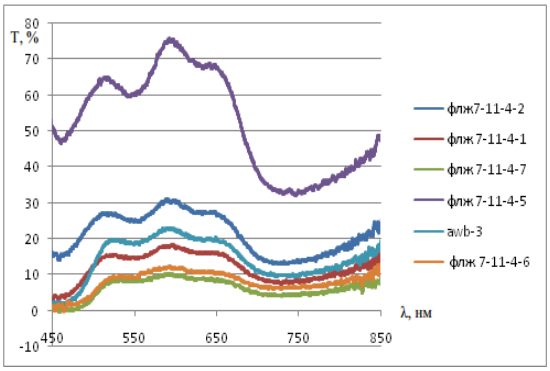


Рис. 1. Спектры пропускания люминофора при разной толщине слоя

На рисунке 1 представлены спектры пропускания излучения от мощного источника люминофора при различной толщине слоя люминофорного покрытия.

По данным спектрам пропускания (рисунок 1) можно сделать вывод, что толщина слоя люминофора оказывает огромное влияние на величину пропускаемой энергии. Так, образец толщиной 86 мкм недостаточно эффективно поглощает сине-голубую часть спектра, в результате чего полученный на выходе свет будет не чисто белый, а с холодным голубоватым оттенком. А образец с толщиной уже 246 мкм является слишком толстым, так как будет пропускать слишком мало энергии излучения синего светодиода. Далее были измерены спектры пропускания люминофора ФЛЖ-7-11 при различной концентрации порошка люминофора в компаунде.

По данным спектрам пропускания (рисунок 2) можно сделать вывод о необходимости подбора оптимальной концентрации порошка люминофора. Так как слишком низкая концентрация не обеспечит получение белого света, а высокая – будет являться причиной низкой светоотдачи из-за увеличения поглощения.

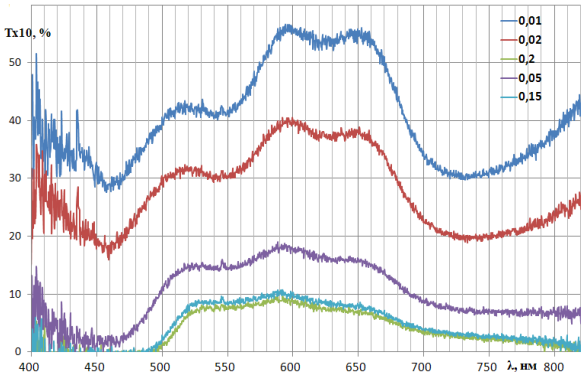
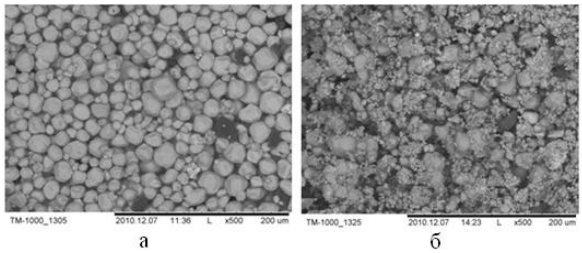


Рис. 2. Спектры пропускания при разной концентрации люминофора ФЛЖ-7-11

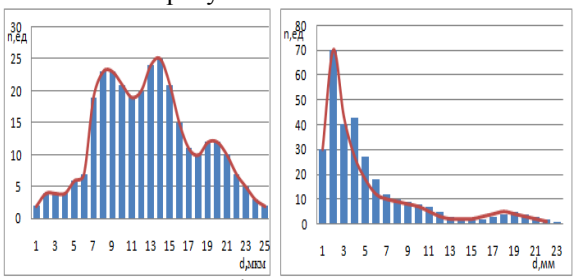
Также был проведен гранулометрический состав двух люминофоров, для выяснения зависимости световой отдачи от размера зерен люминофора. Как правило, более крупнозернистые экраны имеют большую световую отдачу. Однако использование крупнозернистых слоев люминофора в ряде случаев нецелесообразно.



а б

Рис. 3. Фотография порошка люминофора:
а)AWB-3; б) ФЛЖ-7-11

По полученным фотографиям построены гистограммы распределения зерен по размеру, представленные на рисунке 4.



а б

Рис. 4. Гистограммы распределения зерен люминофора:
а)AWB-3;б) ФЛЖ-7-11

Средний размер зерен люминофора AWB-3: 13,02 мкм. Зерна размером 1-10 мкм составляют 46% от всего объёма.

Средний размер зерен люминофора ФЛЖ-7-11 равен 5,6 мкм. Зерна размером 1-10 мкм составляют 85 %.

Из графиков видно, что распределения зерен по размерам подчиняется нормальному закону, но не являются симметричными, из-за наличия нескольких фракций в составе порошка, следовательно, вероятный размер зерна не совпадает со средним размером. Так же можно сделать вывод о том, что чем больше размер зерна, тем больше интенсивность излучения, но следует учитывать то, что для светодиода с кристаллом большого размера будет эффективен люминофор с крупными зернами, а для светодиода с кристаллом малого размера нужен люминофор с зернами размером 3-5 мкм.

Также были рассчитаны коэффициенты поглощения люминофоров отечественного и импортного производства:

α(AWB-3)=179,593 см$^{-1}$

α(ФЛЖ 7-11 4-7)=106,170 см$^{-1}$

α(ФЛЖ 7-11 4-6)=100,882 см$^{-1}$

α(ФЛЖ 7-11 4-2)=89,311 см$^{-1}$

α(ФЛЖ 7-11 4-5)= 78,546 см$^{-1}$

α(ФЛЖ 7-11 4-1)=30,91 см$^{-1}$

По полученным результатам расчета коэффициента поглощения можно сделать вывод, что образец люминофора AWB-3 поглощает больше чем все люминофоры российского производства.

Технология нанесения люминофора на кристалл не отличается простотой из-за седиментации. Устранение седиментации (для этого необходимо использование специального модификатора) приведет к увеличению квантового выхода за счет более полного облучения поверхности частичек люминофора и позволит добиться хорошей повторяемости результатов. Таким образом, для повышения эффективности и лучшего воспроизведения результатов необходимо, использовать люминофор с зернами одного размера, исключая мелкие вкрапления порошка, так как из-за его наличия ухудшается преобразование энергии синего излучения. Возможно, причиной этого является возникающее при этом перепоглощение.

Заключение

В данной работе исследованы спектральные характеристики люминофоров марок ФЛЖ-7-11 и AWB-3, нанесенных на тонкое стекло, и сделаны следующие выводы:

1) Интенсивность излучения люминофора, возбуждаемого синим светодиодом, уменьшается с уменьшением толщины слоя люминофора. В соответствии с этим можно порекомендовать наиболее оптимальную толщину люминофорного покрытия – 86 – 175 мкм.

2) За оптимальную концентрацию можно считать 0.05-0.15 г. на 1 грамм компаунда.

3) Сравнивая гранулометрический состав образцов люминофоров и их светоотдачу, можно сделать вывод, что лучшими световыми характеристиками из множества представленных марок люминофоров обладает люминофор ФЛЖ-7-560 (Россия).

Список литературы

1. Шуберт Ф. Светодиоды: пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – С. 496 .

2. Смирнов С.В., Саврук Е.В., Гончарова Ю.С. Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов // Журнал «Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники», 2011. - №2 (24). – Ч.2. -С.55-58.

ЭКСПЕРТНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МЕТЕО-ФАКТОРОВ ДЛЯ МОДЕЛИ ГИБКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Бойко К.Н., Манусов В.З.
Научный руководитель: Манусов В.З., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: bkn08@rambler.ru

Суть модели гибкого прогнозирования сводится к преобразованию группы входных переменных в группу выходных; значения для входных и выходных переменных задаются естественным языком. Взаимодействия между входными и выходными переменными происходят при помощи правил типа «Если-То». Эти правила выполняют роль трансформатора между входными и выходными переменными. Для составления этих правил требуются не только мнения экспертов, но и числовые данные. На мой взгляд, именно для решения задачи долгосрочного прогнозирования необходимо вести учёт влияния метеофакторов, так как метеофакторы оказывают не мгновенное влияние на изменения в электропотреблении.

На сегодняшний день основной проблемой останавливающей применение нечёткой логики для анализа сложных стохастических систем является сложность в построении функций принадлежности для заданного нечёткого множества. Существует множество методов для построения функций принадлежности, которые отличаются по степени сложности и точности. В данной работе рассмотрен алгоритм построения функций принадлежности для нескольких нечётких множеств, основанный на методе экспертных оценок с последующей линейной аппроксимацией полученных функций принадлежности (ФП).

В качестве исходных данных возьмём следующие статистические выборки за 12 месяцев:

- средняя температура воздуха (Рис. 1);
- количество осадков (Рис. 2);
- среднее значение скорости ветра (Рис. 3).

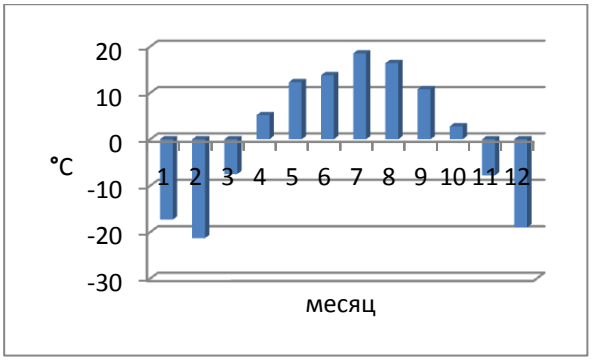


Рис. 1. Изменение средней температуры воздуха на годовом интервале

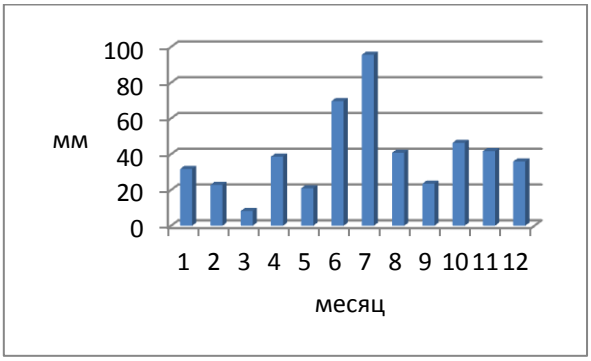


Рис. 2. Изменение количества осадков на годовом интервале

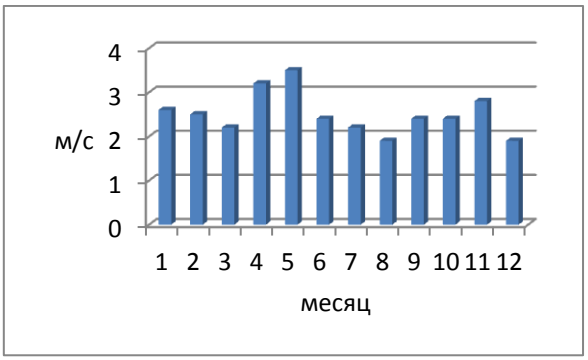


Рис. 3. Изменение среднего значения скорости ветра на годовом интервале

Далее можно перейти к построению функции принадлежности. Для этого воспользуемся методом экспертных оценок. Основные шаги метода:

- Выбираем объект для экспертной оценки;
- Выбираем параметры для сравнения;
- Определяем вес каждого параметра;
- Задаем сравнительную шкалу;
- Сравниваем.

В качестве примера приведено построение ФП для средней температуры воздуха. Разобьём температурную шкалу на следующие значения лингвистической переменной:

- Большая температура;
- Средняя температура;
- Маленькая температура.

Затем эксперты в количестве пяти человек представляют каждому значению температуры по оценке – 0 или 1, в зависимости от того относится это значение к заданному значению лингвистической переменной или нет. На основе полученных данных строятся функции принадлежности.

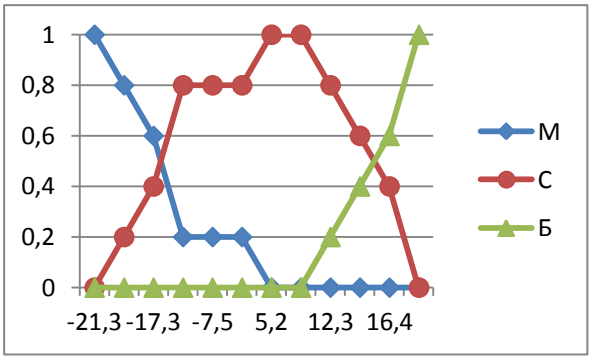


Рис. 4. Функции принадлежности для лингвистической переменной средняя температура воздуха

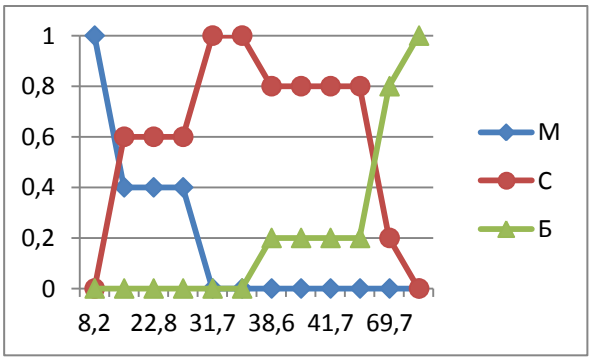


Рис.5. Функции принадлежности для лингвистической переменной количество осадков

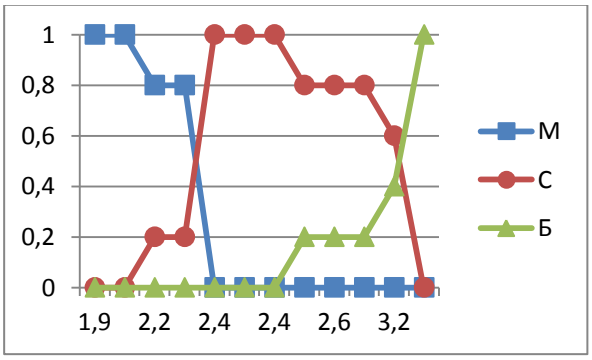


Рис.6. Функции принадлежности для лингвистической переменной средняя скорость ветра

Глядя на полученные функции принадлежности становится понятно, что использование их в таком виде в среде Mathlab fuzzy logic не совсем удобно, следовательно, следует привести их к функциям стандартного вида: в этом случаи наиболее удобными будут треугольная и трапецивидная. Для этого воспользуемся методом кусочно-линейной апроксимации; в результате получим следующие видоизмененные функции принадлежности, которые имеют более удобный для использования вид.

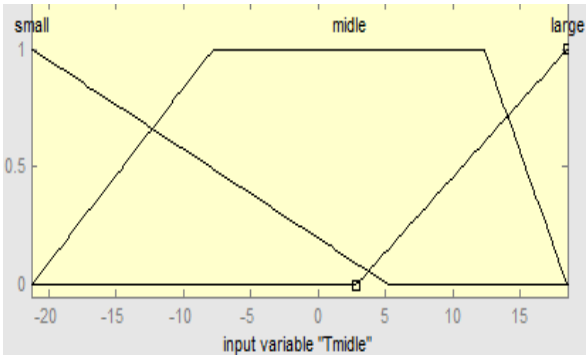


Рис. 7. Аппроксимированные функции принадлежности для лингвистической переменной средняя температура воздуха

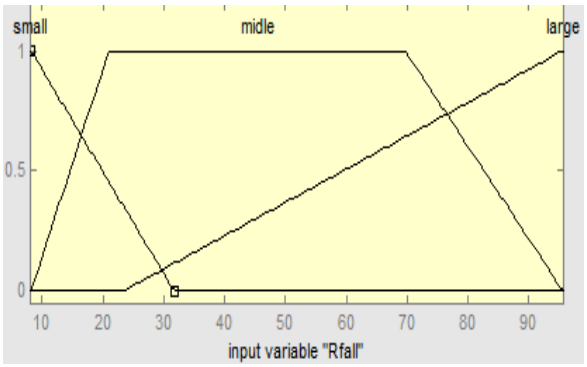


Рис. 8. Аппроксимированные функции принадлежности для лингвистической переменной количество осадков

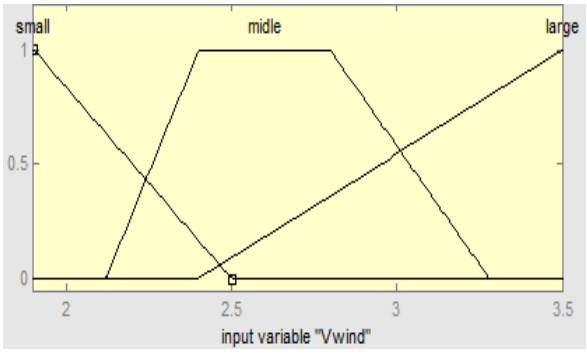


Рис. 9. Аппроксимированные функции принадлежности для лингвистической переменной средняя скорость ветра

Полученные функции принадлежности далее используются в качестве исходных данных для долгосрочного прогнозирования электрической нагрузки электроэнергетической системы на основе нечеткой логики.

Список литературы

1. Saaty T. L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process//Management Science. 1986, July. – Vol. 32, №7. – P. 841-855.

СТЕНД ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ДАЛЬНИХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧАХ

Бондарь В.В., Курбанов Т.Р.
Научный руководитель: Кузнецов Ю.И., к.ф-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bondar-vladimir@mail.ru

В схеме, состоящей из источника, трансформатора и разомкнутой на конце линии (рис.1,а), при симметричном трехфазном режиме возможны значительные повышения напряжения основной частоты, особенно в конце липни, обусловленные протеканием ёмкостного тока через сосредоточенную индуктивность источника и распределенную индуктивность линии. [1]

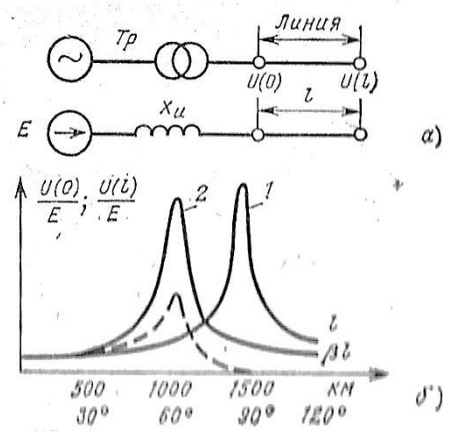


Рис. 1. Перенапряжения в длинной линии. ($1 – x_н = 0$; $2 – x_н = 0.5Z_с$)

Зависимости U(0) и U(l) от l или βl (β – коэффициент изменения фазы) при $x_н = 0$ и $x_н = 0.5Z_с$ (рис. 1,б) имеют ярко выраженный резонансный характер. Для линии, присоединённой к источнику бесконечной мощности, резонанс наступает при $\beta l = \pi/2$, т.е. l = 1500 км. Линия такой длины имеет первую частоту собственных колебаний равную частоте источника.

При $x_и \neq 0$ точка резонанса сдвинута в сторону меньших длин, так как к индуктивности линии добавляется индуктивность источника. Резонанс наступает при $x_и = x_{вх}$, т.е. а том случае, когда входное, в данном случае ёмкостное, сопротивление линии равно индуктивному сопротивлению источника, что эквивалентно равенству собственных частот схемы и частоты источника.

Построение резонансных кривых и расчёт используется при настройке и проверке параметров физических моделей для исследования внутренних перенапряжений. Эти построения и расчёты дают завышенные значения перенапряжений. Приближения к реальным условиям даёт учет влияния короны. Возникновение короны на линии эквивалентно появлению в схеме замещения длинной линии активной проводимости и добавочной ёмкости, зависящих от напряжения в данной точке линии.

Вследствие значительных активных потерь резонансная кривая получается менее острой, чем при отсутствии короны, с максимумом около $(3,0-3,5)U_ф$, сдвинутым в сторону меньших длин из-за влияния дополнительной ёмкости.

Максимум резонансной кривой определяется главным образом отношением ёмкостной проводимости к активной, которое лишь косвенно зависит от длины линии (через коэффициент учитывающий характер распределения напряжения вдоль линии). Поэтому в схеме содержащей индуктивность источника, максимумы резонансных кривых будут мало отличаться от максимума резонансной кривой в линии, присоединённой к источнику бесконечной мощности, т.е. будут примерно равны $3,0U_ф$.

Хотя корона весьма эффективно снижает перенапряжения в резонансной области, они превосходят допустимый уровень изоляции линии 500 кВ и выше.

Для случая короткого замыкания на линии максимальное напряжение с учётом короны получается около $(2-2,5)U_ф$, т.е. приближается к уровню изоляции линии 500 кВ, но превышает уровень изоляции линии 1150 кВ.

Одним из способов борьбы с таким резонансными перенапряжениями является установка реакторов поперечной компенсации. Реакторы, включённые в нескольких точках линии, частично компенсируют ёмкостный ток и тем самым ограничивают повышение напряжения промышленной частоты.

Продольная компенсация не может являться действенным средством ограничения перенапряжения, как поперечная компенсация. На практике продольная компенсация применяется вместе с реакторами. При высокой степени поперечной компенсации через батарею проходит небольшой ёмкостный ток и она оказывает второстепенное влияние на входное сопротивление линии и распределение напряжения.

Установка физического моделирования представляет собой упрощенную однофазную модель электропередачи, с помощью которой можно изучать симметричные режимы в линии длиной до 3000 км.

Основным элементом установки является модель длинной линии, которая состоит из 30 П-образных ячеек; каждая ячейка моделирует 100 км линии. Ячейки имеют следующие параметры: индуктивность $L_я = 190$ мГн;, емкость $C_я = 0,59$ мкФ;

добротность; $\omega L_я/r_я = 10$. Волновая длина ячейки $\omega\sqrt{L_я C_я} = 0{,}105$ рад, или 6°, а волновое сопротивление 570 Ом, т. е. масштаб сопротивлений больше 2 (волновое сопротивление линий 750—1150 кВ с расщепленными проводами около 250 Ом). Поскольку все расчеты выполняются в относительных единицах, то достаточно принять волновое сопротивление модели за базисное, не уточняя масштабов.

Ячейки линии снабжены моделью короны, схема которой выполнена на полупроводниках (рис. 2,а).

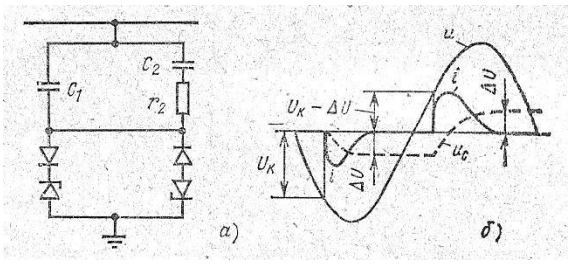


Рис. 2. Моделирование коронирующей линии

При незаряженных емкостях C_1 и C_2 ток в схеме не будет протекать до тех пор, пока мгновенное значение переменного напряжения не достигнет напряжения стабилизации одного из стабилитронов, которое соответствует напряжению зажигания короны в реальной линии при отсутствии объемных зарядов в окружающем пространстве. После этого емкости начинают заряжаться; заряд емкости C_1 заканчивается в момент максимума напряжения промышленной частоты, а емкости C_2 несколько позднее. При прохождении зарядного тока через нуль левая ветвь «запирается» и на емкостях остаётся заряд $(C_1+C_2)/\Delta U$ (рис. 2,б), который играет в модели ту же роль, что и объемные заряды, в пространстве, окружающем провод реальной линии. Благодаря наличию остаточного заряда на емкости, напряжение на правой ветви в следующий полупериод увеличивается на ΔU и «отпирание» происходит при меньшем напряжении промышленной частоты, чем в первый полупериод, что отвечает процессу зажигания короны в реальной линии.

Форма коронного тока при данном значении $U_{max}/U_к$ определяется соотношением емкостей и постоянной времени r_2C_2. Более точная регулировка тока может осуществляться с помощью схемы, содержащей вторую параллельную ветвь с более высоким напряжением стабилитронов и другими значениями C и r.

Ввиду того что $U_к$ модели короны, т. е. напряжение стабилизации стабилитрон, является постоянным, напряжение источника E выбирается так, чтобы $U_к/E$ было равно заданному значению (1,1—1,4). Например, при $U_к = 48$ В и $U_к/E = 1{,}2$ напряжение источника должна быть E = 40 В.[1]

Станция (источник) моделируется источником регулируемого напряжения и сосредоточенной индуктивностью, которая может изменяться ступенями с помощью переключателя. Шкала возле рукоятки переключателя дает значения индуктивного сопротивления источника в относительных единицах, т. е. в долях Z_c.

Реакторы моделируются сосредоточенными индуктивностями, например два реактора с $q_p = 0{,}45$ и два реактора с $q_p = 0{,}225$.

Емкость продольной компенсации моделируется переменной емкостью, которая регулируется ступенями с помощью переключателя. На его шкале отмечены значения q_c.

На лицевой панели стенда имеется мнемоническая схема линии, источников питания, реакторов, батарее продольной компенсации, из которой ясен порядок включения и отключения элементов схемы и изменения их параметров.

На данном стенде можно будет проводить ряд экспериментов, например:

- исследование распределения напряжения вдоль линии в зависимости от её длинны,
- исследование распределения напряжения вдоль линии в зависимости от индуктивного сопротивления источника,
- исследование распределения напряжения вдоль линии в зависимости от включения реактора в различных точках линии, например в начале, конце или середине линии, и в зависимости от мощности реактора,
- исследование распределения напряжения вдоль линии в зависимости от наличия устройств поперечной компенсации, и её мощности,
- исследование распределения напряжения вдоль линии в зависимости от наличия или отсутствия короны на линии,
- определение части коронирующей линии при длине линии приблизительно равной резонансной,
- моделирование короткого замыкания на линии при различных длинах линии, в зависимости от наличия или отсутствия продольных и поперечных компенсирующих устройств, короны и различного индуктивного сопротивления источника.

Список литературы

1. Лабораторные работы по технике высоких напряжений: учеб. пособие для вузов электроэнергет. специальностей / [М. А. Аронов и др.; ред. М. А. Аронов]. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Энергоиздат, 1982. – 352.

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАЦИЙ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Валь П.В., Торопов А.С.
Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»,
655017, Россия, Республика Хакасия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail: vallpv@yandex.ru, andrej_tr@mai.ru

Краткосрочное прогнозирование электропотребления представляет собой классическую задачу оптимального управления электроэнергетическими системами (ЭЭС) [1]. Для решения данной задачи широко распространены экстраполяционные методы прогнозирования, основанные на принципе переноса в будущее тенденций, действовавших в прошлом и в настоящем, а также на предположении, что обнаруженные и математически описанные структурные взаимосвязи не претерпят в будущем особых изменений [2].

В ходе решения задачи краткосрочного прогнозирования временной ряд электропотребления объекта исследования $y_{(t)}$ может быть представлен как сумма теоретически предсказуемой и непредсказуемой компонент: $y_{(t)} = u_{(t)} + \varepsilon_{(t)}$. Предсказуемая компонента $u_{(t)}$ представляет собой истинный процесс электропотребления. Непредсказуемая компонента $\varepsilon_{(t)}$ является следствием неточности фиксирования значений электропотребления (например, вследствие несовершенства приборов учета). Если предполагать отсутствие систематической ошибки приборов учета, то компонента $\varepsilon_{(t)}$ представляет собой некоррелированный белый шум с нулевым математическим ожиданием. Оптимальным прогнозом переменной $y_{(t)}$ является оценка $u_{(t)}$, так как оценка $\varepsilon_{(t)}$ является принципиально невозможной. Таким образом, задача прогнозирования электропотребления сводится к тому, чтобы истинный процесс электропотребления (компонента $u_{(t)}$) наиболее адекватно аппроксимировать (и в дальнейшем экстраполировать на интервале упреждения прогноза) посредством некоторой функции (модели) f:

$$u_{(t)} = f\left(x_{1(t)}, x_{2(t)} \dots x_{n(t)}\right) + e_{(t)} = f\left(X_{(t)}\right) + e_{(t)},$$

f – функция аппроксимации истинного процесса электропотребления $u_{(t)}$ (поверхность отклика);
$x_{1(t)}, x_{2(t)} \dots x_{n(t)}$ – значения входных факторов (признаков), определяющих динамику u_t; $X_{(t)} = \left[x_{1(t)}, x_{2(t)} \dots x_{n(t)}\right]$ – вектор входных признаков;
$e_{(t)}$ – ошибка аппроксимации (остаточная неопределенная компонента).

В качестве функции аппроксимации f может выступать искусственная нейронная сеть (ИНС), обладающая свойствами универсального аппроксиматора [3]. В качестве входных признаков может быть использована информация различного характера: электропотребление в предыдущие моменты времени (в простейшем случае может быть использован «метод окон»), значения влияющих факторов (план выпуска продукции, температура окружающего воздуха) и др.

Очевидно, что при прогнозировании реального процесса электропотребления сложной ЭЭС точная оценка его истинного значения $u_{(t)}$ невозможна. В подобных условиях для повышения качества прогнозирования перспективно применение комбинирования прогнозов, используя для прогнозирования процесса электропотребления u не одну модель f, а комбинацию моделей (f_1, f_2, ... f_m):

$$u_{(t)} = f_1\left(X_{1(t)}\right) + e_{1(t)},$$
$$u_{(t)} = f_2\left(X_{2(t)}\right) + e_{2(t)},$$
$$\dots$$
$$u_{(t)} = f_m\left(X_{m(t)}\right) + e_{m(t)}.$$

Результирующий прогноз $\hat{u}_{(t+1)}$ формируется на основе комбинирования индивидуальных прогнозов ($\hat{u}_{1(t+1)}$, $\hat{u}_{2(t+1)}$, ... $\hat{u}_{m(t+1)}$) по некоторому методу комбинирования (например, линейному):

$$\hat{u}_{1(t+1)} = f_1\left(X_{1(t+1)}\right),$$
$$\hat{u}_{2(t+1)} = f_2\left(X_{2(t+1)}\right),$$
$$\dots$$
$$\hat{u}_{m(t+1)} = f_m\left(X_{m(t+1)}\right),$$
$$\hat{u}_{(t+1)} = k_1 \cdot \hat{u}_{1(t+1)} + k_2 \cdot \hat{u}_{2(t+1)} \dots + k_m \cdot \hat{u}_{m(t+1)},$$

k_1, k_2, ... k_m – коэффициенты комбинирования.

Утверждение о том, что комбинирование прогнозов в среднем позволяет получить результат лучше, чем любой индивидуальный прогноз этой комбинации, основывается на многочисленных эмпирических исследованиях многих авторов, использующих различные наборы данных.

Если получить некоторое число различных моделей прогнозирования одного и того же показателя (в нашем случае величина часового электропотребления ЭЭС), которые с разной степенью адекватности описывают разные стороны моделируемого явления (остатки моделей $e_{1(t)}$, $e_{2(t)}$, ... $e_{n(t)}$ не должны быть сильно коррелированы), то эти модели можно рассматривать в качестве информационно-дополнительных. В модели могут быть включены факторы, неодинаково влияющие на формирование моделируемого показателя, сами модели могут иметь различный вид (линейный, нелинейный), различными могут быть параметры модели и т.д. В этом случае возникает так называемый спектр прогнозных оценок, позволяющих построить обобщающий, комбинированный прогноз, который по своим свойствам будет превышать (или как минимум не ухудшать) лучший из исходных прогнозов [4].

Анализ эффективности использования комбинирования моделей прогнозирования электропотребления сложной ЭЭС производился применительно к Сорскому производственному комплексу – крупному промышленному комплексу, состоящему из двух предприятий (Сорский горно-обогатительный комбинат и Сорский ферромолибденовый завод) и расположенному в г. Сорск Республики Хакасия. Для анализа были использованы данные об электропотреблении и основных влияющих факторах за 2008-2009 гг. Все вычисления производились в среде MATLAB.

В качестве моделей прогнозирования электропотребления было решено использовать ИНС типа многослойный персептрон (использовалось расширение MATLAB Neural Network Toolbox). Проектирование многослойного персептрона представляет собой сложный многоэтапный процесс, сопровождающийся множеством неопределенностей. При этом по многим вопросам, касающимся практического использования ИНС (например, проблема локальных минимумов при обучении, проблема переобучения на обучающей выборке, проблема определения параметров скрытого слоя и др.), не существует однозначно обоснованных теоретических положений.

Для прогнозирования различных часов суток временного ряда электропотребления использовались индивидуальные часовые модели. Каждая часовая модель, в свою очередь, состояла из комбинации ИНС типа многослойный персептрон. Для получения N-го числа различных моделей прогнозирования электропотребления, которые бы с различной степенью адекватности описывали разные стороны процесса электропотребления, было решено использовать ИНС, отличающиеся друг от друга периодом основания прогноза (от 3 до 6 месяцев), набором входных признаков (для каждой часовой модели применялась процедура отбора информативных признаков), параметрами скрытого слоя (количество скрытых слоев и нейронов в них) и начальными условиями обучения (способ разбивки выборки на обучающее и контрольное множество). При этом данный подход позволяет частично преодолеть некоторые неопределенности использования ИНС и прогнозирования параметров сложных ЭЭС (проблема выбора оптимального периода основания прогноза в условиях постоянных структурных изменений ЭЭС, проблема выбора необходимого и достаточного перечня входных признаков модели прогнозирования). Учитывая склонность ИНС к переобучению на данных выборки, было решено использовать комбинации с равными коэффициентами комбинирования ($k_1 = k_2 = ... = k_n$).

Для оценки эффективности комбинирования прогнозов различных моделей на рис. 1 представлены графики ошибок прогнозирования на тестовые сутки (март 2009 г.) индивидуальных ИНС (54 шт.) и их комбинации для часовой модели 08-09.

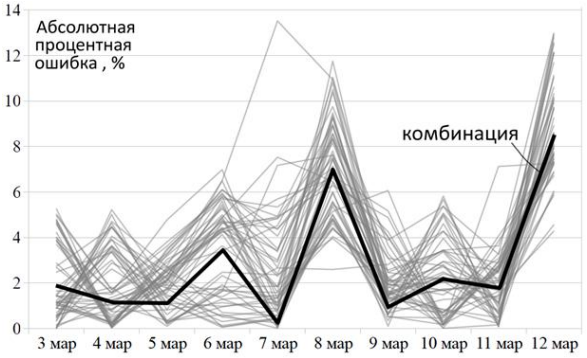


Рис. 1. Результаты прогнозирования

Анализ полученных результатов показал, что в отдельные сутки тестового интервала достаточное количество индивидуальных ИНС показало результат выше, чем их комбинация, однако средняя точность комбинации превысила среднюю точность подавляющего большинства индивидуальных ИНС этой комбинации. Немногочисленные ИНС часовой модели, показавшие среднюю точность прогнозирования несколько выше средней точности комбинации, как показал анализ, выявить априори с использованием известных критериев не явилось возможным. Анализ зависимости средней точности прогнозирования ИНС от критериев качества, рассчитанных по обучающей выборке (ошибки на обучающем и контрольном множестве ИНС, коэффициент детерминации, W-статистика Шапиро-Уилка, Q-статистика Льюнга-Бокса), показал очень слабую связь между ними.

Таким образом, комбинирование моделей прогнозирования на основе ИНС позволяет повысить качество краткосрочного прогнозирования ЭЭС. Использование комбинаций моделей прогнозирования позволяет снизить влияние качества индивидуальных моделей на конечный результат и тем самым снизить цену ошибки за использование неадекватной модели. Необходимы исследования по выявлению критериев качества сложных нелинейных моделей (например, на основе ИНС), расчет которых на данных обучающей выборки позволил бы в необходимой мере формировать адекватные суждения о точности будущих прогнозов.

Список литературы

1. Макоклюев, Б.И. Анализ и планирование электропотребления / Б.И. Макоклюев. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 296 с.

2. Светуньков, С.Г. Методы социально-экономического прогнозирования. Том I / С.Г. Светуньков, И.С. Светуньков – СПб.: СПбГУЭФ, 2009. – 147 с.

3. Хайкин, С. Нейронные сети: полные курс : пер. с англ. / С. Хайкин – 2-е изд., испр. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

4. Остапюк, С.Ф. Модели построения комбинированного прогноза развития научно-технической сферы / С.Ф. Остапюк, М.А. Мотова // Проблемы прогнозирования. – 2004. – № 1 – С. 146-156.

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Войтенко Н.В., Иванов Н.А., Ларионов Д.В.
Научный руководитель: Жгун Д.В., к.т.н. доцент кафедры ТЭВН
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: voitenko.nik@gmail.com

Введение

В горнодобывающей промышленности и строительстве существует проблема, связанная с ограничением использования взрывчатых веществ (ПБ 13-407-01) для разрушения негабаритов. В связи с тем, что взрывчатые вещества экологически небезопасны, требуют эвакуации персонала из места проведения взрывных работ, в мире ведутся исследования по разработке альтернативных способов разрушения. Перспективным является использование электроразрядного разрушения, основанного на «эффекте Юткина» [1]. На сегодняшний день разработаны и испытаны мобильные комплексы для разрушения горных пород, использующие явление электровзрыва в конденсированных средах [2-3]. Основным недостатком экспериментальных установок являются значительные массогабаритные характеристики, поскольку энергозапас высоковольтных генераторов составляет 100 кДж и выше, что при рабочем напряжении 5-10 кВ требует увеличенной емкости импульсного генератора (единицы мФ). Экспериментальные исследования, проведенные в ТПУ, показали возможность снижения запасаемой энергии генератора при инициировании разряда в полиэтиленовом капилляре взрывающимся проводником [4] и повышение эффективности разрушения при «длинном режиме» ввода энергии [5].

Целью работы является конструирование и изготовление мобильной установки для электроразрядного разрушения горных пород на основе емкостного накопителя – генератора импульсных токов (ГИТ).

Параметры высоковольтного импульсного генератора были выбраны на основе предварительного моделирования и оценочного расчёта:
Амплитуда импульсов тока – 100-250 кА;
Амплитуда напряжения – 5-15 кВ;
Энергия в разряде – 7-63 кДж;
Вид разряда – колебательный;
Суммарная емкость – до 560 мкФ;
Ресурс – не менее $5*10^4$ импульсов.

Структурная схема установки показана на рис. 1.



Рис. 1.Структурная схема установки

Зарядное устройство представляет собой повышающий высоковольтный трансформатор с однокаскадной схемой удвоения напряжения и защитным дросселем (рис.2), которые размещены в герметичном корпусе, заполненный маслом. Такая схема имеет простую конструкцию и высокую надежность, что важно для работы в полевых условиях. Конденсатор С1 вынесен за корпус зарядного устройства, и изменяя его емкость можно регулировать скорость зарядки. Параметры зарядного устройства: напряжение питания 220 В, выходное напряжение 3-16 кВ, отпайки 12 кВ и 16 кВ, мощность – 5 кВт.

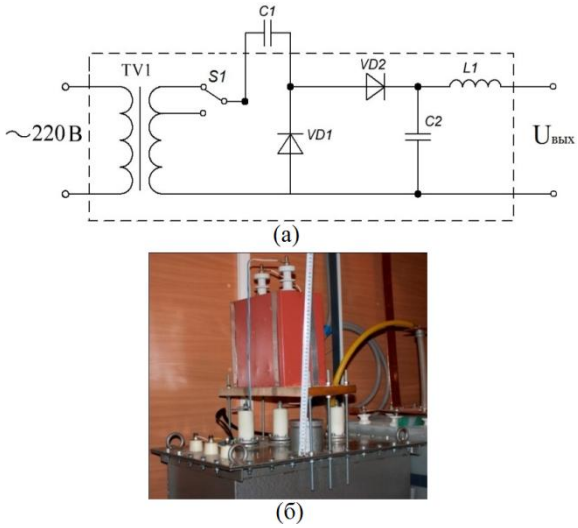


Рис. 2. Схема зарядного устройства (а) и его внешний вид (б).

Батарея накопителя состоит из 40 конденсаторов, которые расположены по 4 в каждом модуле. Такая компоновка позволяет упростить конструкцию генератора и снизить индуктивность контура. Каждый модуль снабжен предохранителем, для его защиты в случае пробоя конденсатора в других модулях. Соединения выполнены медными шинами (рис.3).

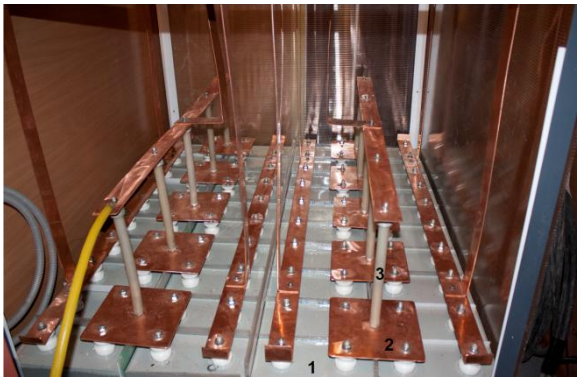


Рис. 3. Батарея конденсаторов: 1 – конденсатор К75-101, 2 – ошиновка, 3 – предохранитель

Емкостной накопитель собран на базе конденсаторов К75-101 производства ЗАО ЭЛКОД (г. Санкт- Петербург):
Номинальная емкость – 14 мкФ;
Номинальное напряжение – 15кВ;
Наработка – 10^5 имп.;
Масса – 25 кг;
Диапазон рабочих температур – $(-60+70)^0$С;
Габаритные размеры: – 280х135х535 мм;
Стоимость за 1 шт. – 25 000 рублей.

В качестве коммутатора используется газовый разрядник повышенного давления тригатронного типа (рис.4) с параметрами:
Рабочий газ – криптон;
Давление – 4 атм;
Материал электродов – графит;
Амплитуда поджиг. импульса – 15 кВ;
Полярность поджиг. импульса – отрицательная;



Рис. 4.Газовый разрядник

Управление установкой осуществляется с пульта, на лицевой панели которого расположены: интерфейс управления схемой зарядки и схемой запуска коммутатора, индикаторы подачи высокого напряжения и уровня зарядки емкостного накопителя, в том числе индикаторы зарядки каждого модуля для контроля целостности предохранителей. Также реализована возможность выбора ручного или автоматического режима работы (рис.5).



Рис. 5. Лицевая панель пульта управления

Все элементы установлены на жесткой раме и помещены в изотермический контейнер, который оборудован всеми необходимыми средствами сигнализации и защиты. Для передачи импульса тока на нагрузку используется 6 параллельно соединенных кабелей РК-50-17. Предусмотрена система регистрации импульсного тока и напряжения состоящая из пояса Роговского CWT-1500, делителя напряжения ДВН 25 и цифрового осциллографа TDS-2024.



Рис. 6. Внешний вид установки: 1-батарея конденсаторов, 2- коммутатор, 3-зарядное устройство, 4- разделительный трансформатор, 5-изотермический контейнер

Заключение

Спроектирована и изготовлена мобильная установка для электроразрядного разрушения негабаритов и монолитов горных пород на рабочее напряжение 15 кВ, емкость батареи конденсаторов 560 мкФ. Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы по теме «Электровзрывное воздействие на неоднородные среды».

Список литературы

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект. М.,Л.: Машгиз, 1955.– 52 с.
2. Смирнов В.П., Крастелев Е.Г., Нистратов В.М. и др. Мобильная установка электроразрядного разрушения горных пород и строительных конструкций //Строительные материалы.–1999 г.-№6.- С. 13-15.
3. Hamelin H., Kitzinger F. et. al. Hard rock fragmentation with pulsed power //Digest of 9th IEEE International Pulsed Power Conference. – Albuquerque, New Mexico, 1993. P. 11 – 14.
4. Kuznetsova N., et. al. Theoretical and experimental investigation of electro discharge destruction of non-conducting materials// Digest of Technical Papers 18th IEEE International Pulsed Power Conference.– Chicago, USA, 2011. P.267 – 273.
5. Иванов Н.А., Пивоваров М.И., Войтенко Н.В., Юдин А.С. Шпуровое разрушение горных пород и бетона // Известия Томского политехнического университета.–2012. Т. 321. № 2, С. 136 – 140.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Воронин В.А.
Научный руководитель: Долгопол Т.Л., доцент
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: seno670@gmail.com

Целью данной работы является анализ показателей качества электрической энергии (ПКЭ) и графиков электрических нагрузок общественных потребителей на примере учебных корпусов Кузбасского государственного технического университета (КузГТУ). Учебные корпуса вуза запитаны от подстанции ТП 84. В ходе работы с помощью прибора Энергомонитор-3.3Т (в дальнейшем прибор) были произведены замеры на 9 отходящих от подстанции линиях, питающих пять учебных корпусов.

С 01.01.2013 прекращает действие ГОСТ 13109 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», являющийся более 40 лет единственным в стране нормативным документом, устанавливающим в России номенклатуру показателей качества электрической энергии, и вступает в действие ГОСТ Р 54149-2010. И хотя ПКЭ не были пересмотрены кардинально, их анализ с учетом последних нововведений является на данный момент весьма актуальной темой.

Суточные графики электрических нагрузок учебных корпусов обладают следующими особенностями: наличие экстремумов, обуславливающих утренний и вечерний максимумы, а также дневные и ночные минимумы. В отличие от жилых зданий, нагрузка учебных корпусов имеет наибольшие значения в утренние часы, и утренний максимум превышает вечерний. Вечерний максимум выражен слабо и в нагрузках на некоторых вводах, вообще, не наблюдается. Утренний максимум по времени наблюдается в период с 9 до 11 часов. Выходные дни отличаются меньшим потреблением мощности. В субботние дни основная нагрузка сосредоточена в утренние часы – вечерний максимум не наблюдается вовсе или слабо выражен. В воскресные дни нагрузка минимальна.

При дальнейшем анализе электрических нагрузок были выявлены корпуса с высоким потреблением реактивной мощности. Коэффициент активной мощности ($\cos\varphi$) по отдельным фазам составляет 0,67. Причем, вследствие неравномерной загрузки фаз, в особенности реактивной мощностью, разность значений коэффициентов активной мощности может достаточно значимо отличаться по фазам (различие достигает 0,13). В часы наибольших нагрузок величина реактивной мощности приближается к активной мощности. Так коэффициент реактивной мощности ($tg\varphi$) достигает значений по отдельным фазам 0,74, при этом на других фазах его значения более чем вполовину меньше. Подробнее неравномерность загрузки фаз будет рассмотрена далее. Усредненные значения коэффициентов мощности определялись для времени наибольших нагрузок с 07:00 до 23:00.

Вследствие сильной неравномерности графика электрических нагрузок применение батарей конденсаторов фиксированной емкости малоэффективно, поэтому следует рассматривать регулируемые компенсирующие устройства. Данная проблема требует подробного рассмотрения и анализа, поэтому обоснование проведения мероприятий по компенсации реактивной мощности будет рассмотрено в отдельной работе.

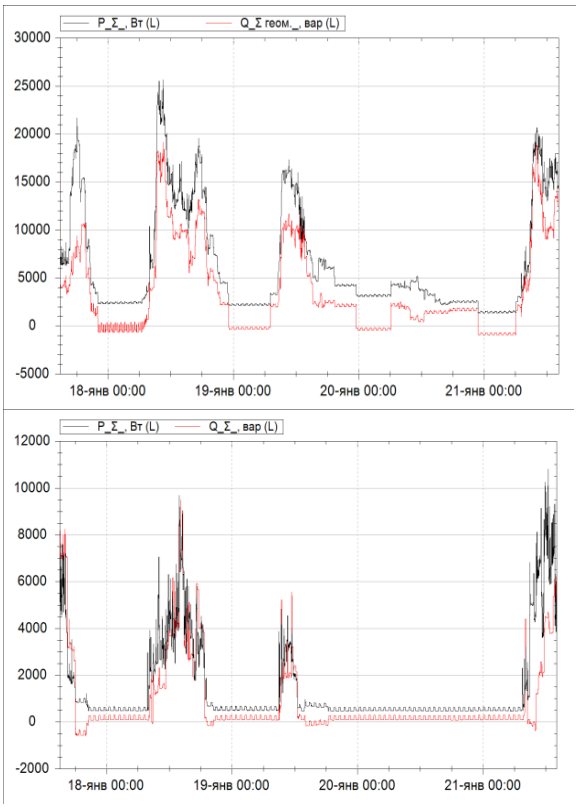


Рис. 1. Графики активной и реактивной нагрузки учебных корпусов: черный цвет – активная нагрузка; красный цвет – реактивная

Прибор производит измерения и оценку всех ПКЭ, нормируемых ГОСТом 13109. С введением нового ГОСТ Р 54149-2010 возникла необходимость в изменении алгоритма оценки ПКЭ прибором, а также времени проведения замеров, для этого необходима программная и аппаратная переработка прибора. Так согласно ГОСТ Р 54149-

2010, рассматриваемый интервал времени составляет одну неделю, а не 24 часа, как это было раньше. Изменились интервалы времени усреднения значений и т.д.

Анализ ПКЭ показал, что недопустимых отклонений частоты и напряжения, колебания напряжения, фликера, провалов, перенапряжений и импульсов зарегистрировано не было. Иначе обстоят дела с несимметрией и несинусоидальностью напряжения.

Электроприемники учебных корпусов, в подавляющем большинстве, представляют собой однофазную нагрузку. В силу неравномерно распределенной нагрузки по фазам, а также случайного характера изменения нагрузки таких потребителей несимметричный режим работы становится основной и наиболее актуальной проблемой всех потребителей городских сетей. Анализ проведенных замеров показал, что практически во всех учебных корпусах в часы наибольших нагрузок значение коэффициента несимметрии по нулевой последовательности K_{OU} превышает установленный порог в 2%. В большинстве случаев такое превышение носит кратковременный характер и составляет в среднем 1,5-2% установленного интервала времени, что удовлетворяет требованиям ГОСТ. Для двух учебных корпусов показатели несимметрии не соответствуют нормам. В этих корпусов превышение коэффициента несимметрии по нулевой последовательности нормы составляет соответственно 21,75% и 25% установленного интервала времени, достигая 3,75%. Также в данных корпусах был отмечен выход коэффициента 3-й гармонической составляющей $K_{u(3)}$ за нормально допустимый предел (5%) в среднем в течение 40% установленного интервала времени, что также является нарушением установленных требований.

Согласно СП 31-110-2003 наибольшая неравномерность загрузки фаз, определяемая разностью между наиболее и наименее загруженными фазами, не должна превышать 15%. Анализируя нагрузки “проблемных” корпусов было определено, что коэффициент неравномерности загрузки фаз по активной мощности составляет 23,7% и 67,1% соответственно в двух корпусах, где были выявлены нарушения требований ГОСТ. Неравномерность загрузки фаз по реактивной мощности достигает просто фантастических значений – в одном из корпусов значение коэффициента неравномерности составило 700%.

Стоит также отметить, что даже в тех корпусах, в которых ПКЭ соответствуют требованиям ГОСТ, неравномерность загрузки фаз превышает 15%. Соответственно возникает необходимость в проведении мероприятий по повышению качества электрической энергии не только в «проблемных» корпусах, но также необходимо принять меры по симметрированию нагрузки во всех корпусах.

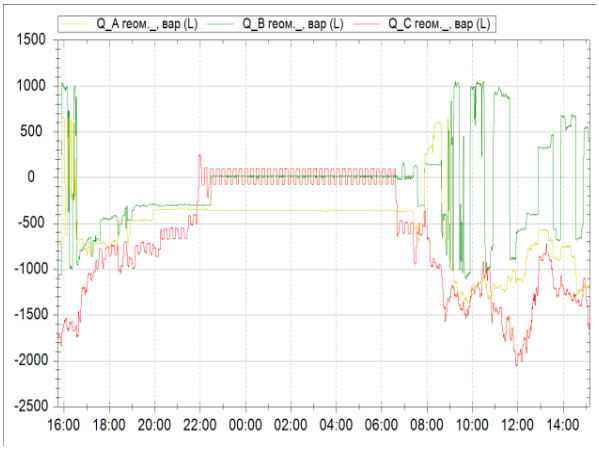


Рис. 2. Пример графика реактивной нагрузки с неравномерной загрузкой фаз: желтый цвет - реактиная нагрузка фазы А; зеленый цвет - реактивная нагрузка фазы В; красная цвет - реактивная нагрузка фазы С

Как отмечалось ранее, наибольшая неравномерность загрузки фаз приходится на реактивную мощность. Соответственно вопросы компенсации реактивной мощности и симметрирования следует рассматривать совместно, так как при подробном анализе данной проблемы и правильного выбора средств ее решения, можно достигнуть совместного решения обеих проблем.

Вывод: анализ электрических нагрузок и ПКЭ учебных корпусов выявил следующие проблемы:

- несоответствие ПКЭ установленным нормативам;
- неравномерность загрузки фаз, в особенности по реактивной мощности;
- высокий коэффициент реактивной мощности в некоторых учебных корпусах.

Список литературы

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 1999-01-01. –М.: Изд-во стандартов, 1998, 30 с.;

2. ГОСТ Р 54149-2010. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 01-01-2013. – М.: Изд-во стандартов, 2010, 20 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Гайнуллин И.Ж., Шилов П.В.
Научный руководитель: Рахманова Ю.В. к.т.н., доцент
Уфимский государственный авиационный технический университет,
450000, Россия, г.Уфа, ул.К.Маркса,12
E-mail: ilshat_999@mail.ru

Потребность в электроэнергии постоянно увеличивается как в промышленности, на транспорте, в научных учреждениях, так и в быту. Удовлетворить эту потребность можно двумя способами.

Первый способ − строительство новых мощных электростанций: тепловых, гидравлических и атомных. Однако строительство новой крупной электростанции требует нескольких лет и больших затрат. Одновременно они наносят большой ущерб экологическому равновесию на нашей планете.

Второй способ – это использование передовых технологий. Приоритет должен быть отдан увеличению эффективности использования электроэнергии, а не росту мощности электростанций. Возможности для более эффективного использования электроэнергии имеются, и немалые. Одна из них связана с освещением, на которое тратится около 25 % всей производимой электроэнергии. В настоящее время в ряде стран разработаны компактные люминесцентные лампы, которые потребляют на 80% меньше электроэнергии, чем лампы накаливания. Стоимость таких ламп значительно превышает стоимость обычных, но окупаются они быстро.

Однако возможность эффективного использования электроэнергии относится в большей мере ко всей электроэнергетической области. Значительную долю оборудования составляют коммутационные аппараты. Именно оии стали первым объектом нашего изучения.

С начала 80-х годов прошедшего века произошел качественный скачок в технологии высоковольтных коммутационных аппаратов − наступило время вакуума и элегаза. Что касается выключателей высокого, сверхвысокого и ультравысокого напряжения (110-1150 кВ), то элегазовые выключатели в технически развитых странах практически вытеснили все другие типы аппаратов.

Следует отметить, что существуют две крупные проблемы развития коммутационной аппаратуры – создание новых более совершенных конструкций и определение судьбы находящихся длительное время в эксплуатации (и часто устаревших) аппаратов. В РФ проблема замены устаревших аппаратов стоит особенно остро. По степени оснащенности современными выключателями российские энергосистемы отстают от зарубежных примерно на 30 лет. Современное состояние электрических сетей и подстанций в России требует замены устаревшего морально и физически оборудования. Техническое состояние российских сетей и трансформаторных подстанций напряжением 10 кВ и ниже вызывает серьезные опасения. Доля оборудования сетей 6-10 кВ, требующего ремонта и замены, достигает 60-70 %, причем продолжается эксплуатация выключателей, устаревших очень давно.

Одна из основных задач в области коммутационной аппаратуры – повышение ее надежности. В мире регулярно проводится анализ отказов аппаратов. Надежность оборудования зависит как от своевременной разработки аппаратов новых поколений, так и от своевременной замены устаревших аппаратов в эксплуатации. Другая важная задача – снижение весо-габаритных характеристик и материалоемкости аппаратов, уменьшение их числа за счет использования прогрессивных технических решений. При этом выполнение этой задачи не должно приводить к снижению надежности оборудования.

К важным можно отнести и задачу снижения эксплуатационных затрат, создания практически необслуживаемого в течение всего срока службы оборудования.

В мире ужесточаются требования по экологической чистоте оборудования, и решения, которые раньше считались приемлемыми, сегодня подвергаются пересмотру. Во многих случаях задача обеспечения экологической чистоты выходит на первый план.

Наконец, следует отметить в числе важных задач снижение энергопотребления коммутационных аппаратов. Эта соответствует тем серьезным усилиям, которые предпринимаются в мире в части энергосбережения.

В последние годы широкое распространение в мировой практике получили вакуумные коммутационные аппараты. В них гашение дуги при коммутации электрической цепи осуществляется в вакуумной дугогасительной камере.

Развитие вакуумных выключателей связано с тем, что вакуум является идеальной изоляционной средой, так как ионизация молекул газа путем соударения с ними электронов чрезвычайно мала, а значит, практически исключено лавинообразное

нарастание количества заряженных частиц из-за весьма низкой плотности газа. Поэтому электрическая прочность изоляционного межконтактного промежутка в вакууме значительно выше, а длина дуги значительно меньше, чем в масляных, элегазовых и воздушных выключателях. Это - позволяет существенно снизить габариты дугогасительной камеры вакуумного выключателя.

Вакуумные выключатели обладают малыми габаритами и массой, большим ресурсом, надежностью и сроком службы, экологически чисты и взрыво- пожаробезопасны, виброустойчивы и сейсмостойки, работоспособны в условиях холодного и тропического климата, требуют малых эксплуатационных расходов. Эти качества способствовали распространению вакуумных выключателей во всем мире.

Другим распространенным видом электротехнического оборудования являются трансформаторы, от эффективности и надежности работы которых зависит вся электроэнергетическая система.

Перспективным направлением в трансформаторостроении является отказ от традиционных изоляциооных материалов. В связи с этим все чаще за рубежом и в России на подстанциях стали использовать трансформаторы с газовым наполнением, где в качестве изоляционного материала используется не масло и синтетические смолы, а специальный газ - элегаз. Трансформаторы с элегазовым заполнением обладают превосходными изоляционными характеристиками и эффективно охлаждаются, их отличает температурная устойчивость. Такими свойствами они обладают благодаря герметично содержащемуся в их рабочих ёмкостях газа, который при этом негорюч, безвреден, не имеет запаха.

Основные преимущества трансформаторов с элегазовым наполнением:

- Высокий уровень стабильности.
- Взрывопожаробезопасность.
- Компактность. Элегаз обладает высокой диэлектрической проницаемостью, что позволяет изготавливать трансформаторы меньшего размера.
- Простота в обслуживании и долгий срок службы. Поскольку емкости трансформатора заполнены химически неактивным инертным газом и герметично закрыты, то сервисное обслуживание трансформатора сводится к минимуму. Идеально подходит для высоковольтных систем. Повышение давления газа в корпусах трансформатора приближает его характеристики к характеристикам масляных трансформаторов и позволяет использовать элегазовые трансформаторы в сетях от 22кВ до 154кВ.
- Простота и экологичность установки. При установки данного типа трансформаторов исключается возможность экологического загрязнения территории монтажа.

Наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов − это применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов, при этом обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с традиционными магнитопроводами из электротехнической стали.

Силовые распределительные трансформаторы с сердечником из аморфной стали серийно выпускаются в США, Канаде, Японии, Индии, Словакии. Всего в мире уже изготовлено 60 – 70 тыс. единиц трансформаторов мощностью 25 – 100 кВА, примерно 1000 единиц прошли успешные многолетние испытания в различных энергосистемах. Наибольших успехов добились США и Япония. Японская фирма "Hitachi" в сотрудничестве с американской "Allied Signal" выпустила на рынок гамму силовых трансформаторов (мощностью от 500 до 1 тыс. кВА), сердечник которых изготовлен из аморфного сплава. Как показали испытания, он позволяет сократить потери энергии в сердечнике трансформатора на 80% по сравнению со стальным аналогом. По оценке, если бы во всех действующих в мире трансформаторах установить сердечники из аморфных металлов, среднегодовая экономия энергии составила бы 40 млн. кВт*ч.

В связи с малой толщиной аморфный материал наиболее пригоден для витой конструкции магнитопровода, т.е. для трансформаторов малой мощности и распределительных. Магнитопроводы из аморфных сплавов имеют малый коэффициент заполнения сечения (0,8-0,85) по сравнению с этим коэффициентом у обычной электротехнической стали (около 0,96), что приводит к увеличению сечения магнитопровода.

Список литературы

1. Евдокунин Г.А., Тилер Г. Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения (Технические преимущества и эксплуатационные характеристики). – Спб.: Издательство Сизова М.П. – 2000. – 114 с.

2. Силовые трансформаторы. Справочная книга / Под ред. С. Д. Лизунова, А. К. Лоханина. М.:Энергоиздат, 2004. — 616 с

ТРЁХФАЗНЫЙ МОСТОВОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ С КОРРЕКЦИЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Горбунов Р.Л., Посконный Г.И.
Научный руководитель: Посконный Г.И., к.т.н., профессор
Новоуральский технологический институт НИЯУ МИФИ, 624130, Россия, г. Новоуральск, ул. Ленина, 85
E-mail: g50591r@gmail.com

Трёхфазный мостовой неуправляемый выпрямитель благодаря простоте и надёжности нашёл широкое применение в силовых выпрямительных установках, источниках питания, электроприводах постоянного тока, а также в составе двухзвенных преобразователей частоты для управления двигателями переменного тока [2]. Основным недостатком мостового выпрямителя является низкое значение коэффициента мощности, обусловленное содержанием высших гармоник в спектре потребляемого из сети тока [1], что значительно снижает энергетические показатели системы и требует использования сложных, крупногабаритных и дорогостоящих фильтр-компенсирующих устройств. В некоторых случаях для снижения доли высших гармоник выпрямитель выполняют на полностью управляемых вентилях [3] (активные выпрямители), что значительно удорожает устройство, снижает КПД и требует использование сложной системы управления.

На рисунке 1 изображена предложенная схема трёхфазного мостового выпрямителя напряжения с коррекцией коэффициента мощности, Отличием от классической схемы мостового выпрямителя является наличие корректирующей цепи *VT0-VD7* в цепи выпрямленного тока и дросселей *L* со стороны сети. С помощью транзистора *VT0* осуществляется импульсное регулирование потребляемого из сети тока.

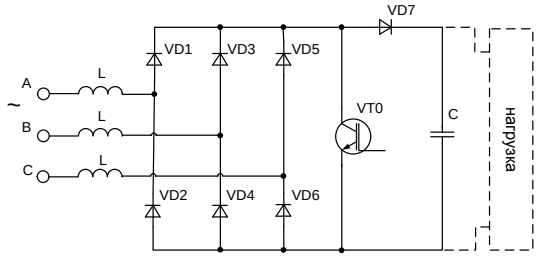


Рис. 1. Схема трёхфазного мостового выпрямителя напряжения с коррекцией коэффициента мощности

При регулировании с постоянной частотой $f_0 >> f_{сети}$ и подходящем выборе индуктивности дросселей *L* форма потребляемого из сети тока представляет последовательность треугольных импульсов с меняющейся по синусоидальному закону амплитудой. При этом обеспечивается режим прерывистого тока без сдвига по фазе между фазными током и напряжением, то есть обеспечивается $cos(\varphi)=1$.

При анализе переходных процессов в цепи при предложенном способе регулирования тока, получены выражения, позволяющие выбрать параметры индуктивных дросселей.

$$L > \frac{3}{8} R^2 \cdot C,$$

$$f_0 < \frac{0.67\omega_{св}}{\frac{\pi}{2} - arcctg(6.6\omega_{св} \cdot t_{ON})}$$

где

R – суммарное активное сопротивление линии (включает сопротивление источника, дросселя, кабелей и других элементов линии);

C – ёмкость фильтра напряжения на выходе выпрямителя, выбирается исходя из мощности и характера подключаемой нагрузки;

$\omega_{св} = \sqrt{\frac{2}{3}\frac{1}{L \cdot C} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$ – частота свободных колебаний тока при размыкании транзистора VT0;

$t_{ON} << \frac{1}{f_0}$ – время открытого состояния транзистора в течение одного периода импульсного регулирования.

Величина напряжения на нагрузке может регулироваться изменением скважности $\chi_0 = f_0 \cdot t_{ON}$ переключения транзистора *VT0*.

Работа устройства была промоделирована в пакете схемотехнического моделирования Micro-Cap с последующей обработкой результатов в пакете Mathcad. Параметры элементов модели: мощность на выходе выпрямителя $P_H = 10\,кВт$; ёмкость конденсатора $C = 10\,мФ$; индуктивность дросселя $L = 0.1\,мГн$; суммарное активное сопротивление линии $R = 0.1\,Ом$; амплитуда и частота сетевого напряжения $U_{сети} = 220\,В$, $f_{сети} = 50\,Гц$; частота переключения транзистора $f_0 = 2\,кГц$.

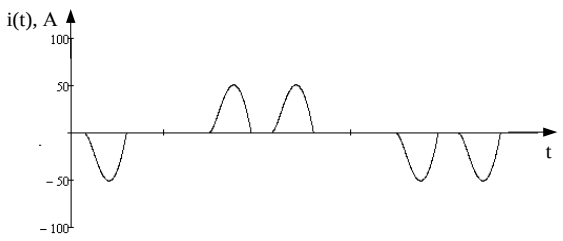


Рис. 2. Сетевой ток выпрямителя

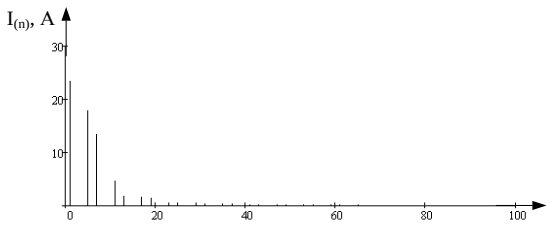


Рис. 3. АЧХ сетевого тока выпрямителя

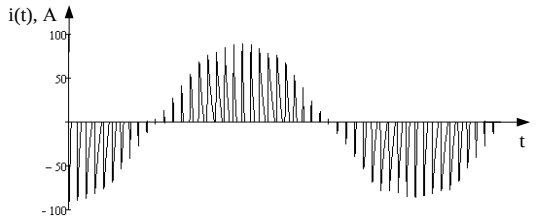


Рис. 4. Сетевой ток выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности при постоянной скважности

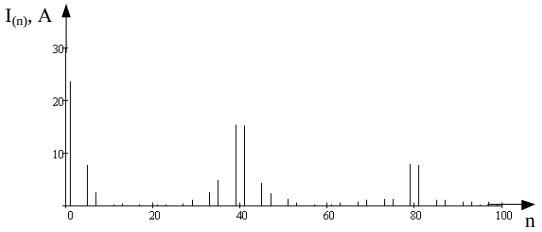


Рис. 5. АЧХ сетевого тока выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности при постоянной скважности

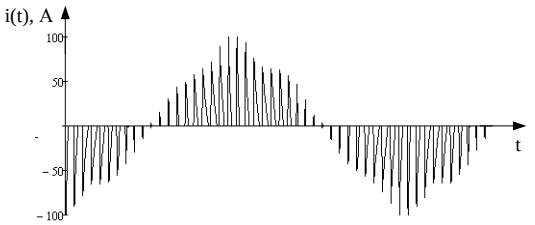


Рис. 6. Сетевой ток выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности и модуляции ширины импульсов

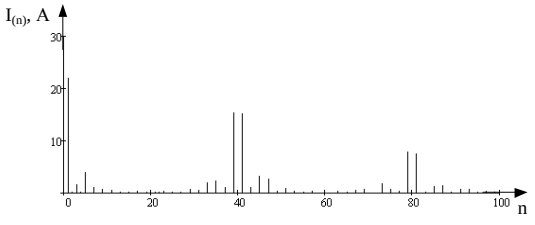


Рис. 7. АЧХ сетевого тока выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности при модуляции ширины импульсов

На рисунке 3 изображён спектральный состав потребляемого выпрямителем из сети тока при отсутствии коррекции коэффициента мощности. Коэффициент мощности составил **0.71**, что обусловлено значительной величиной гармоник с номерами 5, 7 и 11.

На рисунке 5 изображена АЧХ потребляемого из сети тока при наличии коррекции коэффициента мощности с постоянным коэффициентом заполнения сигнала управления $\chi_0 = 0.06$. Величина 5 и 7 гармоник значительно меньше, чем без использования коррекции, 11-я гармоника отсутствует. Имеющиеся высокочастотные составляющие могут быть отфильтрованы с помощью малогабаритных и относительно дешёвых сетевых фильтров нижних частот или резонансных фильтров. При исключении высокочастотных составляющих коэффициент мощности составит **0.95**.

Применение алгоритмов широтно-импульсной модуляции позволяет исключить 5 или 7 гармоническую составляющую в токе и приблизить коэффициент мощности схемы к 1. На рисунке 7 изображена АЧХ потребляемого из сети тока при предмодуляции ширины импульсов t_{ON} с подавлением 5-ой гармоники. Как видно из спектра, величина 5-й, 7-й и 11-й гармоник снижается при практически неизменной величине первой гармонике. При этом, исключая высокочастотные составляющие с помощью фильтров, коэффициент мощности практически равняется **1**. Более того, увеличивая глубину предмодуляции возможно обеспечить режим генерации противофазных низкочастотных гармоник в сеть для компенсации искажений, обусловленных другими нелинейными потребителями.

Поскольку коэффициент заполнения сигнала управления транзистора очень мал, потери проводимости в транзисторе *VT0* незначительны и практически не влияют на КПД устройства.

Результаты исследования показывают, что использование предложенного способа коррекции коэффициента мощности трёхфазного мостового выпрямителя напряжения позволяет значительно повысить энергетические показатели выпрямителя и энергосистемы в целом благодаря улучшению спектрального состава потребляемого из сети тока, незначительно влияя на сложность устройства и его КПД. Также устройство обеспечивает возможность регулирования величины выпрямленного напряжения на нагрузке с допустимым уровнем пульсаций (менее 0.3%).

Список литературы

1 Ковалев Ф.И., Мостков Г.П. и др. Полупроводниковые выпрямители. – М.: Энергия, 1967. – 467 с.: ил.

2 Чиженко И.М., Руденок В.С., Сенько В.И. Основы преобразовательной техники. – М.: Высш. шк., 1980. – 424 с.: ил.

3 Ефимов А.А., Шрейнер Р.Т. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока / Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Р.Т. Шрейнера. Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2001. – 250 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Гусев В.М.
Научный руководитель: Шакиров В.А., к.т.н., доцент
Братский государственный университет, 665709, Россия, г. Братск, ул. Макаренко, 40
E-mail: Brutk@mail.ru

Жизненно важной характеристикой энергетики в экстремальных природно-климатических условиях Якутии является надежность работы всех звеньев системы топливо- и энергообеспечения. От этого зависит не только эффективность функционирования отраслей народного хозяйства, но и здоровье и жизнь людей, которые в случае прекращения энергоснабжения, оказываются один на один с суровой природой без главной системы жизнеобеспечения.

Эксплуатация большей частью устаревших и физически изношенных автономных энергоисточников, определяет их неудовлетворительное техническое состояние, низкую экономичность (удельный расход топлива на производство на дизельных электростанциях в отдельных пунктах достигает 500-600 г у.т./кВт·ч при КПД 20-25 %), что приводит к недостаточной надежности энергоснабжения и неоправданно высоким финансовым затратам.

Наличие большого количества рассредоточенных потребителей, электроснабжение которых может осуществляться только от автономных энергоисточников, и наличие множества проблем в существующих зонах децентрализованного энергообеспечения требует решения актуальных вопросов развития и совершенствования децентрализованных зон. Очевидным путем повышения энергоэффективности таких зон является максимальное использование местных возобновляемых энергоресурсов.

Внедрение технологий возобновляемой энергетики, при разумном использовании, может оказать заметную помощь в энергообеспечении районов со слабой топливной базой, плохими транспортными условиями и слабом развитии электрических сетей.

Данное решение проблемы децентрализованного потребителя требует проведения ресурсных, технико-экономических, экологических и других исследований целесообразности и масштабов внедрения возобновляемой энергетики в систему электроснабжения республики. Выбор стратегии дальнейшего развития энергетики Якутии на ближайшие десятилетия должен учитывать, с одной стороны, реальное состояние и трудности экономики, промышленности, экологии и, с другой - тенденции развития современной энергетики.

ВИЭ стали неотъемлемым элементов энергосистем большинства развитых стран, драйвером их изменений. Установленная мощность генерации на основе использования ВИЭ без учета крупных ГЭС составила 390 ГВт, Все эти факторы свидетельствуют о том, что именно возобновляемая энергетика – новая технологическая база развития глобальной энергетики. В России сегодня тема ВИЭ окружена множеством мифов, а доля ВИЭ-генерации в структуре потребления в РФ – менее 0,8%.

Тем не менее, в энергетической стратегии России ВИЭ уделено особое внимание как перспективному направлению развития энергетики:

- развитие технологий использования возобновляемых источников энергии, а также многофункциональных энергетических комплексов для автономного энергообеспечения потребителей в районах, не подключенных к сетям централизованного энергоснабжения;

-отработка технологий комбинированного использования возобновляемых источников энергии, а также технологий компенсации неравномерности выдачи мощности генерирующими объектами на основе энергии ветра и приливов;

Учитывая недостатки каждого отдельно взятого возобновляемого источника энергии: несовпадение с графиком электрических нагрузок, изменение потенциала во времени, высокая зависимость от погодных условий, стоит рассмотреть целесообразность комбинированного использования нескольких ВИЭ. Особенностью данного подхода является почасовое определение величины вырабатываемой мощности и сравнение ее с графиком нагрузок потребителя.

Солнце является главным первичным источником нетрадиционной энергетики. Вследствие термоядерной реакции протекающей внутри звезды, на Землю падает поток энергии, равный $1{,}7 \cdot 10^{14}$ кВт. В течение одного часа Земля получает столько энергии, сколько будет достаточно для удовлетворения всех энергетических потребностей человечества в течение года.

Изменение мощности потока солнечной радиации в течение суток в точке А определяем по следующей методике:

По формуле Купера определяют склонение Солнца в данные сутки n

$$\delta = \delta_0 \sin\left(\frac{360^0(284+n)}{365}\right), \quad (1)$$

где δ_0=23,45 для северного полушария.

Далее определяют продолжительность солнечного дня в данные сутки в точке А

$$T_c = 2/15(\arccos(-tg\varphi tg\delta)), \quad (2)$$

где φ – северная широта в заданной точке

Значение потока солнечной радиации в определенный час t' светового дня

$$R_h = R_h^{max} \sin\left(\frac{180^0 t'}{T_C}\right), \quad (3)$$

Находят почасовое изменение вырабатываемой мощности солнечного модуля [1].

Для анализа выработки ветроэнергетической установки используются измерения, проводимые на метеостанциях республики Саха (Якутия), за период с 2001 по 2012 года. Архивные данные позволяют учесть характерные для районов особенности изменения скорости ветра, получить точное значение выработки ветроэнергетической установки. При анализе было сделано допущение о линейном изменении скорости ветра между измерениями, таким образом были получены значения скорости ветра в каждый час суток. Кроме того, скорость ветра, измеренная на высоте флюгера метеостанции, приводилась к высоте ротора ВЭУ по выражению:

$$V_i = V_{\text{изм}}\left(\frac{H_i}{H_{\text{изм}}}\right)^m \quad (4)$$

где V_i - скорость ветра на высоте ротора ВЭУ H_i, м/с, $V_{изм}$ - скорость ветра на высоте флюгера метеостанции $H_{изм}$, м/с, m – степенной коэффициент, зависящий от сезона и скорости ветра, принимается 0,2 [2].

Энергия, вырабатываемая ВЭУ за период, определяется по формуле:

$$W = \sum_{i=1}^{N} P(V_i) T_i \quad (5)$$

где $P(V_i)$ – электрическая мощность ВЭУ, соответствующая скорости ветра V_i на i-м интервале измерения, кВт; T_i – продолжительность интервала измерения, ч. Значения $P(V_i)$ для каждого часа измерения определяются по мощностной характеристике ВЭУ.

Для расчета выбираем горизонтально-осевую ВЭУ мощностью 3кВт.

Проведя расчеты и получив значения мощностей вырабатываемых ВЭУ и ФЭУ, и приведя их к нагрузкам потребителей населенного пункта Чкалов республики Саха (Якутия) получен следующий график, показывающий эффективность использования комбинированной установки на основе ВИЭ, например, 20 февраля.

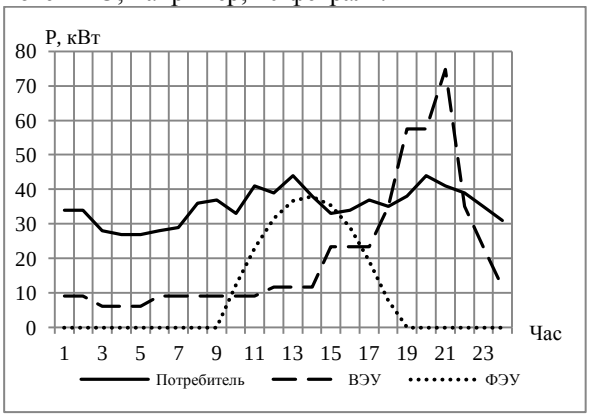


Рис. 1. График нагрузки и выработки электроэнергии установками, использующими ВИЭ

Проанализируем полученный график и рассмотрим перспективы автономной энергоустановки на основе ВИЭ.

Важнейшим фактором энергоэффективности установок, использующих природные возобновляемые ресурсы, является потенциал этих ресурсов, его распределение по сезонам и территориям. Построение кадастра ВИЭ является основой для системного внедрения возобновляемой энергетики в регионе.

Основной проблемой электроустановок, использующих ВИЭ, при работе в составе автономной системы электроснабжения является значительная изменчивость во времени как энергии первичного энергоносителя, так и графика нагрузки потребителя энергии. И согласовать между собой эти неизбежные колебания входной и выходной энергии по объективным причинам не представляется возможным. В такой ситуации основной научно-технической проблемой создания эффективных автономных энергоустановок на основе солнечной и ветровой энергии является проблема аккумулирования энергии.

Как показывают отечественные и зарубежные исследования, применение в составе солнечно-ветровых установок водородных накопителей, представляющих собой комбинацию электролизера воды, аккумуляторов водорода и кислорода и батареи топливных элементов, обеспечивающих эффективное (практически без потерь) долгосрочное аккумулирование энергии, может обеспечить кардинальное решение указанной выше проблемы аккумулирования энергии и позволит создать полностью автономные экологически чистые автоматизированные солнечно-ветровые энергоустановки с высокими потребительскими качествами.

Изложенное выше определяет целесообразность проведения расчетных и экспериментальных исследований в обоснование оптимальных конфигураций автономных энергоустановок, состава и конструкции комплектующего оборудования с учетом реальных климатических условий эксплуатации и особенностей потенциальных потребителей.

Список литературы

1. Солнечная энергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 228 с.

2. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.

3. Нетрадиционные источники энергии / Ю.А. Лосюк, В.В. Кузьмич.- М.: Уп технопринт, 2005. – 108 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОФФШОРНОГО ВЕТРОПАРКА В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.И. Данюкин
Научный руководитель: к.т.н., доц. С.Н. Удалов
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
E-mail:korolking91@gmail.com

Введение

Сейчас в России поставлена задача обеспечения 4,5% энергии за счёт альтернативных источников к 2020 году. Это потребует примерно 9 ГВт новых мощностей. Не менее половины (или 4,5 ГВт) должно обеспечиваться за счёт ветровых электростанций (ВЭС) – сейчас это наиболее мощный источник альтернативной энергии, который можно задействовать.

Потенциал

Потенциал морского ветра гораздо больше, чем прибрежного, благодаря скорости ветра и большим пространствам, пригодным для размещения коммерческих установок. Он ограничен только глубиной работ и другими морскими видами деятельности в зоне интереса.



Рис 1. Оффшорная ВЭС

Преобладающие в Калининградской области западные и северо-западные ветры, связанные с приходом циклонов с Атлантического океана, свободно проносятся через своеобразный «балтийский коридор» над морем и налетают на побережье области, проникая затем в глубь её территории. Равнинный рельеф и отсутствие крупных возвышенностей, которые могли бы служить барьером для воздушных потоков с запада, способствуют этому, т.к. Вармийская и Виштынецкая возвышенности, располагающиеся вдоль южной границы области, имеют широтное простирание. Ветровой режим Калининградской области весьма благоприятен для практического использования ветроэнергетического потенциала. Средние скорости ветра, по данным метеостанции в Балтийске, составляют в течение года от 4,8 до 6,1 м/с, однако максимальные значения во время штормов достигают 25 - 30 м/с и даже более. Самыми ветреными являются осень и зима, когда происходит усиление ветров и повышение их повторяемости. В другие сезоны ветры в целом менее сильны, но достаточно стабильны, что должно обеспечивать постоянную работу ветровых установок.

Оффшорная ветроэнергетическая система

Оффшорная ветроэнергетическая система состоит из ветроэнергетических установок, оффшорной подстанции, оншорной (береговой) подстанции и линий электропередач. ВЭУ содержит в своей башни преобразовательное оборудование позволяющие повысить напряжение генерации, обычно 690В до напряжения 25-40кВ. Каждая ВЭУ соединена с оффшорной подстанцией кабелем, закопанным в морское дно на глубине 1-2м. На оффшорной подстанции находится блок повышающих трансформаторов до напряжения 130-150кв. Оффшорная подстанция соединена с береговой подстанцией так же подводным кабелем.

На основе предварительных расчётов было выбрано 167 ветровых турбин типа N90/2300 кВт со стартовой скоростью 3 м/с.

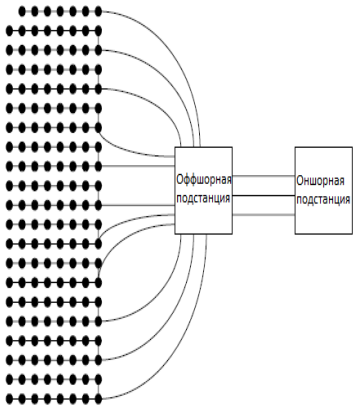


Рис. 2. Схема оффшорного ветропарка

Береговая подстанция выполняет функцию соединения ветропарка с местной энергосистемой. Так же в береговой подстанции может быть использован дополнительный трансформатор для увеличения или понижения напряжения.

Вывод

Регион обладает уникальными возможностями для размещения оффшорных ветропарков, которым в мире уделяется все большее внимание. Выработка электроэнергии этими ветропарками оказывается на 25-40% выше, чем на суше. В прибрежной зоне возможна установка ветровых установок общей мощностью 290 МВт, что позволит покрыть около 30% нынешней потребности области в электроэнергии.

Список литературы

1. Удалов С.Н. Возобновляемые источники энергии: Учебник. Новосибирск: из-во НГТУ, 2009.
2. Орлова Н.С. Ветроэнергетические ресурсы Калиниградской области и возможности их рационального использования. Калининград: КГУ, 1996.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПАКЕТЕ MATLAB

Динь Ван Тай.
Научный руководитель: Ефремов А.А., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dinhvantai88@gmail.com

Введение

В связи с развитием технического прогресса все более актуальными становятся вопросы повышения надежности разнообразных технических устройств и систем: механизмов, машин, станков, электронного оборудования, систем автоматики и т. д. Для технических систем надежность является важным технико-экономическим показателем, напрямую связанным с понятием качества.

Отказы – это всегда потеря денежных средств, вследствие затрат на ремонт или замену оборудования, но иногда отказы могут являться причиной человеческих жертв или загрязнения окружающей среды. В связи с этим, обеспечение высокой надежности – это важнейшая задача на этапе проектирования технических систем.

Прямым способом определения параметров надежности технических систем является анализ результатов испытаний на надежность. Однако такой путь является довольно долгим, а также затратным с финансовой точки зрения.

Другим способом являются математические модели надежности, использующие информацию о параметрах надежности отдельных блоков систем, связях между ними и влиянии их отказов на надежность системы в целом. В случаях сложных систем, однако, такие модели становятся довольно громоздкими, что приводит нас к компьютерному моделированию.

Компьютерное моделирование надежности заключается

- в получении времен отказов элементов системы в виде случайных чисел, распределенных с априорно известной функцией распределения;
- в определении времен отказов всей системы с учетом влияния отказов элементов на ее функционирование;
- в выборе математической модели, наиболее адекватным образом описывающей полученные результаты;
- в определении параметров этой модели.

Показатели надежности неремонтируемых объектов:

- функция надежности $P(t)$;
- плотность распределения наработки до отказа $f(t)$;
- интенсивность отказов $\lambda(t)$

При исследовании надежности самых разнообразных объектов обращаются к небольшому кругу известных распределений:

- экспоненциальное распределение;
- нормальное распределение;
- гамма распределение;
- распределение Вейбулла;
- логнормальное распределение;
- распределение экстремальных значений.

Расчеты надежности неремонтируемых систем по логическим схемам.

На логических схемах обычно применяют три способа соединений элементов.

1. Последовательное (основное) соединение соответствует случаю, когда при отказе любого элемента отказывает вся система; наработка до отказа системы равна наработке до отказа того элемента, у которого она оказалась минимальной:

$$Tc = \min(Tj),\ j = 1,2,3,...,n$$

где n — число элементов системы;

2. Параллельное нагруженное («горячее») соединение соответствует случаю, когда система сохраняет работоспособность, пока работоспособен хотя бы один элемент из k включенных в работу, наработка до отказа системы равна максимальному из значений наработки до отказа элементов.

$$Tc = \max(Tj),\ j = 1,2,3,...,k$$

где k — число элементов системы;

3. Параллельное ненагруженное («холодное») соединение соответствует случаю, когда резервный элемент включается в работу только при отказе основного элемента; наработка до отказа системы равна сумме наработок до отказа элементов.

$$Tc = sum(Tj),\ j = 1,2,3,...,m$$

где m – число элементов системы;

На рис.1 приведены обозначения трех видов соединений на логических схемах для расчета надежности.

После составления логической схемы находят и уточняют значения показателей надежности элементов и затем вычисляют значение показателя надежности системы.

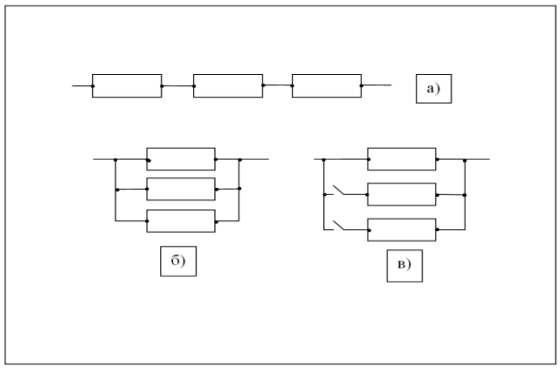


Рис. 1. Три вида соединений на логических схемах для расчета надежности:
а – последовательное; б – параллельное нагруженное; в – параллельное ненагруженное.

В качестве исходных данных ММ мы рассматриваем эксплуатационную информацию объемом N, содержащую наработки t_i (i=1, 2,…, N), которые являются наработками до отказов первоначально работающих объектов, а также объектов, работавших после замен или восстановлений.

Для оценки надежности ТС по принятой информации может быть использован показатель вероятности безотказной работы (ВБР) $P(t)$. Это обосновывается следующими достоинствами:

- функция ВБР обладает хорошей наглядностью;
- простота получения оценки ВБР по известным значениям наработки до отказа;
- зная функцию ВБР, легко определить остальные показатели надежности (функцию вероятности отказа $Q(t)$, среднюю наработку до отказа T_{cp}, интенсивность отказов $\lambda(t)$ и т.д.).

Результаты моделирование параметров надежности в пакете matlab:

В результате выполнения данной выпускной квалификационной работы в математическом пакете MATLAB было создано программное приложение, позволяющее определять оценки параметров различных моделей надежности невосстанавливаемых технических систем по результатам компьютерного моделирования отказов их элементов. Подобные расчеты доступны для последовательного (в смысле надежности) соединения элементов, а также для основных конфигураций систем с резервированием:

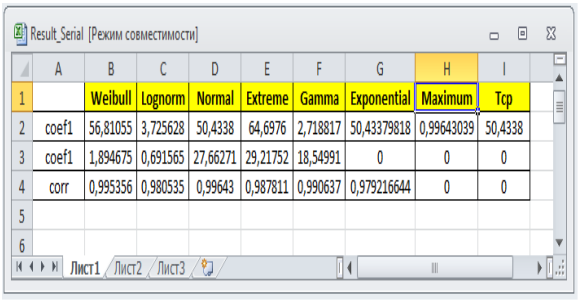
- параллельного нагруженного («горячего») резервирования;
- параллельного ненагруженного («холодного») резервирования;
- последовательно-параллельных систем;
- параллельно-последовательных систем.

Разработана структура файла в формате Microsoft Excel, хранящего информацию о параметрах надежности блоков технических систем, связях между ними и видах резервирования.

Помимо определения параметров моделей надежности, разработанное приложение позволяет строить

- гистограмма плотности отказа системы;
- точечная графика ВБР;
- графики математических моделей;
- среднее время безотказной работы системы;
- коэффициенты выбранных законов распределения;
- коэффициенты корреляция;
- максимальное значение из коэффициентов корреляции;
- Лучший закон распределения по коэффициенту корреляции.

Пример результата показан на рис.2 и рис.3.


Result_Serial [Режим совместимости]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Weibull	Lognorm	Normal	Extreme	Gamma	Exponential	Maximum	Tcp
2	coef1	56,81055	3,725628	50,4338	64,6976	2,718817	50,43379818	0,99643039	50,4338
3	coef1	1,894675	0,691565	27,66271	29,21752	18,54991	0	0	0
4	corr	0,995356	0,980535	0,99643	0,987811	0,990637	0,979216644	0	0
5									
6									

Лист1 Лист2 Лист3

Рис. 2. Пример результата в файле Excel

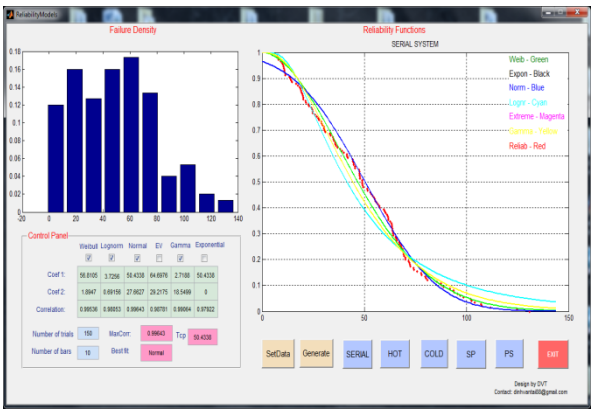


Рис. 3. Пример результата работы программы

Список литературы:

1. Острейковский В. А. Теория надежности: учебник для вузов / В.А Острейковский. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с.

2. Половко, Анатолий Михайлович. Основы теории надежности: учебное пособие / А. М. Половко, С. В. Гуров. — СПб: БХВ-Петербург, 2008. — 702 с.

3. Поршнев, Сергей Владимирович. MATLAB 7: основы работы и программирования: учебное пособие для вузов / С. В. Поршнев. — М.: Бином, 2006. — 320 с.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОДОВ НА ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Дмитриев Д.О., Дацкевич С.Ю., Журков М.Ю.
Научный руководитель: Важов В.Ф., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: teps@sibmail.com

В ТПУ открыт и разрабатывается для промышленного применения новый электроимпульсный (ЭИ) способ разрушения горных пород и искусственных материалов (бурение, дробление, резание и др.) [1]. Способ имеет ряд существенных преимуществ перед традиционными способами разрушения:

1) Эффективное разрушение крепких и сверх крепких минеральных образований;
2) Высокая износостойкость инструмента;
3) Отсутствие промежуточных трансформаций энергии.

Рабочим инструментом является электродная система, которая может иметь различные размеры и конфигурацию. В литературе имеются сведения о влиянии размеров и формы электродов при пробое и разрушении диэлектриков и горных пород[2], поэтому есть необходимость исследовать эффективность разрушения горных пород в зависимости от формы и размеров электродных систем.

Целью работы является определение влияния формы электродов на характеристики электроимпульсного разрушения.

Условия проведения экспериментов: использовалась двухэлектродная система с расстояниями между электродами S = 100 мм, S = 120 мм, S = 140 мм; энергия запасаемая ГИН 5000 Дж и напряжением U = 600 кВ. Необходимо отметить, что в процессе испытаний для реализации эффективного разрушения в указанном диапазоне расстояний между электродами, запасаемая энергия и напряжение ГИН значительно превосходили ранее используемые.

Для проведения исследований разработан и изготовлен испытательный стенд. Он состоит из:
- металлического бака диаметром 1000 мм, высотой 600 мм, объемом 471 л;
- выемной ячейки;
- электродной системы, состоящей из двух стержневых электродов диаметром 10 мм, которые имеют три степени свободы при перемещении;
- высоковольтного кабеля типа КПВ-200;
- рабочей жидкости.

В выемную ячейку устанавливается образец гранита ориентировочным размером (500÷600)x(400÷500)x(350÷400) мм. Все эксперименты проведены на граните с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодъяконова f = 16÷17.

Эксперименты проводились с использованием ГИН, описанного выше, при емкости в разряде C = 0.04 мкФ. Измерения зарядного напряжения $U_З$, пробивного напряжения $U_{пр}$, тока пробоя $I_{пр}$, энергии, запасенной ГИН, $W_З$, времени до пробоя $t_{пр}$ производились после воздействия каждого импульса.

Число опытов для каждого S не менее 6. Следует отметить значительную дисперсию параметров разрушения, что характерно для горных пород в связи с их высокой гетерогенностью.

Для каждого опыта производился расчет:
- энергии, запасаемой ГИН, $W_{Зап}$, Дж;
- энерговклада $M = \frac{W_{Зап}}{s}$, Дж/мм, где S - расстояние между электродами в мм;
- производительности разрушения $Q = \frac{V}{n}$, $см^3$/имп, где V - объем откольной воронки, n - число воздействующих импульсов;
- энергозатрат $W_{уд} = \frac{W_{зап} \cdot n}{V}$, Дж/$см^3$.

Нами для экспериментального сравнения выбраны три относительно простых двухэлектродных формы с расстоянием между электродами S = 100 мм: «стержень-стержень» с диаметром стержней 10 мм, «стержень-пластина» (диаметр стержня 10 мм, пластина длиной 250 мм, шириной 20 мм, толщиной 5 мм), «пластина-пластина» (длина пластин 90 мм, ширина 20 мм, толщина 5 мм).

По полученным экспериментальным данным построили зависимость производительности разрушения от числа воздействующих импульсов для различных электродных систем (рис. 1).

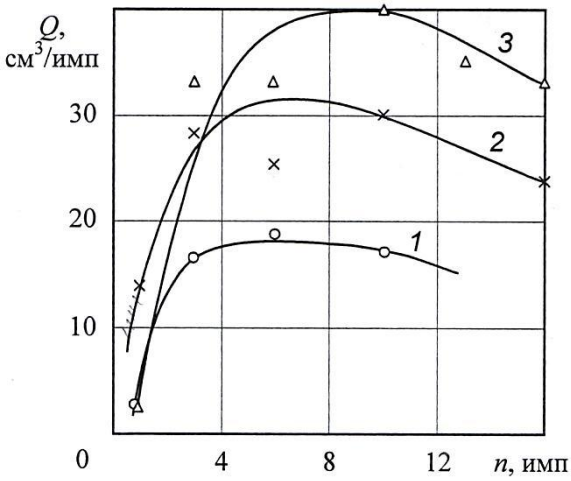


Рис. 1. Зависимость производительности разрушения от числа импульсов для разных электродных систем 1 - «стержень-стержень», 2 - «стержень-пластина», 3 - «пластина-пластина»

Производительность возрастает с увеличением числа воздействующих импульсов. При этом для системы «стержень-стержень» максимальная производительность соответствует шести импульсам, а для системы «пластина-пластина» - десяти импульсам. Но самое главное - переход от стержневых электродов к пластинчатым значительно увеличивает производительность разрушения: относительное увеличение максимальной производительности для пластинчатых электродов по сравнению со стержневыми составило для электродов «стержень-пластина» 1.7 раза, для «пластина-пластина» - 2.28 раза. Зависимость производительности разрушения от формы электродов (рис. 2) показывает закономерное увеличение производительности для всех воздействующих импульсов (кроме первого) при переходе к пластинчатым электродам.

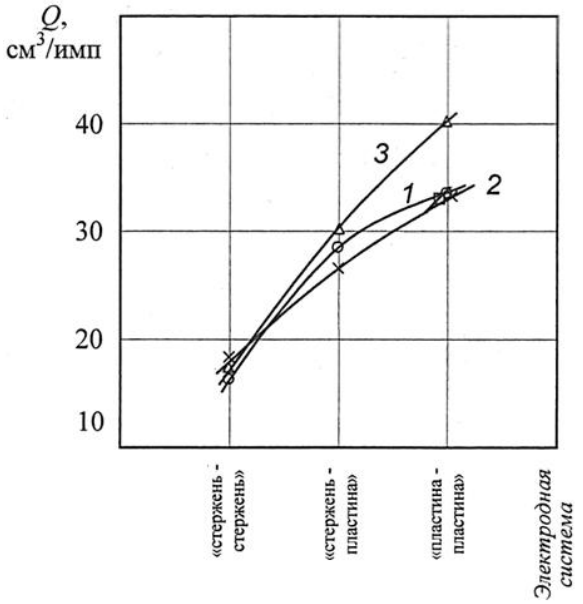


Рис. 2. Зависимость производительности разрушения от формы электродов:
1 – n = 3 имп, 2 – n = 6 имп, 3 – n = 10 имп

Важным параметром электроимпульсного разрушения, имеющим практический интерес, является глубина внедрения (разрушения) канала разряда в твердое тело. Глубина внедрения априори меньше глубины разрушения особенно для горных (хрупких) пород. Теоретически глубина внедрения при единичных воздействиях составляет Но = 0.32S/1/. Отмечено, что с увеличением S относительная глубина внедрения уменьшается до 0.2S и менее. Практически для гетерогенных горных пород глубина разрушения для первых трех импульсов имеет значительный разброс.

Средние значения относительной глубины разрушения для всех испытанных нами электродных систем при n=3 имп составляют 0.21 S÷ 0.23S.

Увеличение числа воздействующих импульсов приводит к возрастанию глубины разрушения. При n=16 имп средняя относительная глубина разрушения достигает 0.48S, что практически в 2 раза больше, чем при n=3 имп (рис. 3.)

При незначительном отличии глубин разрушения для различных электродных систем производительность разрушения существенно возрастает при переходе от электродов «стержень-стержень» к электродам «пластина-пластина» (рис. 1, 2). Этот эффект, в первую очередь, связан с увеличением площади разрушения (ширины откольной воронки) для электродов «пластина-пластина» при n ~ const.

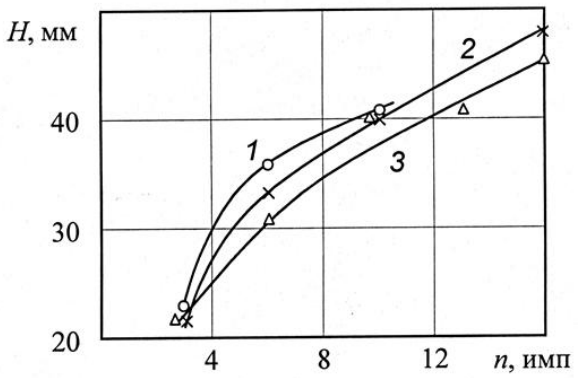


Рис. 3. Зависимость глубины разрушения от числа импульсов для разных электродных систем:
1 - «стержень-стержень», 2 - «стержень-пластина», 3 - «пластина-пластина»

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1) форма электродов влияет на характеристики разрушения горных пород (гранита);

2) пластинчатые электроды имеют существенно лучшие характеристики разрушения, чем стержневые.

Список литературы:

1. Семкин Б.В., Усов Ю.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. СПб.: Наука, 1995. – 276 с.

2. Справочник по электротехническим материалам: В 3 т. Т. 1/Под ред. Ю. В. Корицкого и др. — 3-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 368 с.: ил.

ПРИМЕНЕНИЕ MODEL-BASED CALIBRATION TOOLBOX ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОТУРБИН

Дорошенко А.В.
Научный руководитель: Сарсикеев Е.Ж. ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
Email: semidory@mail.ru

В настоящее время с целью повышения энергоэффективности автономных систем энергоснабжения в качестве генерирующих источников все больше используются ветроустановки малой и средней мощности. В связи с этим возникает необходимость проведения различных научных исследований, связанных с оптимизацией, управлением и регулированием рабочих режимов генерирующего оборудования. В качестве основного инструмента исследования подобных энергетических систем удобно использовать методы математического моделирования, в результате чего возникает задача создания математической модели ветротурбины. Для моделирования процессов, происходящих в ветротурбине применено построение функциональной модели ВЭУ средствами *Model-Based Calibration Toolbox (MBCT)* с последующим экспортом в среду *Simulink* (*MATLAB*). Процесс создания заключается в построении графика функции трех переменных. Эта функция демонстрирует зависимость момента ветротурбины (M) от скорости ветра (V) и угловой скорости вращения вала (W) [1]. На рисунке изображены механические характеристики моделируемой ветротурбины в трехмерном виде, полученные в MBCT.

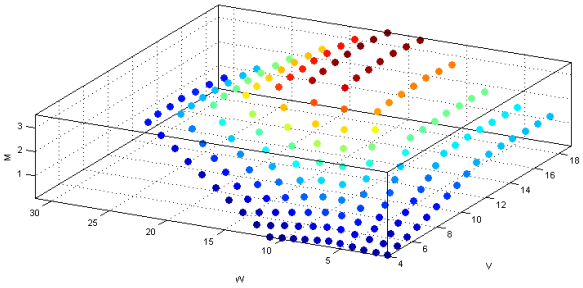


Рис. 1. Механические характеристики ветротурбины Appropriate Energy Inc.-SLG (30 кВт).

Использование программных средств для проведения экспериментов, и разработки статистических моделей обусловлено тем, что экспериментальное определение характеристик ДВС требует существенных затрат и достаточно трудоемко.

В качестве исходных данных моделирования использованы технические характеристики трехлопастной ветротурбины с горизонтальной осью вращения Appropriate Energy Inc.-SLG (30 кВт).

Для непосредственного использования исходных данных в среде MBCT численные массивы семейства механических характеристик ВЭУ необходимо преобразовать к стандартному для данной оболочки виду, используя в качестве входных данных скорость ветра (V, м/с) и угловую скорость (Ω, рад/с), а в качестве выходного параметра - момент (M, Н*м). Целью данного исследования является выбор оптимальной моделирующей функции по критериям RMSE (средняя квадратичная ошибка) и PRESS-RMSE (предполагаемая средняя квадратичная ошибка). Далее был проведен сравнительный анализ всех возможных к реализации моделей RBF, HYBRID RBF, POLYNOMIAL.

При использовании функций RBF, HYBRID RBF строятся пять моделей с номерами (10, 40, 71, 101, 132). С увеличением номеров увеличивается точность и уменьшается ошибка при моделировании. При использовании функций POLYNOMIAL функция строится в виде суммы бесконечно уменьшающихся слагаемых и есть возможность указать количество слагаемых многочлена (максимальное количество слагаемых - 17). С каждым новым слагаемым многочлена ошибка уменьшается. Результаты моделирования сведены в таблицы:

Таблица 1.

№	RBF-RMSE	
	PRESS-RMSE	RMSE
10	0,185	0,179
40	0,044	0,036
71	0,042	0,027
101	0,022	0,016
132	0,024	0,018

Таблица 2.

№	RBF-PRESS RMSE	
	PRESS-RMSE	RMSE
10	0,185	0,179
40	0,044	0,036
71	0,042	0,027
101	0,022	0,016
132	0,024	0,018

Таблица 3.

№	HYBRID RBF-RMSE	
	PRESS-RMSE	RMSE
10	0,104	0,1
50	0,033	0,019
90	0,012	$5{,}944*10^{-3}$
130	$9{,}157*10^{-3}$	$5{,}051*10^{-3}$
171	0,023	$2{,}611*10^{-5}$

Таблица 4.

№	HYBRID RBF-PRESS RMSE	
	PRESS-RMSE	RMSE
10	0,104	0,1
50	0,033	0,019
90	0,012	$5{,}944*10^{-3}$
130	$9{,}157*10^{-3}$	$5{,}051*10^{-3}$
171	0,023	$2{,}611*10^{-5}$

Таблица 5.

№	POLYNOMIAL-RMSE
	RMSE
1	0,746
2	0,395
3	0,271
4	0,176
5	0,107
6	0,092
7	0,063
8	0,047
9	0,04
10	0,034

Таблица 6.

№	POLYNOMIAL-GCV
	GCV
1	0,566
2	0,161
3	0,078
4	0,034
5	0,013
6	$9{,}965*10^{-3}$
7	$4{,}946*10^{-3}$
8	$2{,}925*10^{-3}$
9	$2{,}368*10^{-3}$
10	$1{,}901*10^{-3}$

Таблица 7.

№	POLYNOMIAL-RMSE
	PRESS-RMSE
1	0,754
2	0,405
3	0,284
4	0,188
5	0,115
6	0,107
7	0,074
8	0,06
9	0,058
10	0,063

Из данных таблиц можно сделать вывод о том, что минимальную погрешность имеют функции HYBRID RBF (гибридные радиальные базисные функции), а среди функций POLYNOMIAL минимальную ошибку имеют функции POLYNOMIAL GCV. Также имеется возможность построения поверхности прогнозируемых ошибок с помощью функции Prediction Error Surface. Ошибки можно представить либо в виде трехмерной поверхности, либо в виде контурного участка.

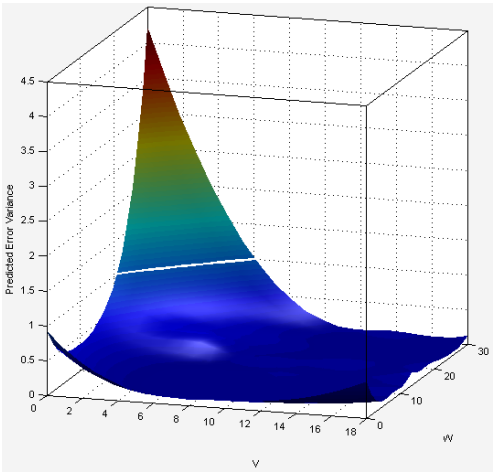


Рис. 2. Поверхность ошибок при построении модели ветротурбины Appropriate Energy Inc.-SLG (30 кВт).

Также следует отметить, что при выходе за диапазон заданных входных данных величина прогнозируемой ошибки резко возрастает. После создания модели ее можно экспортировать в SIMULINK.

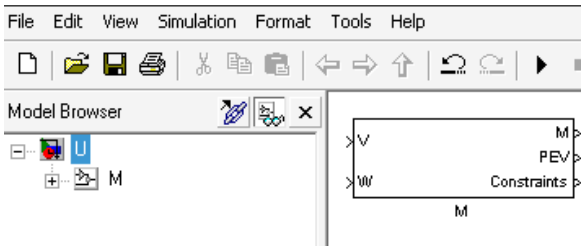


Рис. 3. Модель ветротурбины в среде Simulink

В дальнейшем эту модель можно использовать для оценки характеристик ВЭУ при подключении нагрузки, изменении скорости ветра и т.д.
Реализованная компьютерная модель ветротурбины протестирована на трех ВЭУ различных мощностей (2, 30, 250 кВт). Результаты опытов доказывают адекватность данных моделей и возможность их использования для дальнейших вычислений. Модель реализованная в среде Simulink позволяет исследовать энергетические характеристики ВЭУ по техническим параметрам, приведенным производителем.

Список литературы

1) Обухов С. Г. , Сарсикеев Е. Ж. Математическая модель ветротурбины малой мощности в MATLAB SIMULINK // Альтернативная энергетика и экология : Международный научный журнал. - 2012 - №. 2 - С. 42-48.

2) Дьяконов В.П. SIMULINK 5/6/7 Самоучитель; Москва, 2008. – 781 с.

АВТОНОМНЫЙ СВЕТОДИОДНЫЙ УЛИЧНЫЙ ФОНАРЬ

Евстафьев В.А., Майкова О.В.
Научный руководитель: Юрченко А.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск,пр.Ленина,30
E-mail:divizion18@mail.ru

Автономные системы на солнечных батареях являются оптимальным решением проблем связанных с отсутствием возможности подключения электричества. И имеют уникальную возможность добавления мощности к уже существующим сетям в случае слабого напряжения или ограничения мощности [1] .

Летом солнечного света в Сибири достаточно, чтобы автономная система полностью "питалась" от солнечных батарей. Преобразуемая ими солнечная энергия сначала в дневное время обеспечивает электропитание и накапливается в аккумуляторе и лишь затем подается в автономную систему. Присутствие в системе аккумулятора гарантирует, что уличный фонарь будет светить в любое время, независимо от того, светит ли солнце или идет дождь. В пасмурный день за обеспечение освещения отвечает накопленный резерв [2].

В гибридных ветро-солнечных системах роль основного и дополнительного источника энергии определяется в зависимости от климатических условий местности. Надежность в обеспечении энергией у такой системы значительно выше, чем у обычной ветровой либо солнечной по отдельности. Ведь ветер может стихнуть на несколько дней подряд, так же на улице может стоять пасмурная погода. Многие ошибочно полагают, что для солнечных панелей обязательно нужен прямой свет. А на самом деле фотовольтаические элементы производят электричество и в пасмурную погоду, хотя и в меньших количествах, за счет преобразования отраженных солнечных лучей [3]. Больший вклад отраженные лучи обеспечивают в зимнее время.

Системы уличного освещения широко используются для ночного освещения спортивных объектов (поля, коробки, трассы), для подсветки зданий и архитектурных комплексов, садово-парковых ландшафтов, скверов и т.д. Особо популярны и востребованы наши системы в регионах со сложным горным ландшафтом, где прокладка кабеля крайне дорогостоящая или не возможна по причине отсутствия электрических сетей.

Отсутствие необходимости трудоемкого обслуживания, замены ламп, платы за электропотребление, плюс экология, безопасность и использование современных технологий, делают выбор в пользу моей разработки правильным и современным, отвечающий реалиям не только сегодняшнего дня, но и будущего [3] .

Автономный уличный фонарь разработан с учетом климатических особенностей эксплуатации в России. Полностью заряженная аккумуляторная батарея обеспечивает автономную работу системы до 2 суток при отсутствии солнца и ветра [1] .

Средняя продолжительность тёмного времени суток в зимнее время по Томской области - 17ч.

Исходя из мощности светильника – 60Вт. определим необходимую ёмкость аккумулятора:

КПД инвертора: 85%;

Остаточная ёмкость аккумулятора: 30%

Требуемый запас мощности = (60/0,85)*17*2=2400 Вт*ч.

Требуемая ёмкость аккумуляторной батареи, не менее:

2400Вт/17В=141 А*ч.

Т.к. требуемая ёмкость аккумуляторной батареи, не менее 2400Вт/17В=141А*ч., то для зарядки на 2 дня возьмём 24В 160А*ч 2 шт. соединённых последовательно.



Рис. 1. Система уличного освещения

Годовая экономия энергосберегающих светодиодных ламп составляет около 7360 рублей. А учитывая, что установка и техническое обслуживание светодиодной техники по сравнению с ламповой более надежна, то можно оценить сумму экономии в размере 200 тысяч рублей.



Рис. 2. Автономный светодиодный уличный фонарь

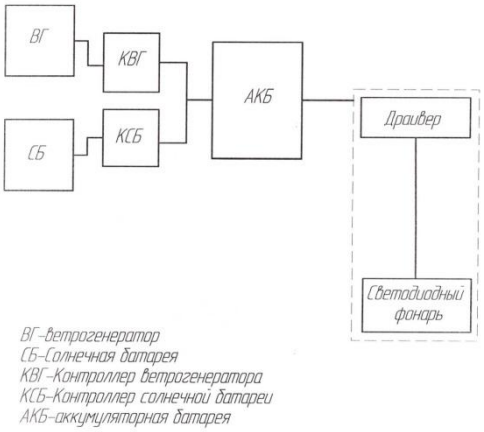
Состав системы:

- Вертикальныйветрогенератор;
- Две двухсторонние солнечные батареи;
- Светодиодный LEDсветитильник;
- Контроллер ветрогенератора;
- Контроллер солнечной батареи;
- Аккумуляторная батарея (АКБ);
- Опора освещения;

Преимущества:

- Низкая потребляемая мощность;
- Запас энергии 2 суток(на случай пасмурной погоды);
- Срок службы светодиодного светильника 50 000 часов непрерывной работы;
- Экологичность: отсутствие ртути и других опасных газов;
- Прочность конструкции и вандалоустойчивость;

Структурная схема:



Описание работы:

Светильник обеспечивается электропитанием полностью автономно. При наступлении темного времени суток происходит включение светодиодного светильника. Гибридная электростанция обеспечивает светодиодный светильник электрической энергией, накопленной в аккумуляторных батареях (АКБ). Контроллер обеспечивает заряд АКБ с температурной компенсацией.

Мощность гибридной электростанции и ёмкость АКБ выбирается с таким расчётом, чтобы обеспечить светодиодный светильник количеством энергии, достаточным для положительного баланса в любое время года. Необходимо учитывать, что, в большинстве регионов России солнечная инсоляция в ноябре-феврале не превышает $0{,}7кВт/м^2$ в сутки, и солнце может не появляться из-за облачности в среднем более 9 дней в месяц, ветрогенератор обеспечивает беспрерывную работу системы при низкой солнечной инсоляции. Для установки комплекта не требуется рытьё траншей, прокладка кабелей, трудоёмкое и дорогостоящее подключение к электросетям. АКБ –свинцово-кислотная мало-обслуживаемая аккумуляторная батарея, имеет отличные температурные характеристики и срок службы - 5 лет в буферном режиме эксплуатации. Контроллер осуществляет мониторинг состояния АКБ, что предотвращает повреждение АКБ из-за перезаряда или глубокого разряда. Он также имеет защиту от перенапряжения, коротких замыканий и неправильной полярности подключения.

Для экономного расходования электроэнергии в системе, возможно использовать автоматическое включение светильника при наступлении сумерек в дежурном режиме (20-40% освещенности). При появлении человека в зоне обнаружения 10-12м или автомобиля на расстоянии 100м, система переходит в рабочий режим (100% освещенности). При покидании человеком зоны обнаружения система возвращается в дежурный режим. Такой алгоритм работы системы освещения позволяет в среднем на 50% уменьшить потребление тока от аккумуляторной батареи.

Выводы

Анализ климатических условий и экономический расчет показывают эффективность использования светодиодного освещения с автономным питанием для условий Сибири. Дальнейшая разработка должна вестись в направление оснащения подобных систем датчиками присутствия, освещения и движения. Важным является разработка оптимального алгоритма управления системой светильников в условиях слабого движения в ночных условиях и имеющегося режима сумеречного освещения.

Список литературы:

1. Юрченко А.В., Саврасов Ф.В., Юрченко В.И. Реальная стоимость энергии – от ресурсов до потребителя // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 3. – С. 43–46.

2. Степаненко Н.И., Губин В.Е. Перспективы использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в условиях регионов Сибири // Современные техника и технологии: Труды IXМеждунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2003. – Т. 1. – С. 47–48.

3. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном энергоснабжении. – М.: Энергоиздат, 2008. – 231 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО РАСТЯЖЕНИЙ КОЛЬЦЕВОГО ПРОВОДА ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА СОБСТВЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ, ВЫЗВАННЫМ ПРОТЕКАЮЩИМ ПО НЕМУ ТОКОМ

Елгина Г.А., Васильева О.В., Лавринович А.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
6324050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: elgina@tpu.ru

Оценка фактического состояния силового трансформатора по результатам диагностических измерений является на сегодняшний день сложной и актуальной задачей. Одной из важных задач диагностики силового трансформатора является оценка механического состояния обмоток трансформатора (СТ). При токах короткого замыкания теряется электродинамическая стойкость – происходят механические повреждения. Это осевые и радиальные остаточные деформации, скручивание и раскручивание обмоток СТ. Поэтому целью данной работы является оценка поперечных и продольных деформаций проводов обмотки трансформатора, вызванных током короткого замыкания. Приведем необходимые соотношения для расчета продольной деформации провода. Относительное смещение du_i определяется тензором деформации ε_{ij}

$$du_i = \varepsilon_{ij} dx_j , \qquad (1)$$

По немым индексам суммирование. Будем считать, что отсутствуют деформации вращения. Тензор деформации можно привести к главным осям. Это означает, что оси координат выбраны таким образом, что тензор имеет только диагональные элементы:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{pmatrix}, \qquad (2)$$

Диагональные элементы называются главными деформациями и описывают растяжение или сжатие элемента объема в направлении главных осей. След тензора ε_{ii} – сумма диагональных элементов – есть относительное удлинение объема, которое можно получить с учетом выражения (1)

$$\frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_{ii} = \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = div(\mathbf{u}), \qquad (3)$$

Между компонентами тензора существует связь:

$$\varepsilon_{33} = \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\sigma_{33}}{E}, \qquad (4)$$

здесь σ_{33} – элемент тензора напряжений вдоль оси z, E – модуль Юнга (модуль растяжения),

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u}{\partial x} = -\sigma\varepsilon_{33} = \sigma\frac{\partial u}{\partial z}, \qquad (5)$$

σ –коэффициент Пуассона (отношения поперечного сжатия к продольному расширению).

Теперь определим растяжение кольцевого медного провода с магнитной проницаемостью $\mu = 1$ под действием магнитного поля протекающего по нему тока. Пусть $\sigma_{\parallel}$ – механическое напряжение, действующее вдоль оси провода, а $\sigma_{\perp}$ – механическое напряжение, действующее поперек оси провода. Определим эти напряжения.

Сила $F_{\parallel}$, действующая вдоль оси проводника, есть поперечное напряжение $\sigma_{\parallel}$ умноженное на площадь поперечного сечения проводника, т.е. $\sigma_{\parallel} 2r^2$. Учитывая изменение энергии магнитного поля проводника вдоль его оси, можно записать:

$$F_{\parallel} = \sigma_{\parallel}\pi r^2 = \frac{\partial W}{\partial l} = \frac{I^2}{2}\frac{\partial L}{\partial l} = \frac{I^2}{4\pi}\frac{\partial L}{\partial R}, \qquad (6)$$

где $l = 2\pi R$ – длина проводника, L – индуктивность кольца, зависящая от геометрических размеров проводника, I – ток, протекающий по проводнику.

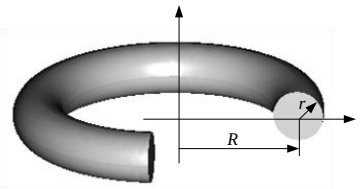


Рис. 1. Кольцевой медный провод.

Сила $F_{\perp}$, действующая поперек оси проводника, есть продольное напряжение $\sigma_{\perp}$ умноженное на площадь поверхности проводника, т.е. $\sigma_{\perp} 2\pi rR$. Учитывая изменение энергии магнитного поля вдоль радиуса r, можно записать:

$$F_{\perp} = \sigma_{\perp} 2\pi rR = \frac{\partial W}{\partial r} = \frac{I^2}{2}\frac{\partial L}{\partial r}, \qquad (7)$$

Уравнения (6) и (7) позволяют определить связь между продольным и поперечным напряжениями с продольной и поперечной силами:

$$\sigma_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{\pi r^2} = \frac{I^2}{4\pi^2 r^2}\frac{\partial L}{\partial R}, \quad \sigma_{\perp} = \frac{F_{\perp}}{2\pi rR} = \frac{I^2}{4\pi rR}\frac{\partial L}{\partial r}. \qquad (8)$$

Запишем выражение для индуктивности проводника в виде кольца круглого сечения [2]:

$$L(r,R) = R\left(\ln\left(\frac{8R}{r}\right) - \frac{7}{4}\right), \qquad (9)$$

используя соотношения (8) и (9) получим:

$$\sigma_{\perp} = \frac{I^2}{4\pi^2 r^2}\left(\ln\left(\frac{8R}{r}\right) - \frac{3}{4}\right), \quad \sigma_{\parallel} = -\frac{2I^2}{\pi r^2},$$

И наконец, используя выражение для относительного смещения и уравнения связи (4), (5) получим относительное удлинение проводника:

$$\frac{\Delta l}{l}=\frac{1}{E}(\sigma_{\parallel}-2\sigma\sigma_{\perp})=\frac{I^2}{E\pi r^2}\left(\frac{1}{4\pi}\left(\ln\left(\frac{8R}{r}\right)-\frac{3}{4}\right)+4\sigma\right)$$

.

Теперь приведем расчет поперечной деформации провода обмоток трансформатора при токе короткого замыкания с использованием математического пакета COMSOL Multiphysics.

Для расчета будем использовать выражение для тензора Максвеловского натяжения предварительно рассчитав векторный магнитный потенциал, а затем распределения электрической магнитной напряженности поля, вызванного током проводников:

$$\nabla\times\left(\mu\nabla\times\mathbf{A}\right)=J,\ \mathbf{H}=\nabla\times\mathbf{A}\,.$$

Далее для определения тензора Максвелла используем соотношение:

$$\sigma_{jk}=\frac{\varepsilon}{4\pi}\left(H_i H_k-\frac{H^2\delta_{jk}}{2}\right).$$

Интегрирование которого по поверхности проводов дает распределения поверхностных натяжений (рис.4).

В качестве примера были составлены модели внешней и внутренней обмоток СТ.

Внешняя обмотка намотана медным проводом диаметром $d=2$ мм, количество витков $n=120$, внутренний диаметр $d_{вн}=140$ мм, внешний диаметр $D_{внеш}=160$ мм, длина медного кабеля $l=370$ мм, основа – полихлорвиниловый цилиндр (рис.2).

Внутренняя обмотка намотана медной шиной с размерами $a=4$ мм, b=7 мм, $n=20$, $d_{вн}=86$ мм, $D_{внеш}=102$ мм, $l=370$ мм, основа – винипластовый цилиндр (рис.3).

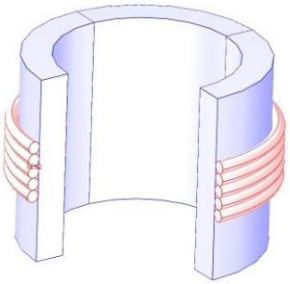


Рис. 2. Модель обмотки трансформатора внешняя.

Расчет поперечной деформации провода обмоток трансформатора при токе короткого замыкания представлен в виде эпюр распределений поверхностных сил (рис. 4) для внешней и внутренней обмоток трансформатора соответственно. Там же указан результирующий вектор воздействующих на провод сил.

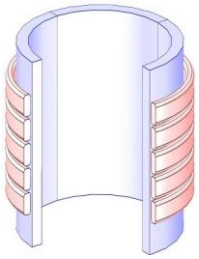
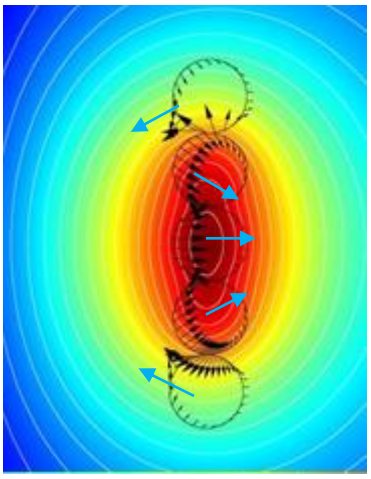
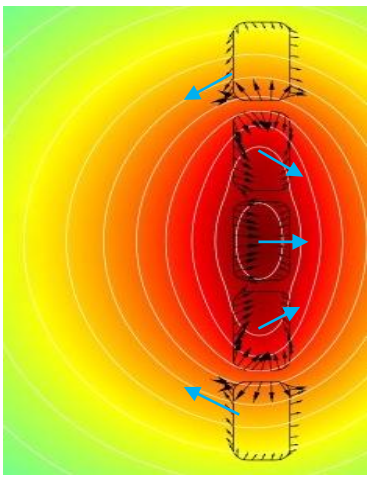


Рис. 3. Модель обмотки трансформатора внутренняя.



а



б

Рис. 4. Эпюра распределения поверхностных сил: а) во внешней обмотке, б) во внутренней обмотке

Список литературы

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества: учебное пособие / 9-е изд., испр. – М.: Наука, 1976. – 616 с.

2. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 487 с.

3. Ильдарханов Р.Г. Моделирование обмотки трансформатора ТРДН-25000/110 // Энергетика Татарстана. – 2010. – № 3. – С. 52–58.

РАСЧЕТ ЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ОБМОТОК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ТРАНСФОРМАТОРА НАНОСЕКУНДНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Елгина Г.А., Васильева О.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
6324050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vasileva.o.v@mail.ru

Силовой трансформатор является одним из наиболее важных узлов электрической сети. Особенно актуальным в связи с этим является своевременное выявление развивающихся дефектов обмоток, которое позволяет вывести силовой трансформатор в ремонт прежде, чем случится авария, связанная с выходом его из строя.

В основе диагностики состояния обмоток трансформаторов низковольтными наносекундными импульсами лежит импульсный генератор, формирующий импульсы с фронтом единицы наносекунд и длительностью нескольких сотен наносекунд [1].

Спектр воздействующего наносекундного импульса обогащен высокочастотными компонентами, следовательно, при подаче такого импульса на трансформатор в его обмотках протекают высокочастотные токи, где плотность распределения тока по сечению проводника такова, что ток концентрируется вблизи поверхности проводника. Это явление, как известно, называется *скин-эффектом.*

Обмотке силового трансформатора можно сопоставить электротехническую схему замещения, но при составлении схемы замещения должны быть учтены три важных обстоятельства:

1. Так как воздействующий импульс имеет короткую длительность, схема замещения должна быть распределенной. Если составить схему замещения для одного витка (рис.1) (одно звено), то последовательное соединение таких схем (звеньев) образует электротехническую схему замещения с распределенными параметрами.

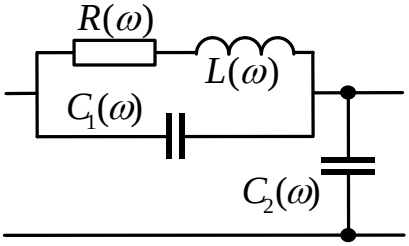


Рис. 1. Схема замещения одного витка обмотки

2. Так как воздействующий импульс имеет богатое высокочастотное наполнение, то, следовательно, нужно учитывать зависимость элементов схемы замещения от частоты, потому что при скин-эффекте сопротивление, индуктивность и емкость зависят от частоты.

3. При моделировании переходных процессов с использованием схемы замещения, необходимо использовать принцип наложения по частотам. Для этого нужно определить частотный диапазон воздействующего импульса, разложив импульс в ряд Фурье. Далее отдельно рассчитывается переходный процесс для каждой гармоники разложенного импульса, при этом должна использоваться схема замещения с фиксированной частотой соответствующей гармоники.

Цель данной работы заключается в расчете частотной зависимости индуктивности и сопротивления витков круглого и прямоугольного сечений от частоты при предположении слабой зависимости емкостей от частоты. Для этого необходимо рассчитать распределения тока по поперечному сечению проводника.

Уравнения Максвелла позволяют получить уравнение для векторного потенциала A_ϕ, позволяющего определить плотность распределения тока по сечению проводника:

$$\left(j\omega\sigma - \omega^2\varepsilon\right)A_\phi + \nabla\times\left(\mu^{-1}\nabla\times A_\phi\right) = \frac{\sigma V}{2\pi r}, \quad (1)$$

где A_ϕ - векторный магнитный потенциал, V - напряжения проводника, $\sigma = 58.8\cdot 10^6$ $\frac{\hat{I}\,\grave{i}}{\grave{i}}$ - электропроводность меди, r - радиус обмотки, ω - круговая частота, ε, μ - диэлектрическая, магнитная проницаемости соответственно.

Плотность тока и ток определяются выражениями:

$$J_\phi = \nabla\times\left(\mu^{-1}\nabla\times A_\phi\right), \quad I = \pi\int_0^R J_\phi r^2 dr. \quad (2)$$

Магнитная энергия определяется выражением:

$$W = 2\pi[\iint] A_\phi r dr \quad (3)$$

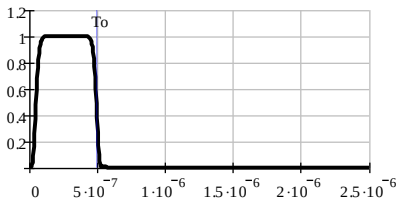
Из (3) при известном токе определяется индуктивность с помощью соотношения:

$$L = \frac{2W}{|I|^2} \quad (4)$$

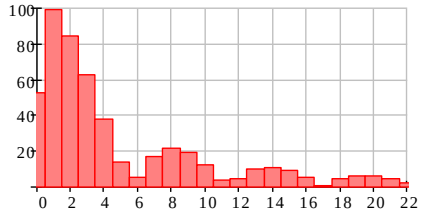
При известном напряжении и токе определяем сопротивление проводника, используя формулу:

$$R = \mathrm{Re}\left(\frac{V}{I}\right) \quad (5)$$

Для определения частотного диапазона использовался импульс из натурного эксперимента (рис.2).



а



б

Рис.2. Низковольтный наносекундный импульс: а) фронт, б) разложение в ряд Фурье

Частота первой гармоники в разложении составляет $f_1 = 4 \cdot 10^5$ Гц или $\omega_1 = 2.51 \cdot 10^6$. С учетом 22-х первых гармоник исследование проводилось в частотном диапазоне $\omega \in [0; 5,53 \cdot 10^7]$ рад/с.

Внешняя обмотка намотана медным проводом диаметром $d = 2$ мм с шагом $h = 4$ мм, количество витков $n = 120$, внутренний диаметр $d_{вн} = 140$ мм, внешний диаметр $D_{внеш} = 160$ мм, длина медного кабеля $l = 370$ мм, основа – поливинилхлоридный цилиндр (рис.3, *а*). Внутренняя обмотка намотана медной шиной с размерами $a = 4$ мм, b=7 мм, $n = 20$, $d_{вн} = 86$ мм, $D_{внеш} = 102$ мм, $l = 370$ мм, основа – винипластовый цилиндр (рис.3, *б*).

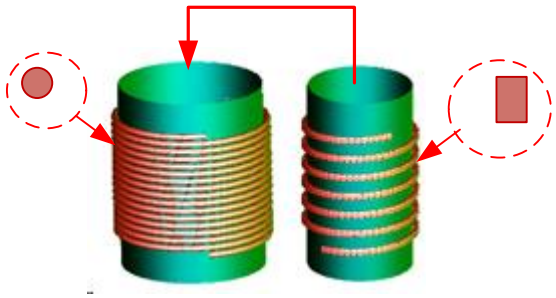
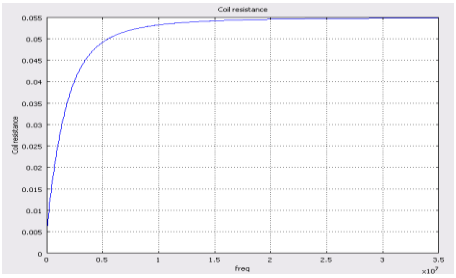
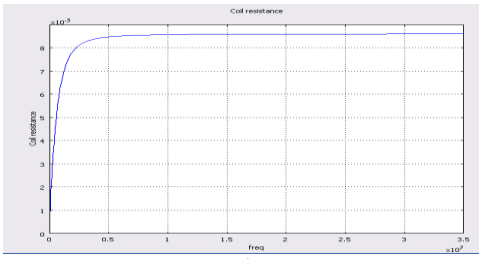


Рис.3. Обмотки трансформатора: а) внешняя, б) внутренняя

Для решения дифференциального уравнения (1) и соотношений (2) - (5) был использован метод конечных элементов с использованием математического пакета COMSOL Multiphysics. Полученные зависимости сопротивления R и индуктивности L от частоты ω для двух сечений обмоток силового трансформатора приведены на рисунках ниже (рис. 4, 5).

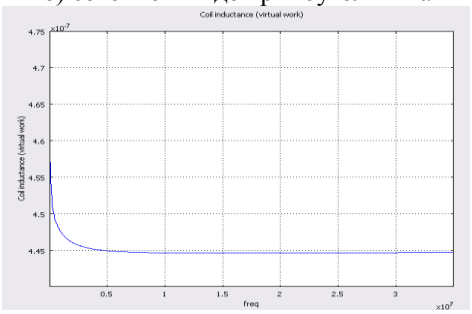


а

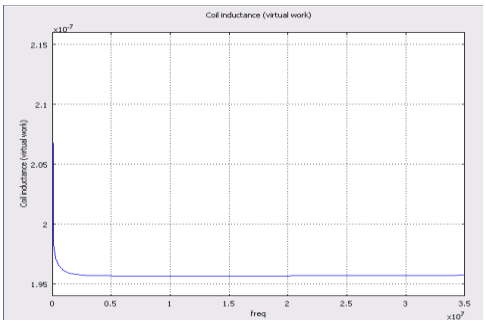


б

Рис.4. Зависимость сопротивления R от частоты ω : а) сечение в виде кольца, б) сечение в виде прямоугольника



а



б

Рис.5. Зависимость индуктивности L от частоты ω : а) сечение в виде кольца, б) сечение в виде прямоугольника

Таким образом, представлен расчет частотной зависимости элементов схемы замещения обмоток трансформатора методом конечных элементов с использованием математического пакета COMSOL Multiphysics.

Список литературы

1. Лавринович В.А., Пичугина М.Т., Рамазанова А.Р. Применение наносекундных низковольтных импульсов для диагностики состояния обмоток силовых трансформаторов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2. – С. 292-294.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОСЕЛКА ЯЙЛЮ ОТ АВТОНОМНОЙ СОЛНЕЧНО-ДИЗЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Им Е.Т.
Научный руководитель: Зубова Н.В., ассистент
Новосибирский Государственный Технический Университет, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20
E-mail: johnim@211.ru

Первая в России гибридная солнечно-дизельная электростанция мощностью 100 кВт установлена в отдаленном поселке Яйлю Алтайского заповедника в республике Алтай. Проект выполнен в рамках госконтракта Министерства образования и науки России по созданию пилотных проектов в области солнечной энергетики, реализуемого в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России».

Яйлю это поселок в Турочакском районе Республики Алтай, расположенный в заповедной зоне на берегу Телецкого озера. До недавнего времени здесь отсутствовали собственные источники генерации электроэнергии, электроснабжение осуществлялось от старого дизельного генератора. Специалисты отмечали постоянный дефицит энергомощностей. Раньше жители Яйлю, которых вместе с детьми насчитывается около 200 человек, получали электричество по графику, отключение было днем — на несколько часов и на всю ночь, теперь же электричество будет круглосуточным. При этом тариф по оплате для них не изменился, как и по всей республике он составляет 2,35 рублей за киловатт.



Рис. 1. Солнечно-дизельная электростанция в Яйлю

Автономная гибридная энергоустановка (АГЭ), включающая солнечные модули, два блока аккамуляторов и два дизель-генератора, управляется автоматически. Когда недостаточно солнечной энергии, включаются дизельные генераторы, работающие в параллели для большей эффективности. Для аварийного резерва и оперативного переключения между солнечными панелями и дизельными генераторами используются блоки аккамуляторных батарей.

Сейчас энергоустановка работает в тестовом режиме, ведется мониторинг всех технических параметров, разрабатываются режимы работы станции, а в июне станцию откроют официально.



Рис. 2. Солнечные модули солнечно-дизельной электростанции в Яйлю

На станции установлено оборудование ведущих производителей. Солнечные модули производства – Япония, в колличестве 496 штук и номинальной мощностью 115 Вт, способны выдавать до 60 кВт. Аккумуляторные батареи производства – Китай, емкостью 1500 А*ч, составляют два блока по 24 аккумулятора в каждом.



Рис.3. Иверторная солнечно-дизельной электростанции в Яйлю

Блоки аккумуляторов подсоединяются параллельно через автономные иверторы к мультикластербоксу, “мозгам электростанции”, а солнечные модули подсоединяются через сетевые иверторы. Всё оборудование от немецкого производителя «SMA».

Дизельные генераторы фирмы «YANMAR» японского производства, номинальной мощностью по 40 кВт каждый. Они работают в параллели для увеличения ресурса двигателя и уменьшения потребления топлива.

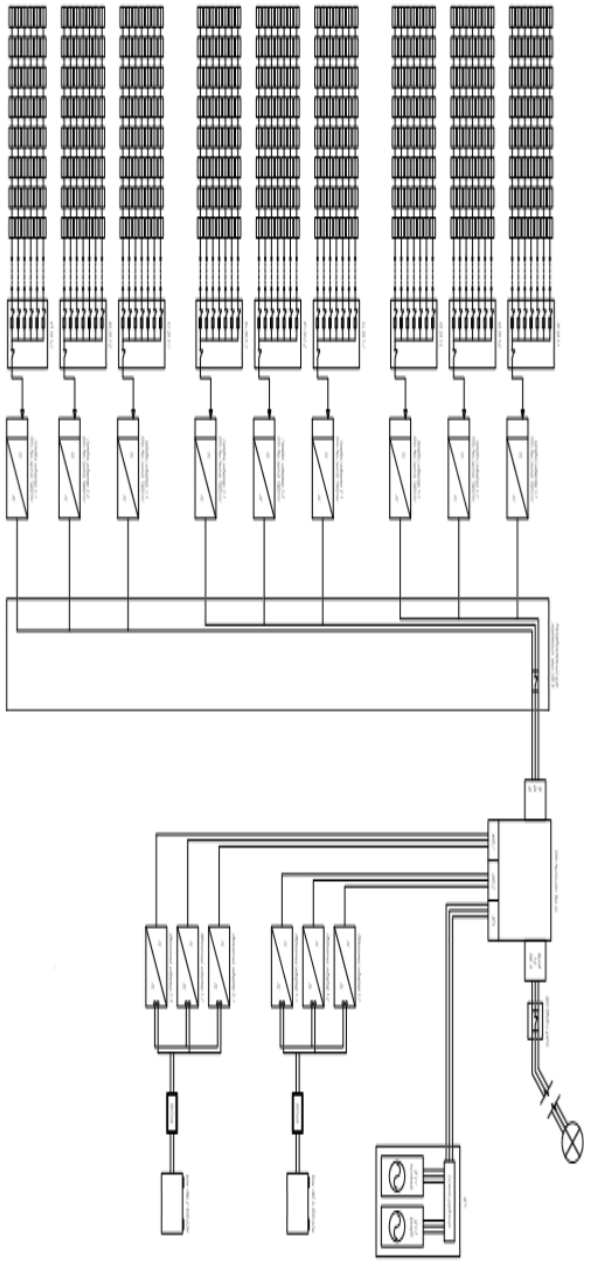


Рис. 4. Принципиальная схема станции

По проведенным расчетам, поселок будет снабжаться на 35-45% за счет солнечной энергии, остальное — за счет дизельных генераторов. Расчеты основывались на показателях среднемесячной солнечной инсоляции для данной местности, положении солнечных модулей и их характеристик. Ожидается, что эксплуатация этой электростанции позволит на 50% снизить ежегодное потребление дизельного топлива в этом труднодоступном поселке. Гарантийный срок установки — 25 лет.

Все данные были получены на практике, проходящей во время монтажных работ и пусконаладочных работах станции.

В дальнейшем, работа по проекту предполагает разработку алгоритмов режимов работы электростанции, расчеты по годовой выработке и сроки окупаемости проекта.

Электростанция в Яйлю — “пилотный проект” не только для Республики Алтай, но и для всей России. Кроме того, в стране это единственная настолько большая автоматическая, автономная энергоустановка, которая способна круглосуточно обеспечивать энергией целый поселок. На базе этой станции предполагается проводить исследования в области солнечной энергетики, развитие которой имеет огромное значение в изолированной энергосистеме и труднодоступных районах.

Аналогичные по составу электростанции различной мощностью (от 50 кВт до 1 МВт) планируется построить в регионах с высоким уровнем дизельной генерации – республиках Якутия, Тыва, Забайкальском крае, регионах Дальнего Востока. В ближайшем будущем в Кош-Агачском районе Горного Алтая построят еще одну гибридную солнечно-дизельную электростанцию мощностью 5 мВт.

Внедрение автономных солнечно-дизельных электростанций позволит существенно сократить расходы региональных бюджетов на эксплуатацию дизельной генерации.

Список литературы:

1. http://solar04.ru ООО «Солнечная энергия»
2. http://super-alternatiwa.narod.ru
3. Возобновляемые источники энергии: Учебник/С.Н.Удалов. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007.-432 с. + цв. вкл.-(Серия «Учебники НГТУ»)

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ РЕАКЦИИ УЗЛА НАГРУЗКИ

Карджаубаев Н. А.
Научный руководитель: Гужов Н. П., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: kardnurik9090@mail.ru

Эффективность функционирования электрифицированных технологических процессов в большой степени зависит от качества электрической энергии, доводимой до них, и основную роль при этом играет такой показатель качества, как отклонение напряжения.

Наилучшим напряжением на зажимах электроприемников с точки зрения экономической эффективности их работы является номинальное напряжение. Любое отклонение напряжения от номинального приводит к ущербу, который связан с увеличением затрат, при функционировании электроприемника. Эти затраты можно представить в виде следующих составляющих: затраты на приобретение электрической энергии для функционирования электроприемника; затраты на покупку и обслуживание электроприемника; стоимость продукта, получаемого с помощью электроприемника. Превышение указанных затрат при любом отклонении напряжения относительно затрат при номинальном напряжении определяет появление вышеуказанного ущерба.

При огромной разветвленности распределительных сетей системы электроснабжения, различной электрической удаленности электроприемников от источников энергии и изменяющейся во времени загрузки ее элементов величина напряжения на зажимах электроприемников различна и также изменяется во времени. Эти факторы приводят к необходимости поддерживать напряжение на зажимах электроприемников хотя бы в пределах, регламентированных ГОСТ 13109-97. В связи с этим в узлах электрических сетей систем электроснабжения устанавливаются технические средства, обеспечивающие регулирование напряжения. Этими средствами являются: регуляторы под нагрузкой (РПН) на трансформаторах ГПП; переключатели без возбуждения (ПБВ) на трансформаторах ТП 10/0,4 кВ; высоковольтные и низковольтные устройства компенсации реактивной мощности.

При реализации мероприятий по регулированию напряжения используются местное и централизованное регулирование. Местным является регулирование, когда контроль напряжения ведется в узле, в котором установлено регулирующее средство. Например, напряжение в системе электроснабжения регулируется с помощью устройства ПБВ на подстанции 10/0,4 кВ, и здесь же на сборных шинах 0,4 кВ производится контроль напряжения. Централизованное регулирование – такое, когда контроль напряжения ведется в узле ниже по иерархической структуре, чем узел, в котором установлено регулирующее средство. Так, например, напряжение в системе электроснабжения регулируется с помощью РПН на ГПП, а контроль напряжения производится в находящихся ниже узлах (ТП 10/0,4 кВ, РП-0,38 кВ или зажимы электроприемников).

Решение задачи регулирования напря-жения в системе электроснабжения целесообразно начинать с оценки наилучших положений ПБВ на всех ТП 10/0,4 кВ. Для этого, при известных или прогнозируемых графиках нагрузки по подстанциям и определенном режиме регулирования напряжения у источника питания (подстанция электроэнергетической системы), следует рассчитать среднесуточные отклонения напряжения на шинах этих подстанций. Тогда наилучшим положением ПБВ (добавка трансформатором 10/0,4 кВ), из всех возможных, будет являться то, которое приведет интервал отклонений напряжения на РУ 0,4 кВ и в удаленном узле электрической сети 0,38 кВ к более симметричному варианту относительно нуля.

Дальнейшее решение задачи по регулированию напряжения в системе электроснабжения должно вестись с учетом реакции нагрузки каждого узла электрической сети 0,38 кВ на изменение величины напряжения. Этими узлами являются шины распределительных устройств 0,4 кВ подстанций, так как начиная с этих узлов и выше по иерархической структуре электрической сети можно считать, что электрическая нагрузка как случайная величина не противоречит гипотезе о распределении по нормальному закону. Для этого всю совокупность электроприемников, подключенных к трансформаторным подстанциям 10/0,4 кВ, необходимо представить в виде определенной экономической характеристики, как зависимости ущерба электрифицированного технологического процесса от качества напряжения (от отклонения напряжения – V), представленной на рис [1].

Указанная экономическая характеристика учитывает не только изменение потребляемой активной и реактивной мощности электроприемников с

изменением напряжения на их зажимах, но и изменение затрат на обслуживание электроприемников и срока службы, а также изменение качества выпускаемой электрифицированным технологическим процессом продукции.

По сути, эта характеристика представляет собой зависимость ущерба при реализации технологического процесса от качества напряжения и может быть получена суммированием экономических характеристик отдельных электроприемников, подключенных к рассматриваемому узлу нагрузки, умноженных на коэффициент использования электроприемника на рассматриваемом интервале времени суточного периода [1], т.е.

$$У = \sum_{i=1}^{n} K_{и\,i} y_i \qquad (1)$$

где y_i – экономическая характеристика отдельного электроприемника, $K_{и\,i}$ – коэффициент использования i-го электроприемника в технологическом процессе на рассматриваемом интервале времени, n – количество электроприемников, подключенных к узлу нагрузки.

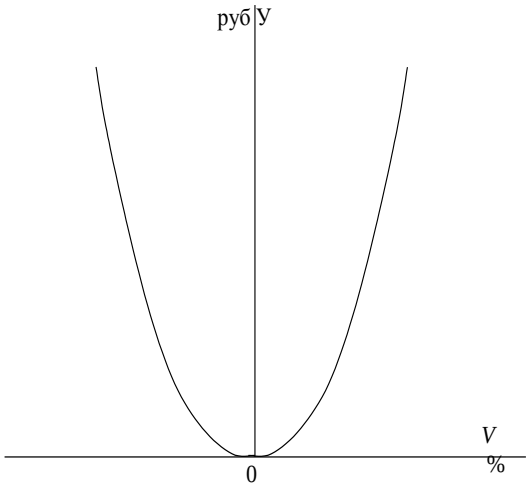


Рис. 1. Экономическая характеристика узла нагрузки

С математической точки зрения коэффициент использования отдельного электроприемника является вероятностью включенного состояния его за рассматриваемый интервал времени. Поэтому суммарная экономическая характеристика оценивается исходя из вероятностных условий.

Критерием поиска наилучшего положения регулирующих средств (РПН, высоковольтных и низковольтных компенсирующих устройств), в соответствии с указанной характеристикой узла электрической нагрузки и при определенных значениях активной и реактивной мощности, является минимум суммарного ущерба по всем узлам электрической сети системы электроснабжения. Реализуя такой подход для прогнозируемых суточных графиков нагрузки по узлам электрической сети можно получить наилучшие режимы использования регулирующих средств. На практике такой подход регулирования напряжения в системе электроснабжения пока не используется, поскольку затруднен процесс получения экономических характеристик электроприемников, особенно в части влияния отклонения напряжения на качество выпускаемой продукции. В настоящее время сформирован подход моделирования указанных характеристик электроприемников по таким группам как синхронный и асинхронный электрический привод, осветительные установки с лампами накаливания и газоразрядными лампами, электротехнологические установки. Модель характеристики представляется в виде полинома определенной степени.

Вышеперечисленные технические средства регулирования напряжения в системах электроснабжения являются дискретными устройствами, поэтому поиск их наилучшего положения на определенном интервале времени может быть выполнен путем полного перебора вариантов.

Следовательно, на последующие суточные интервалы времени, можно оценить наилучшее использование регулирующих средств напряжения в системе электроснабжения, которое приведет к минимальному ущербу в электрифицированном технологическом процессе.

Список литературы

1. Гужов Н.П. Системы электроснабжения: учебник / Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. – Ростов н/Д: Феникс, 2011.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕНЕРАТОРА НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИМПУЛЬСА

Клюева Ю.М.
Научный руководитель: Пичугина М.Т., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: jullly@sibmail.com

Введение

Для диагностики трансформаторов разработан ряд методов и технических средств, основными из которых являются методы физико-химической диагностики, тепловизионная техника, методы акустического контроля и некоторые методы электрического контроля. Каждый метод направлен на выявление определённых дефектов и до настоящего времени не разработан метод, который бы позволял выявлять повреждения и отклонения от нормы во всех узлах трансформатора. Одним из перспективных методов, который позволит решить эту проблему, является тестирование обмоток трансформатора низковольтными прямоугольными импульсами. На один из выводов трансформатора подаётся прямоугольный импульс амплитудой 100-600 В, а с другого фазного или нулевого вывода снимается сигнал и анализируется определённым образом. [1]

В основе метода НВИ лежит принцип последовательного дефектографирования, когда результаты текущих измерений сравниваются с результатами предыдущих измерений, а состояние трансформатора оценивается степенью отклонения нормограммы от дефектограммы. Длительность зондирующего импульса 1 мкс. [2]

Прямоугольный импульс формируется кабельным генератором, выполненным по схеме Введенского. Электрическая схема генератора показана на рисунке 1. В этой схеме начало и конец одного из проводников линии соединены, поэтому после замыкания ключа волновые процессы начинаются одновременно на обоих концах линии.

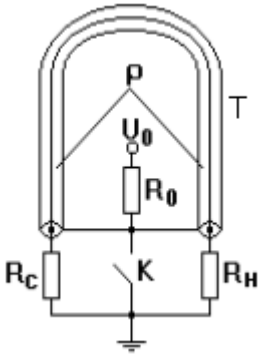


Рис.1. Схема импульсного генератора для формирования одиночных импульсов на произвольной нагрузке

U_0 – источник постоянного напряжения; R_0 – зарядный резистор; T – накопитель энергии; Rc – согласующее сопротивление; Rн – сопротивление нагрузки.

Поскольку, на одном из концов линия согласована ($R_C = Z_0$), на нем не возникают отражения, и в нагрузке R_H независимо от ее величины не появляются повторные импульсы. Для определения чувствительности метода НВИ наносекундной длительности был смоделирован генератор по схеме Введенского в программе для аналогового и цифрового моделирования цепей с интегрированным визуальным редактором MicroCap (рис.2).

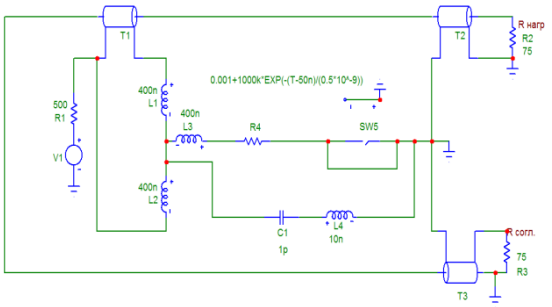


Рис. 2. Модель генератора

V1 – источник постоянного напряжения; R1 – зарядный резистор; T1 – накопитель энергии (кабель 75 Ом длиной 100м); T2 – передающий кабель (75 Ом длиной 1,5 м); T3 – кабель для подключения согласующего сопротивления (75 Ом длиной 0,5м); L1,L2,L3 – индуктивность монтажа; SW1 – коммутатор; R2– сопротивление нагрузки; R3 – согласующее сопротивление.

На рисунке 3 приведен импульс напряжения, полученный с данного генератора на согласованной нагрузке.

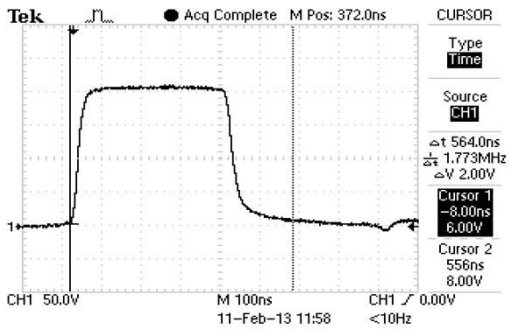


Рис. 3. Осциллограмма напряжения на нагрузке

На рисунке 4 приведен импульс напряжения при L1=L2=L3=400нГн. С увеличением индуктивности τф и τср увеличиваются.

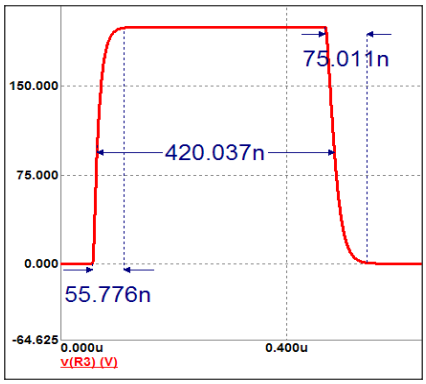


Рис. 4. Импульс напряжения при L1=L2= L3=400 нГн

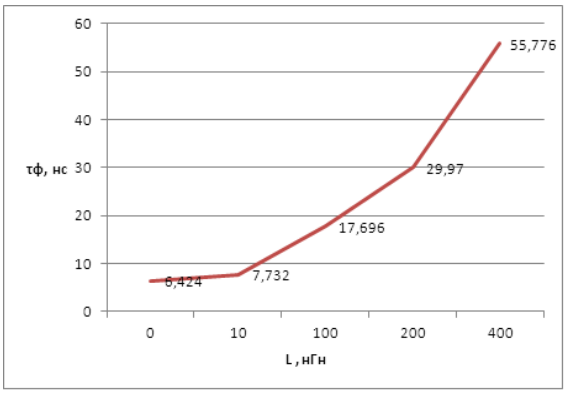


Рис.5. График зависимости τф(L) при L1=L2=L3

С увеличением емкости C1 появляются искажения на фронте и хвосте импульса (рис.6).

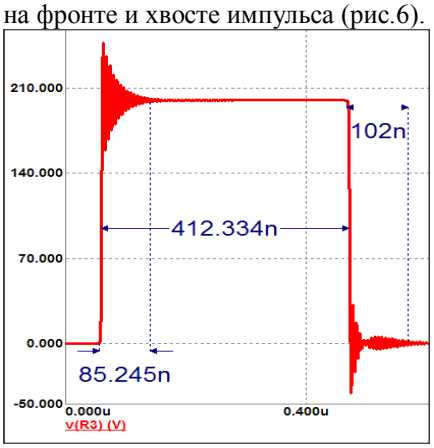


Рис. 6. Импульс напряжения при C1=40 пФ и L1=L2= L3=10 нГн

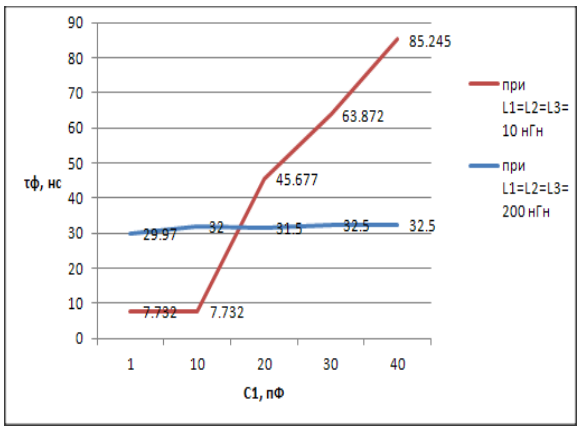


Рис.7. График зависимости τф(C1)

На фронт и срез импульса влияет время коммутации разрядника. С увеличением сопротивления R4 увеличивается фронт импульса.

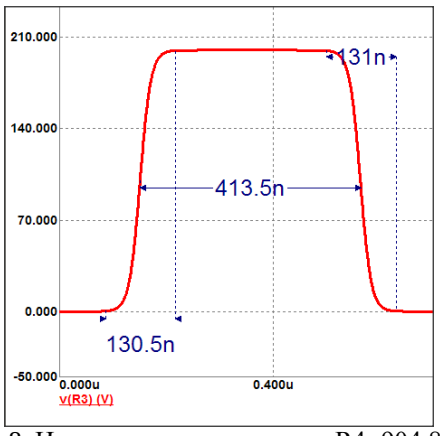


Рис. 8. Импульс напряжения при R4=904.8 Ом

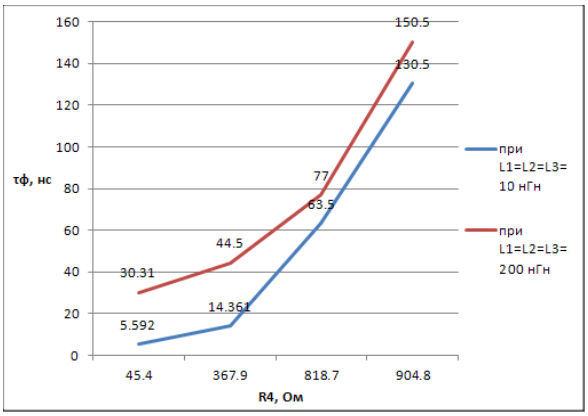


Рис.9. График зависимости τф(R4)

Как видно из графика (рис. 5) с увеличением индуктивностей L1, L2, L3 увеличиваются длительность фронта и длительность среза. Изменение паразитной емкости C1 не влияет на параметры импульса, но вносит искажения в виде высокочастотных колебаний.

Исходя из проделанной работы, можно сделать вывод, что на импульс напряжения влияют не только параметры схемы, но и индуктивности проводников, связанные с монтажом, L1, L2, L3, паразитная емкость их относительно земли C1, а также время коммутации разрядника.

Список литературы

1. Львов М.Ю., Кутлер П.П. Физико-химические методы в практике оценки состояния силовых трансформаторов в условиях эксплуатации: Учебно-методическое пособие. - М.: ИУЭ ГУУ, ВИПКэнерго, ИПК госслужбы, 2003. - 20 с.

2. Применение метода низковольтных импульсов для диагностики состояния силовых трансформаторов // Хренников А.Ю., Передельский В.А., Сафонов А.А., Якимов В.А., Энергетик, №9, 2005. - С. 11-14.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Козимиров А.В.
Научный руководитель: Мытников А.В., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: gioplo@mail.ru

Введение

Все существующие в настоящее время методы диагностики, контроля и оценки состояния изоляции можно разделить на две большие группы:

- разрушающие методы
- неразрушающие методы.

К группе разрушающих методов оценки состояния изоляции относятся испытания изоляции импульсным напряжением, повышенным переменным напряжением промышленной частоты и выпрямленным напряжением.

Разрушающие методы диагностики дают возможность получить наиболее полную информацию о состоянии объекта. Но применение этих методов в реальных условиях эксплуатации электродвигателей сопряжены с определенными трудностями. Во-первых, разрушающие методы диагностики дорогостоящи по применяемой аппаратуре, во- вторых, двигатель после испытаний теряет работоспособность и к дальнейшей эксплуатации не пригоден. Поэтому эти методы используются в основном на предприятиях, выпускающих электрические машины.[4]

Более приемлемы для применения в условиях реального производства неразрушающие методы диагностики, которые состоят из двух групп:

- неэлектрические;
- электрические.

Неэлектрические методы, основанные на использовании физико-химических свойств изоляции. К основным электрическим методам диагностики относятся методы, основанные на оценке следующих показателей:

- проводимости изоляции;
- абсорбции;
- поляризация изоляции и саморазряда;
- диэлектрические потери:
- резонансных свойств контура;
- электрической емкости.

На сегодняшний момент активно ведется поиск и разработка новых методов диагностики обмоток электродвигателя. Одним из таких методов является импульсный метод диагностики обмоток трансформаторов. Применимость данного метода возможна для электродвигателя в силу того, что электродвигатель имеет такую же схему замещения, что и трансформатор [1].

Суть метода низковольтных импульсов состоит в том, что от специального генератора на обмотку электродвигателя подается прямоугольный зондирующий импульс низкого напряжения (100–500 В) и одновременно осциллографируются реакции обмоток на воздействие этого импульса – напряжения на измерительных сопротивлениях, подключенных к другим обмоткам.

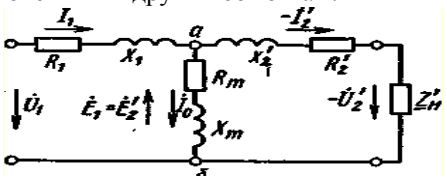


Рис. 1. Схема замещения трансформатора

Сначала при первичном дефектографировании на обмотках трансформатора снимаются нормограммы, которые в дальнейшем будут сравниваться с дефектограммами – осциллограммами, полученными при последующих измерениях. Сравнение по определенной методике нормограмм и дефектограмм позволяет оценить состояние обмоток [2]. Изменения в дефектограмме по сравнению с нормограммой свидетельствуют о появлении электрических повреждений или механических деформаций. Метод, основанный на меньшей длительности зондирующего импульса (400 нс) предложен в данной работе.

Впервые, принципиальная возможность реализации короткоимпульсного (наносекунды) подхода продемонстрирована в [3-5]. На сегодняшний момент существует большое количество методов для диагностики электродвигателя: метод фиксирования внешнего магнитного поля вблизи электродвигателя; спектральный анализ тока, потребляемого электродвигателем; и т.д. Но в основном применяется метод, который является древним и малотехнологичным – метод измерения мегоомметром. Этот метод не позволяет определять дефекты на ранней стадии, он позволяет определить, исправен двигатель или нет только после выхода его из строя. Бывает, что двигатель после повреждений отремонтировать уже нельзя. Метод наносекундных импульсов позволит определить неисправность двигателя на ранней стадии и предупредить его выход из строя. На сегодняшний момент была сконструирована модель обмотки статора электродвигателя, которая представляет собой катушку индуктивности, намотанную на стальной сердечник (трубу), это сделано для того чтобы просмотреть на простых примерах как будет проходить импульс через обмотку. Также параллельно экспериментальной части ведется моделирование всех этих же процессов на компьютере в математической программе, позволяющей приблизить к реальности испытания. Это сделано для того, чтобы поэтапно изучить обмотку электродвигателя, ее реакцию на подачу импульса.

Экспериментальная часть представляет собой серию исследований по разработке метода определения дефектов обмоток на реальном электрооборудовании, а именно электродвигателях переменного тока. Для исследований были использованы также электродвигатели асинхронные марки А4 – 400Y – 4MY3, один из электродвигателей был исправен и находился в эксплуатации, другой же в свою очередь был выведен из работы из-за неисправности обмоток. В ходе экспериментов регистрировались базовый импульс, импульс на входе обмотки – зондирующий импульс и импульс отклика. Базовый импульс, формируемый генератором в развертке 100 нс представлен на рисунке 2.



Рис.2 . Базовый импульс при развертке 100 нс.

Базовый импульс постоянно контролировался в ходе измерений и как показал анализ результатов, данная процедура – контроль параметров базового импульса – является неотъемлемой частью разрабатываемой технологии диагностики.

На рисунке 3. приведена осциллограмма зондирующего импульса и импульса отклика для случая исправного двигателя. Зондирующий импульс был подан на пару контактов «фаза С – нейтраль», отклик регистрировался на паре «фаза А – нейтраль». На рисунке 4. приведена осциллограмма зондирующего импульса и импульса отклика для случая дефектных обмоток неисправного двигателя.

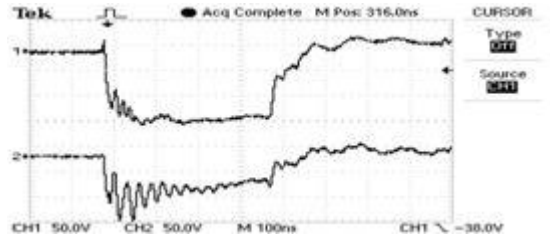


Рис.3. Результат диагностики исправных обмоток; зондирующий импульс подается на пару «С – нейтраль», отклик регистрируется на выводах фаза «А – нейтраль».

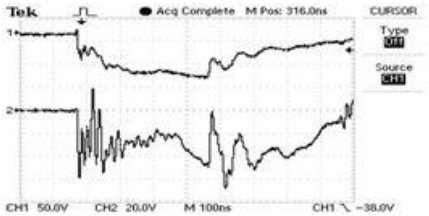


Рис.4.Результат диагностики неисправных обмоток; зондирующий импульс подается на пару «фаза С – нейтраль», отклик регистрируется на выводах «фаза А – нейтраль».

Было установлено, что форма сигнала отклика для исправных обмоток содержит мало периодических выбросов, сигнал «размывается» плавно, количество характерных «колебательных гармоник» невелико. Сравнение формы сигналов отклика выполненных на неисправном двигателе с заведомо дефектными обмотками показало характерное искажение первоначально прямоугольного импульса, которое имеет явно выраженный, специфический характер, заключающийся в наличие характерных амплитудных выбросов в начальной и конечной фазе импульса отклика, что является явным признаком дефекта обмотки.

Заключение

Изучение и разработка нового метода диагностики наносекундными импульсами позволит в дальнейшем сократить расходы на ремонт электродвигателей, а также позволит своевременно предупреждать дефект. Пробные эксперименты на реальном оборудовании позволяют утверждать о перспективности указанного подхода.

Список литературы

1. Гашимов М.А., Абдуладзе С.В. Исследование в целях диагностики физических процессов функционирования электрических машин при неисправностях в обмотке статора и ротора // Электротехника. – 2004. – №2.

2. Количественная оценка результатов импульсного дефектографирования обмоток силовых трансформаторов / С.В. Аликин, А.А.Дробышевский, Е.И. Левицкая, М.А.Филатова // Электротехника. 1990. №5.

3. Development of advanced control state technology of transformer and electric motor windings based on pulsed method, V.A. Lavrinovich, A.V. Lavrinovich A.V. Mytnikov. International Journal on ‘‘Technical and Physical Problems of Engineering’’, December 2012, Issue 13, Volume 4, Number 4, pp. 149-153.

4. Deelopment of advanced control state technology of transformer and electric motor windings based on pulsed method, V.A. Lavrinovich, A.V. Lavrinovich, A.V. Mytnikov. Proceedings of 8th International Conferences on “Technical and Physical Problems of Power Engineering”, 5-7 September 2012, Ostfold University College, Fredrikstad, Norway, pp. 82-85.

5. Разработка технологии диагностики состояния обмоток трансформаторов и электродвигателей на основе импульсного метода, Лавринович В.А., Мытников А.В., Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока №2 2011, С. 286-292.

ВЛИЯНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ НА ВЕЛИЧИНУ УДЕЛЬНОГО ПЕРЕХОДНОГО КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Колганова Ю.Л., Шаненков И.И., Сайгаш А.С.
Научный руководитель: Сивков А.А., д.т.н., профессор
Томский Политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: julia_kolganova@mail.ru

Присоединения алюминиевых проводников к контактным выводам электрооборудования, которые в большинстве случаев выполняются из меди или ее сплавов, представляют определенную сложность и являются несколько затруднительными. Решение проблемы совмещения контактной пары медь-алюминий было разработано путем нанесения медного покрытия на алюминиевую контактную поверхность с помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя.

Из серии проведенных опытов были определены оптимальные параметры работы системы, позволяющие получить контактную пару Cu-Al с сопротивлением $R_{уд}$= 1,05 мОм·мм^2. В то время как у тестового контактного образца Cu-Al удельное контактное сопротивление составило 2,7 мОм·мм^2, то есть полученные образцы с нанесенным медным покрытием таким способом позволяют снизить сопротивление в ~2,5 раза.

Ранее в наших работах [1] представлены результаты опытов, в которых показано, что с увеличением средней мощности разряда уменьшается переходное удельное сопротивление контактной пары медь-алюминий Cu-Al_{Cu}. Однако сопротивление полученного образца зависит не только от средней мощности разряда $P_{ср}$, но и от ряда других факторов, таких как скорость плазменной струи, микрогеометрия поверхности, усилие сжатия контактов, энергетические и геометрические параметры системы.

В данной работе рассматривается влияние микрогеометрии поверхности на величину удельного переходного сопротивления контактной пары Cu-Al_{Cu}. Из серии проведенных опытов были выбраны образцы для снятия профиля и значений параметров шероховатости: образец с наименьшим (№1 (рисунок 1а) – 1,05 мОм·мм^2), со средним (№2 –2,58 мОм·мм^2) и наибольшим (№3 (рисунок 1б) –4,5 мОм·мм^2) переходными контактными сопротивлениями, полученных при разных значениях средней мощности разряда $P_{ср}$. Такой выбор образцов обосновывается тем, что для исследования влияния шероховатости поверхности на величину контактного сопротивления необходимо вывести зависимость среднего значения отклонения профиля от сопротивления контактной пары Cu-Al_{Cu}. Следует отметить, что образец со средним сопротивлением имеет величину сопротивления, как у тестового контактного образца Cu-Al.

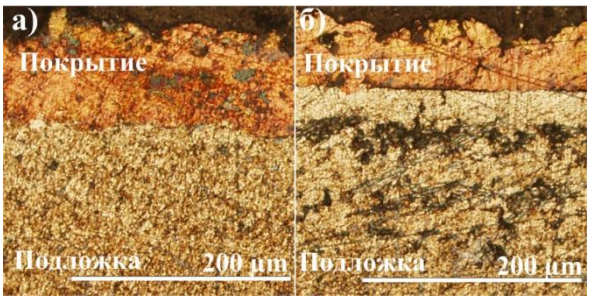


Рис. 1. Оптические фотографии шлифов поперечного среза алюминиевых образцов а) Образец №1 $R_{уд}$= 1,05 мОм·мм^2, $P_{ср}$=99,8 МВА б) Образец №3 $R_{уд}$= 4,5 мОм·мм^2, $P_{ср}$=85,2 МВА

Исследование микрогеометрии поверхности полученных образцов производилось с помощью трехмерного бесконтактного профилометра – Micro Measure 3D Station. На каждом из выбранных образцов выделялась площадка для измерения 2×2 мм, с шагом сканирования 8 мкм. Результатами данного анализа являются параметры шероховатости профиля (таблица 1) и 3D-модели поверхности образцов (рисунок 2).

Известно, что с увеличением усилия сжатия контактов их сопротивление уменьшается, вследствие увеличения площади касания за счет смятия выступов [2]. Площадь фактического касания возрастает при уменьшении шероховатости поверхности и с уменьшением высоты неровностей профиля [3].

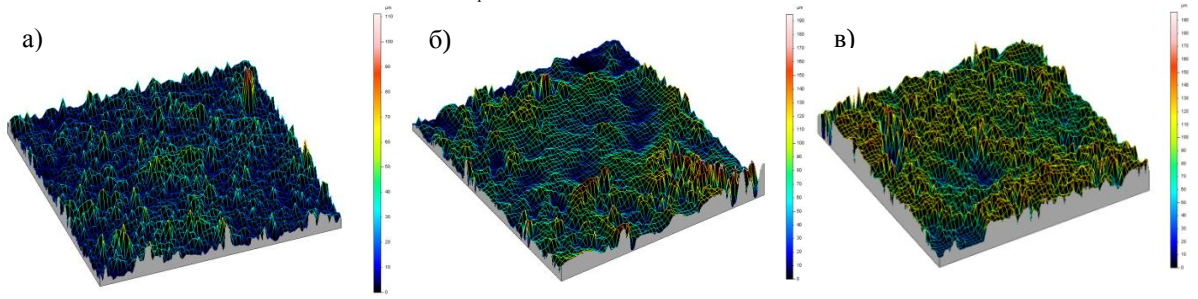


Рисунок 2 - 3D изображения поверхностей образца а) $R_{уд}$= 1,05 мОм·мм^2 α=38°, β=40°; б) $R_{уд}$= 2,58 мОм·мм^2 α=233°, β=42°; в) $R_{уд}$= 4,5 мОм·мм^2 α=106°, β=35°

Таким образом, для уменьшения переходного контактного сопротивления контактной пары Cu-Al_{Cu} необходимо получать покрытия, имеющие большое количество микровыступов, но по высоте пики должны быть минимальными.

Таблица 1. Параметры шероховатости поверхности

№	$R_{уд}$, мОм·мм^2	R_a, мкм	S_a, мкм	H_{max}, мкм	$H_{ср}$, мкм
1	1,05	5,4	7,4	86	10
2	2,58	13,1	22,0	184	25
3	4,50	15,5	22,1	147	28

Где R_a – среднее отклонение профиля (средняя шероховатость), S_a – средняя поверхностная шероховатость (средний шаг неровностей), H_{max} – максимальная высота пика, $H_{ср}$ – средняя высота пиков.

3D-модели изображения поверхности (рисунок 2) получены в программе Mountains Map Universal 2.0.13, при изменении угла поворота α и угла наклона β. Из рисунка 2а видно, что у образца с сопротивлением 1,05 мОм·мм^2 поверхность наиболее равномерная, не содержит резких пиков или глубоких впадин, заметен лишь единственный выступ высотой около 90 мкм. Из таблицы 1 видно, что средняя высота пиков составляет 10 мкм, профиль поверхности включает в себя значительное количество микровыступов, с небольшим отклонением их высот относительно друг друга. Таким образом, данная поверхность образца удовлетворяет своими параметрами для снижения переходного контактного сопротивления контактной пары медь-алюминий – содержит много выступов, высотой не более 86 мкм.

Проанализированная поверхность образца со средним значением сопротивления ($R_{уд}$=2,58 мОм·мм^2) (рисунок 2б) по сравнению с поверхностью образца №1 ($R_{уд}$=1,05 мОм·мм^2) (рисунок 2а) имеет неравномерный профиль – с одной стороны большое количество выступов, с другой преимущественно впадины. Совмещение такой поверхности с контактирующим элементом приведет к уменьшению площади фактического касания, что в свою очередь станет причиной увеличения сопротивления контактной пары медь-алюминий. Образец №3 (рисунок 2в) с $R_{уд}$=4,5 мОм·мм^2 по своей структуре содержит много выступов и углублений. На рисунке 1б видно, что полученное покрытие этого образца местами отслаивается от подложки и сильно неоднородно по своей структуре, в то время как у образца с наименьшим сопротивлением (рисунок 1а) толщина медного слоя увеличивается, структура становится равномернее.

В таблице 1 представлены параметры шероховатости образцов. Характеристики шероховатости оценивают преимущественно по профилограммам в пределах стандартизированной базовой длины. Все параметры шероховатости профиля можно разделить на амплитудные R_a, шаговые S_a и смешенные. По таблице 1 видно, что чем меньше среднее значение арифметического отклонения профиля R_a, тем меньше переходное контактное сопротивление контактной пары Cu-Al с нанесенным медным покрытием. При увеличении среднего шага неровностей S_a сопротивление растет. То есть за счет уменьшения шероховатости поверхности происходит рост площади касания контакта, а, следовательно, сопротивление уменьшается.

Контактное сопротивление напрямую зависит как от амплитудных и шаговых параметров шероховатости, так и от высоты пиков [4]. С увеличением средней высоты вершин профиля переходное сопротивление контактной пары Cu-Al_{Cu} увеличивается. При контакте двух шероховатых поверхностей, вначале вступают в контакт выступы, расположенные на вершинах волн. Сумма высот выступа первой поверхности и противолежащего ему выступа второй поверхности окажется наибольшей. По мере увеличения нагрузки в контакт будут вступать все новые пары пиков, обладающие меньшей суммой высот. Таким образом, с увеличением высоты выступов на поверхности контактной пары Cu-Al_{Cu}, площадь контактной поверхности уменьшается, а, следовательно, и переходное сопротивление. При увеличении нагрузки фактическая площадь контактной поверхности возрастает, также как и переходное контактное сопротивление.

Из всего выше сказанного можно сделать выводы:

1. Переходное контактное сопротивление контактной пары Cu-Al_{Cu}, полученное плазмодинамическим методом, зависит не только от энергетических параметров системы КМПУ, но и от микрогеометрии полученного покрытия.

2. С уменьшением параметров среднего отклонения профиля и средней поверхностной шероховатости контактное сопротивление снижается, так как при уменьшении шероховатости профиля площадь фактического касания контактов возрастает.

Список литературы

1. А.А. Сивков, А.С. Сайгаш, А.Я. Пак О возможности уменьшения переходных сопротивлений сильноточных контактных соединений// Изв. Вузов, Проблемы Энергетики. 2008. №9-10/1. С. 20-28.

2. Р. Я. Кляйн Электрические и электронные аппараты. Часть 1 // Учебное пособие. – Томск, ТПУ, 2011. – 128 с.

3. Н. И. Бойко Ресурсосберегающие технологии повышения качества поверхностных слоев деталей машин // Учебное пособие. — М.: Маршрут, 2006. — 198 с.

4. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхностей и контакт деталей машин // М.: Машиностроение, 1981. – 248 с.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Манусов В.З., Крепышев И.С.
Научный руководитель: Манусов В.З., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса,20
E-mail: kis07@rambler.ru

Проектирование систем электроснабжения (СЭС) характеризуется неполнотой проектной информации на всех этапах разработки нового технического объекта - от анализа технического задания до разработки проектной документации. Высокий уровень неопределённости является принципиальным при описании объектов проектирования, относящихся к классу СЭС и структура которого представляет собой иерархию сильно связанных элементов. Далеко не всегда удается применить точные математические методы для решения задач автоматического проектирования системы электроснабжения, поскольку часто их решение основывается на использовании субъективных знаний и опыта проектировщика, характеризующихся неполнотой и фрагментарностью.

Таблица 1. Виды информации при проектировании

Проектная процедура	Объем %	Вид информ-ции	Фактор не определенности
Сбор и обработка исходных данных	7	Det,Int Fuz	Предвари тельная или не полная информ.
Расчет электрических нагрузок, выбор сечения кабелей 1-35 кВ, мощности компенсаторов реактивных нагрузок, числа и мощности трансформаторов	19	Det,Int Fuz	Интервальная форма расчетных коэф-тов
Выбор схем ГПП	2	Det	
Выбор схем электроснабжения предприятия, объекта	16	Det	
Расчет токов к.з. и уровней напряжений	6	Int, Fuz	Практический(приближенный) метод
Расчет надежности систем электроснабжения	2	Int ,Fuz	Статистическиеориентировочные данные
Расчет релейной защиты в распределительной сети	5	DetfInt	Интерваль ная форма расчетных коэф-тов
Расчеты компенсации емкостных токов замыкание на землю	2	Fuz	Ориентировочные данные коэф-в
Проверка возможности: одновременного пуска и самозапуска эл, двигателей	5	Det	
Расчет показателей качества напряжения	10	Pus	Неопределенность нагрузки
Выбор фильтрокомпенсирующих устройств	6	Int, Fuz	Неопределенность нагрузки
Принципиальная одно линейная схема электроснабжения	6	Графический	
Генеральный план	1	Графический	
Пояснительная записка Выпуск проектносменной документации	85	Тексто стовый	

В настоящее время на основе исследований в основном зарубежных ученых [1,2] формируется методология “мягкие вычисления”, среди направлений которой можно выделить нечеткие системы [1,3] и генетические алгоритмы [1,2].

В рамках указанных направлений новыми методами могут быть решены традиционные задачи оптимизации и принятия проектных решений в условиях неполноты проектной информации. Основным достоинством данной методологии являются толерантность к неполноте исходных данных.

Научная проблема формализации процессов принятия решений заключается в разработке интеллектуальных систем, синтезирующих традиционные математические методы многокритериального анализа, методы нечетких систем и экспертных оценок.

Большинство задач оптимизации при проектировании системы электроснабжения характеризуются значительным пространством поиска с большим количеством локальных экстремумов. Повысить качество решений, найденных с использованием методов генетического поиска, возможно при определении оптимальных значений параметров алгоритма и адаптировании генетических алгоритмов к задачам оптимизации. В связи с этим, научная проблема построения генетических алгоритмов для решения задач оптимизации проектирования систем электроснабжения состоит в повышении их эффективности путем разработки методов адаптации генетических алгоритмов к определенному множеству задач.

Объектом исследования в данной статье является возможность применения нечетких моделей и

генетических алгоритмов при проектировании систем электроснабжения. В качестве предмета исследования выступают нечеткие системы и генетические алгоритмы для решения ряда задач в области проектирования систем электроснабжения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Необходимо провести сравнительный анализ возможностей и ограничений существующих программных комплексов, выявить характерные особенности проблемной области проектирования систем электроснабжения и определить место нечетких систем и генетических алгоритмов в задачах проектирования систем электроснабжения.

2. Разработать метод многокритериального анализа при проектировании систем электроснабжения, учитывающей нечеткий характер системы предпочтений проектировщика и подчинение различных групп критериев различным стратегиям агрегации.

3. Разработать метод адаптации стандартного генетического алгоритма к задачам оптимизации.

4. Оценить возможность создания системы автоматизированного проектирования простроенной с применением нечетких множеств и генетических алгоитмов.

Для достижения цели планируется применять следующие методы исследования: методы системного анализа, теории управления, математического моделирования, методы представления знаний, совокупность методов, обобщенных направлением мягких вычислений и проектирование программных систем. В качестве средств создания интеллектуальных автоматизированных систем планируется использовать оболочку нечеткой экспертной системы FuzzyClips 6.10 и среда разработчика Microsoft Developer Studio.

Среди современных методов исследования операций известен и широко применяется метод анализа иерархий Т. Саати [4,5], который позволяет решать задачу многокритериального выбора слабоформализованных альтернатив. В метод анализа иерархий, Саати предлагает математическую обработку экспертных оценок на основе матричных вычислений и аддитивной свертки критериев.

Кратко изложим основные положения МАИ. При решении задачи многокритериального выбора объекты составляют нижний уровень иерархии. Вершиной иерархии является цель. "Минимальное" представление задачи выбора - это трехуровневая иерархия: <цель>, <критерии>, <объекты> (рис.1).

В иерархии каждый элемент высшего уровня считается значимым для каждого низшего, то есть действуют все возможные связи.

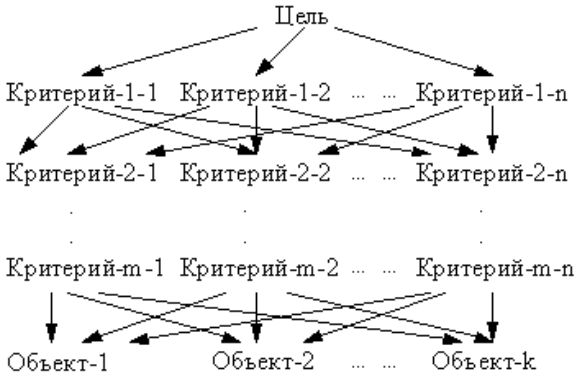


Рис.1. Иерархия многокритериального выбора

Этапы МАИ:

1. Составить иерархию <<цель>, <критерий-1>,... <критерий-m>, <объекты>> (рис.1).

2. Попарные сравнения критериев (объектов) на основе шкалы субъективных суждений.

3. Расчет вектора локальных приоритетов - весов критериев (объектов).

4. Расчет собственного значения матрицы W - λ_{max}, индекса согласованности ИС, отношения согласованности.

Таким образом можно прийти к выводу что:

1. Представление системы предпочтения лица принимающего решения в виде иерархической структуры в системе поддержки принятия решений отражает принцип декомпозиционно-агрегативного подхода, выступающего в качестве основного при проектировании системы электроснабжения.

2. Процессы выбора технического решения при проектировании СЭС - это по своей природе иерархические субъективные процессы принятия решений. В связи с этим при построении системы поддержки принятия решений возникает необходимость применения нечетких для учета нечеткого характера субъективной экспертной информации.

Список литературы

1. Скурихин А. Генетические алгоритмы/ Новости искусственного интеллекта, N.4., 1995, С. 6-17.

2. Ярушкина Н. Г. Методы нечетких экспертных систем в интеллектуальных САПР. - Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1997. - 107 с.

3. Zadeh L. What is soft computing? Soft computing Vol. 1, N. 1, 1997, pp.2 -3

4. Саати Т., Кернс. Аналитическое планирование. Огранизация систем: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1991. - 224 с.: ил.- ISBN 5-256-00380-1.

5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.: ил.

АНАЛИЗ СОСТАВА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Крылов В.Н.
Научный руководитель: Сарсикеев Е.Ж., ассистент
Томский политехнический университет 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30.
E-mail: bennar.1990@mail.ru

Автономные дизельные генераторы (дизельгенераторы, дизельные электростанции), в отсутствие централизованного энергоснабжения, являются лучшим решением проблемы получения электричества и характеризуются быстрой окупаемостью генераторной установки.

Слежение за количеством выброса дизельного генератора помогает найти оптимальный режим работы, при котором ДГ будет давать качественную электроэнергию при минимальном расходе топлива и наносить меньший вред окружающей среде, что немало важно в наше время.

При сгорании дизельного топлива образуются различные вещества. Их состав зависит от конструкции двигателя, его мощности и нагрузки. Полное сгорание топлива приводит к существенному уменьшению концентрации вредных веществ. Полное сгорание обеспечивается точным поддержанием состава топливно-воздушной смеси, абсолютной точностью процесса впрыска и оптимальным завихрением топливовоздушной смеси.

Главным образом образуется вода (H_2O), кислород (O_2), безвредная двуокись углерода (CO_2) и в относительно низкой концентрации следующие соединения: окись углерода (CO), несгоревшие углеводороды (HC или CH), окислы азота (NO_x).

CH — это общее обозначение всех углеводородов, которые получаются из несгоревшего бензина, это попросту несгоревший бензин.

CO — образуется при неудовлетворительном распыливании топлива, в результате холоднопламенных реакций, при сгорании топлива с недостатком кислорода

CO_2 — это полностью сгоревшее топливо.

O_2 — кислород, который не смог по каким-то причинам вступить в реакцию с бензином.

NO_x — на величину выброса оксидов азота оказывает значительное влияние температура в камере сгорания, т.е. чем выше температура, тем выше концентрация NO_x. Ранний впрыск топлива или высокие давления сжатия в камере сгорания также способствуют образованию NO_x. Чем выше концентрация кислорода, тем выше концентрация оксидов азота.

П ри точном поддержанием состава топливно-воздушной смеси, абсолютной точностью процесса впрыска и оптимальном завихрением топливо-воздушной смеси, показатель CO_2 должен быть высоким, а NO_x, O_2, CO и CH низкими по величине.

При различных неисправностях происходит повышение содержания вредных веществ в выхлопных газах. Если параметр CH завышен, значит, бензин горит не полностью.

Анализ газовых смесей широко используется в различных технологических процессах в химической, металлургической и теплогенерирующей отраслях промышленности.

С помощью газоанализаторов определяются самые различные компоненты в коксовальном и доменном газах, в отходящих газах котельных установок, а также в выхлопных газах автомобилей. Данные о количественном содержании определенных компонентов, полученные в результате анализа, используются для управления ходом процесса с целью его оптимизации или отладки работы установки.

В воздухе производственных помещений могут быть взрывоопасные концентрации веществ. Их своевременное определение с помощью газоанализаторов очень важно. Это позволяет предотвратить техногенные аварии с непредсказуемыми последствиями.

Цель опытов - определение влияния частоты, нагрузки, положения топливной рейки на состав выхлопного газа. Опыт1: Работа двигателя на холостом ходу при различном положении топливной рейки. По первому опыту можно посмотреть, как влияет положение топливной рейки на количество веществ в выхлопном газе, на холостом ходу. Опыт2, опыт3, опыт4: Работа двигателя при различных ступенях нагрузки на нулевом (50Гц), на минимальном (20Гц) и среднем (35Гц) положении топливной рейки. Из построенных зависимостях по данным полученным в ходе опытов можно посмотреть наиболее оптимальный режим работы при малом расходе топлива.

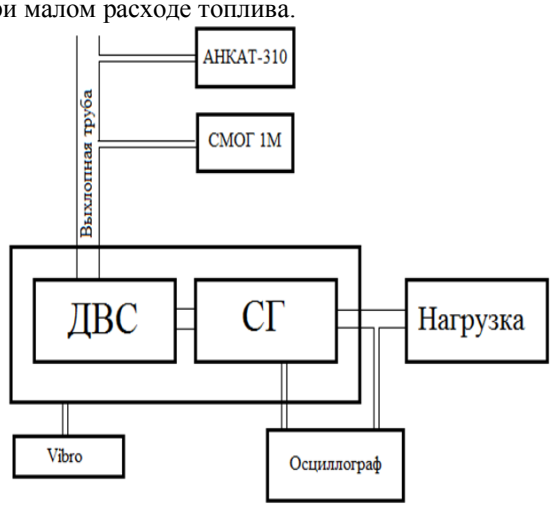


Рис. 1. Расположение приборов при испытаниях

Анкат-310- присоединяется к выхлопной трубе и берет пробу воздуха для замеров.

Смог 1М - крепится к выхлопной трубе, через длинную трубку, для уменьшения температуры выхлопного газа.

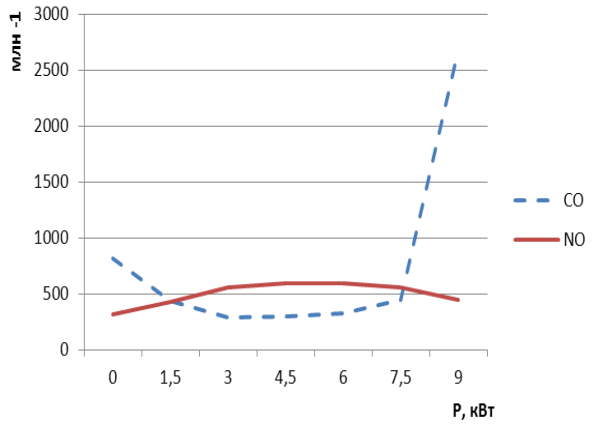


Рис. 2. Опыт 2 зависимость O2 и CO2 от P.

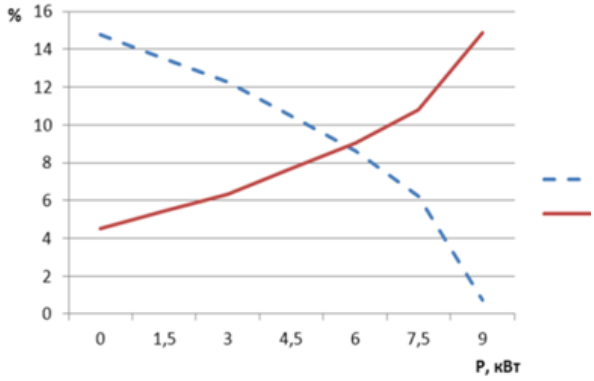


Рис. 3. Опыт 2 зависимость CO и NOот P

В опытах 2,3 и 4 постепенно добавляли ступени нагрузки. По зависимости O_2 и CO_2 от P видно, что при повышении нагрузки кислород падает, а количество CO_2 увеличивается, следовательно весь кислород расходуется на горение топлива в камере сгорания, что говорит о эффективной работе двигателя при средней нагрузке (70%). Из зависимости NO и CO видно, что при повышении нагрузки, оксиды азота уменьшаются, так как кислород заметно падает. Содержание CO по началу падает, так как кислорода вполне достаточно чтоб закончить химическую реакцию для образования CO_2, но с постепенным уменьшением кислорода, показатель CO начинает возрастать, так как CO уже сложнее найти молекулу кислорода для завершения реакции.

Чтобы сравнить наши полученные значения содержания вредных веществ с ГОСТ [5] нужно содержание CO и NOx перевести в г/кВт·ч.

$$e_{NOx} = \frac{5{,}72 \cdot 10^4 \cdot C_{NOx} \cdot (G_{air} - 0{,}000974 G_f)}{P_e}$$

$$e_{CO} = \frac{3{,}48 \cdot 10^4 \cdot C_{CO} \cdot (G_{air} - 0{,}000974 G_f)}{P_e}$$

Рассчитав по формулам удельный выброс оксидов углерода и азота видно, что при наименьшей нагрузке (<5кВт) наши параметры выброса не укладываются в рамки госта, т.к. значения превышают 11 и 10 г/кВт·ч , но при нагрузке (>5кВт) содержание вредных веществ становится приемлемыми в рамках ГОСТа [6]. При максимальной нагрузке, наблюдается не соответствие с нормами выброса. Аналогичная ситуация наблюдается и при других частотах.

Из проведенных опытов видно, что наиболее эффективный режим работы дизельного двигателя наблюдается при средней нагрузке (50-70%). В таком режиме низкое содержание вредных веществ CO и NO_x и большое количество CO_2 в выхлопном газе. Кислород практически полностью расходуется на реакцию горения, что говорит о малом содержании O_2 в выхлопе. Значения выброса очень важны, т.к. от содержания веществ в выхлопном газе зависит расход топлива и эффективность работы двигателя. При данном режиме работы мы наносим минимальный вред окружающей среде, по средством меньшего выброса вредных веществ в атмосферу. Количество выбросов контролируется государственными службами и множеством правовых документов. Слежение за выбросом вредных веществ и минимизация их количества помогают снижать затраты топлива.

N и K- показатели ослабления светового потока очень важные показатели выброса, но в наших опытах они получились с большой погрешностью. Это связанно с тем, что перед началом исследования нужно пропустить луч через чистый воздух как эталон, что не возможно при постоянно работающем дизеле и остатков сажи и гари после проведения опытов.

Уровень вибрации слегка превышает предельно допустимые значения, что не сильно снижает эффективность работы и срок службы дизельного генератора.

Список литературы

1. Судовые дизели / Гогин А. Ф., Кивалкин Е.Ф., Богданов А.А М: Транспорт 1988- 432с.
2. Руководство по эксплуатации АНКАТ 310.
3. Руководство по эксплуатации СМОГ 1-М.
4. ГОСТ Р 51249-99. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения.
5. ГОСТ Р 51250-99. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения

ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАТОРОВ ДЛЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Лавринович А.В., Васильева О.В.
Институт сильноточной электроники СОРАН
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
6324050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vasileva.o.v@mail.ru

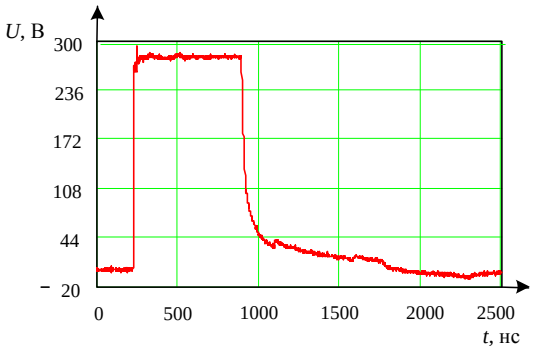
В основе диагностики состояния обмоток трансформаторов низковольтными наносекундными импульсами [1] лежит импульсный генератор, формирующий импульсы с фронтом единицы наносекунд и длительностью нескольких сотен наносекунд. При этом амплитуда импульса должна быть более 200 В. Промышленностью генераторы с совокупностью таких параметров не выпускаются. Одна из проблем на пути создания таких генераторов отсутствие приемлемого коммутатора. В связи с этим нами была поставлена задача проанализировать импульс на выходе генератора, получаемый на согласованной нагрузке при различных типах коммутаторов.

За основу были взяты такие типы коммутаторов: ртутные реле, механические замыкатели типа ползунковых и кнопочных переключателей, герконы газовые и вакуумные, разрядники низкого напряжения типа NENSHI 230 07.

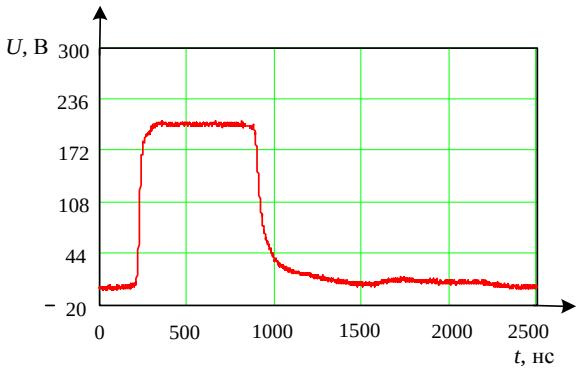
Методика сопоставительного анализа заключалась в том, что исследуемый коммутатор устанавливался в кабельный генератор (волновое сопротивление кабеля составляло 75 Ом, длина кабеля 130 м), собранный по схеме Введенского [2]. Импульс напряжения регистрировался осциллографом типа Tektronix-TDS2012 посредством стандартного прилагаемого к осциллографу пробника типа P2220, имеющего полосу пропускания порядка 200 МГц при измерении с коэффициентом ослабления регистрируемого сигнала 1:10.

Типичные импульсы, полученные в результате испытания разных коммутаторов, приведены на рис.1.

Видно, что они отличаются в основном в начале импульса. Это обусловлено свойствами применяемого коммутатора, т.к. остальные параметры генератора, включая индуктивность присоединения коммутатора, оставались во всех экспериментах одинаковыми.



а



б

Рис.1. Импульсы U коммутаторов типа:
а) геркон вакуумный МКА-52141-ГрА;
б) газовый разрядник NENSHI 230

Для объективного сравнения получаемых импульсов между собой нами был применен метод дискретного Фурье-анализа. С помощью стандартной программы MathCAD импульс раскладывался в ряд Фурье.

Эффективность метода продемонстрирована на примере вакуумного геркона и газового разрядника (амплитудно-частотные характеристики приведены на рис.2, а фазочастотные характеристики на рис.3, где f - частота сети).

Видно, что этот метод не дает наглядной картины сравнения разных по форме импульсов. Поэтому нами предложено сравнивать между собой спектры фаз и спектры амплитуд импульсов в виде относительного отклонения (1) и (2) соответственно, как представлено на рис.4.

Относительное отклонение спектров фаз импульсов в относительных единицах (о.е.):

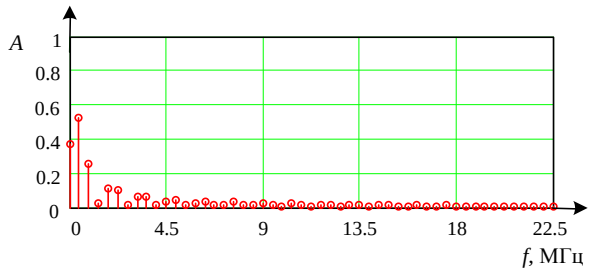
$$\Delta\varphi = \frac{\varphi - \varphi_1}{\varphi}, \qquad (1)$$

где φ и φ_1 - спектры фаз коммутаторов двух типов соответственно.

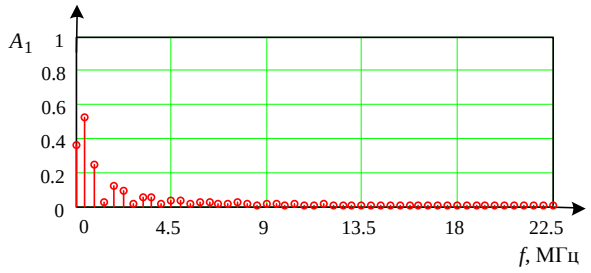
Относительное отклонение спектров амплитуд импульсов в относительных единицах (о.е.):

$$\Delta A = \frac{A}{A_1}, \qquad (2)$$

где A и A_1 - спектры амплитуд коммутаторов двух типов соответственно.

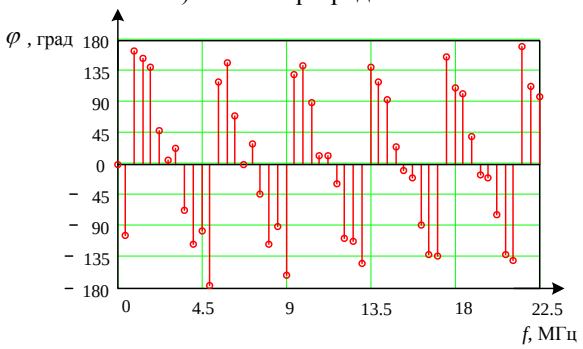


а

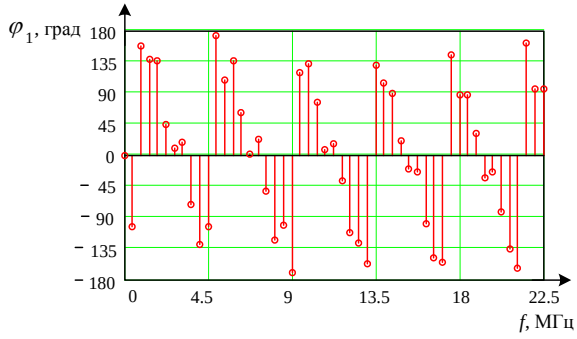


б

Рис.2. Амплитудно-частотные спектры A и A_1 коммутаторов типа: а) геркон вакуумный; б) газовый разрядник



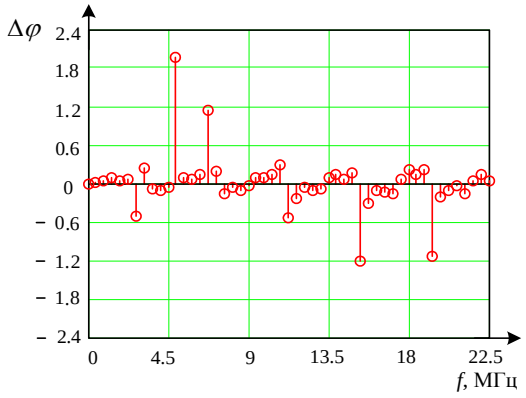
а



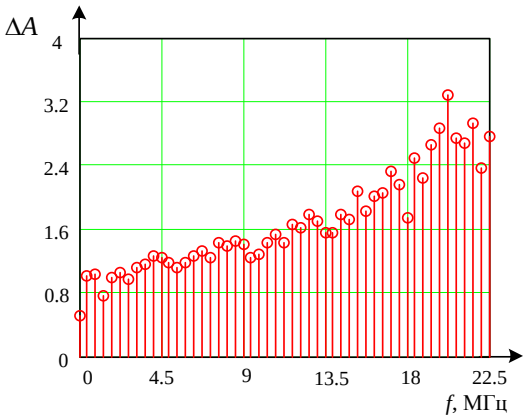
б

Рис.3. Фазочастотные спектры φ и φ_1 коммутаторов типа: а) геркон вакуумный; б) газовый разрядник

Как видно из рис.4, *а*, относительное отклонение спектров фаз незначительно, всего лишь четыре гармоники дают отклонение от 1.2 до 2 о.е. Из рис.4, *б* видно, что в основном преобладают высокочастотные составляющие сигнала коммутатора типа геркон вакуумный, что справедливо доказывает вид исходного импульса в виде шумов на начальном временном этапе.



а



б

Рис.4. Результаты сравнения коммутаторов типа геркон вакуумный и газовый разрядник: а) относительное отклонение спектров фаз $\Delta\phi$; б) относительное отклонение спектров амплитуд ΔA.

Видно, что для рассмотренных коммутаторов, частотный спектр импульсов незначительно отличается друг от друга. К применению следует рекомендовать выбор коммутаторов, исходя из каких-то других критериев, а не по форме фронта импульса.

Таким образом, разработанный алгоритм сравнения коммутаторов различного типа, позволяет объективно сравнивать генерируемые импульсы коммутаторами различного типа.

Список литературы

1. Лавринович В.А., Пичугина М.Т., Рамазанова А.Р. Применение наносекундных низковольтных импульсов для диагностики состояния обмоток силовых трансформаторов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2. – С. 292-294.

2. Введенский Ю.В. Тиратронный генератор наносекундных импульсов с универсальным выходом // Известия вузов СССР. Радиотехника. – 1959. – №2. – С. 249-251.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ЧЕТЫРЕХ КОНДЕНСАТОРНО-КОММУТАТОРНЫХ СБОРОК "HCEIcap 80-0.25"

Ленский А., Лавринович И.В., Артемов А.П.
Научный руководитель: Лавринович В.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: xonatos@sibmale.com

В настоящее время, является актуальной проблема построения быстрых мульти-мегаамперных генераторов нового поколения с уровнем тока 30…40 МА. Одним из путей решения данной задачи, на наш взгляд, является создание быстрых высоковольтных емкостных накопителей, обладающих высокой скоростью вывода энергии. Такими накопителями являются конденсаторно-коммутаторные сборки (ККС), разрабатываемые в ИСЭ СО РАН [1,2]. В основе данных разработок лежит принцип конструктивного объединения двух основных элементов: конденсатора (накопителя энергии) и газового разрядника (коммутатора), так чтобы их суммарная индуктивность была минимальной.

Одной из последних ККС, разработанных в ИСЭ СО РАН, является сборка "HCEIcap 80-0.25". Данная ККС состоит из высоковольтного импульсного конденсатора с емкостью 0,25 мкФ и рабочим напряжением 80 кВ и газового разрядника тригатронного типа, управляемого по принципу искажения электрического поля. Величина зазора между основными электродами 6 мм, управляющий электрод выступает на 2 мм относительно торца заземленного электрода.

Как показали предыдущие исследования, при зарядном напряжении 80 кВ данная сборка способна генерировать в режиме короткого замыкания ток амплитудой 150 кА за время 148 нс. На базе 4-х таких ККС планируется строительство сильноточного наносекундного генератора тока, для работы на низкоиндуктивную х-пинч нагрузку. Помимо основных выходных параметров генератора – амплитуды тока и времени нарастания тока до максимума, не менее важными для практического применения являются значение и разброс времени задержки начала тока через нагрузку относительно пускового сигнала.

Целью данной работы является поиск оптимального рабочего режима, при котором четыре ККС, включенных параллельно на общую нагрузку, имеют наименьшие задержку и разброс срабатывания разрядников. Для проведения данного исследования на построенном сильноточном импульсном генераторе был установлен эквивалент нагрузки в виде короткозамкнутого диода, что позволяло производить большое количество выстрелов без переборки нагрузки.

Экспериментальная установка состояла из самого генератора с узлом нагрузки, системы запуска, высоковольтного зарядного устройства, системы осушки и подачи воздуха и системы диагностики.

Электрическая схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. На стадии зарядки высоковольтных импульсных конденсаторов ККС, на управляющих электродах разрядников задается потенциал $1/3U_3$ от зарядного напряжения, с помощью высокоомного активного делителя. Пусковая емкость С1 при этом заряжена до напряжения $2/3\ U_3$. При приходе запускающего сигнала на управляющий электрод тригатрона ТГ1, происходит коммутация высоковольтного электрода запускающей емкости С1 на «землю», в результате на другой обкладке конденсатора С1 появляется импульс напряжения обратной полярности и амплитудой $2/3U_3$, который приходит на управляющие электроды разрядников ККС. После пробоя разрядников ККС происходит разряд емкостей С2-С5 через передающую линию на нагрузку.

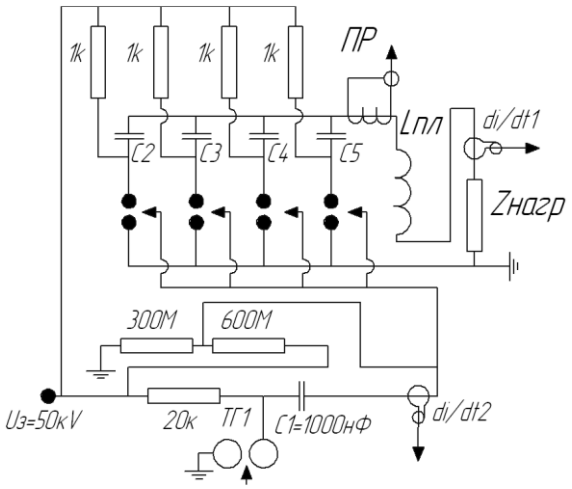


Рис. 1. Электрическая схема экспериментальной установки

В эксперименте менялись уровень зарядного напряжения (25, 35, 40, 45 кВ) ККС и избыточное давление сухого воздуха в разрядниках ККС в диапазоне от 1 до 5 ати. При этом измерялся ток нагрузки с помощью пояса Роговского и моменты срабатывания тригатрона ТГ1 и начала тока нагрузки с помощью индуктивных петель.

На основе сигналов с петель определялась задержка и разброс срабатывания разрядников относительно запускающего импульса. По сигналу с петли, установленной на нагрузке, также определялось наличие несинхронного срабатывания всех ККС относительно друг друга.

Типичная осциллограмма регистрируемых сигналов с датчиков, представлена на рисунке 2.

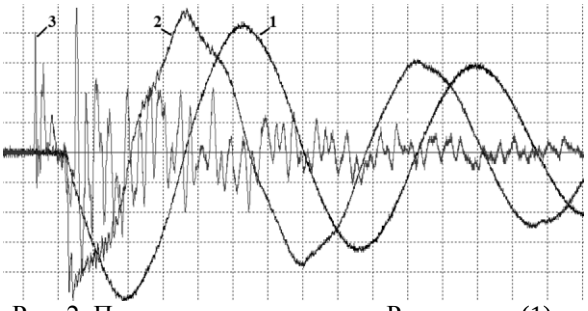


Рис. 2. Пример сигналов с пояса Роговского (1) и индуктивных петель с пускового сигнала (3) и с нагрузки (2). Масштабы: по горизонтали 100 нс на деление; по вертикали для сигнала 1 - 50 кА на деление

Для каждого значения зарядного напряжения и давления в разрядниках производилось по восемь выстрелов, среди которых определялись «штатные». К штатным выстрелам относили такие, в которых разброс срабатывания разрядников ККС относительно друг друга явно не наблюдался на сигнале с индуктивной петли, т.е. был менее 3нс. При анализе полученных данных учитывались только штатные выстрелы.

Анализ всего массива данных по количеству штатных выстрелов показал, что зарядное напряжение 25 кВ в принципе не является рабочим, т.к. процент штатных выстрелов для любого значения давления не превышает 80%. Для остальных зарядных напряжений существует определенный диапазон давлений, при которых количество штатных выстрелов составляет 80-100%.

Графики задержек начала импульса тока относительно импульса запуска (рис.3) показывают, что с увеличением давления задержка линейно растет, а с увеличением зарядного напряжения задержка уменьшается, а прямая становится более пологой, то есть влияние давления на задержку снижается.

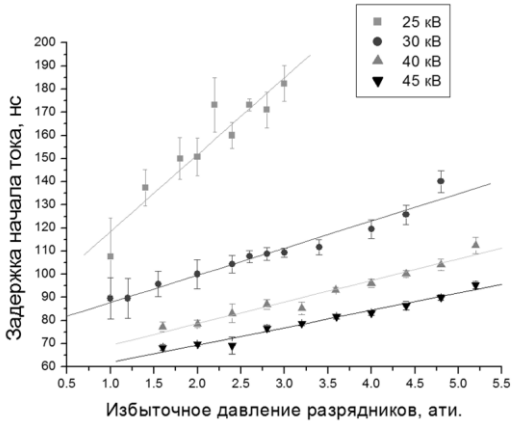


Рис. 3. Задержки начала импульса тока относительно импульса запуска для различных значений зарядного напряжения и избыточного давления в разрядниках ККС

Выявить зависимость разброса задержки срабатывания генератора от давления и зарядного напряжения не удалось. Можно лишь заметить, что для каждого уровня зарядного напряжения существуют некоторые значения давления, при котором наблюдается минимальный разброс. При этом наименьшее значение ±0,8 нс удалось получить при зарядном напряжении 45 кВ и избыточном давлении 3,2 ати.

Длительность нарастания тока для всех штатных выстрелов составила 185,1±4,1 и определялась электрическими параметрами разрядного контура: R, L и C, которые незначительно менялись в ходе эксперимента.

Амплитуда тока, измеренная для 45 кВ, изменялась в пределах погрешности измерения пояса и во всем диапазоне изменения давления составила 317±13 кА. Для остальных значений зарядного напряжения, амплитуда менялась в более широких пределах, и объяснить такой разброс лишь физическими процессами в разрядниках не удается. Возможно, он связан со стохастической погрешностью измерений и требует проведения повторного эксперимента.

Выводы

В результате исследования, была экспериментально найдена зависимость задержки начала тока генератора относительно запускающего сигнала от избыточного давления воздуха в разрядниках ККС для различных значений зарядного напряжения.

Из найденных зависимостей следует, что наименьшие времена задержки достигаются при наибольшем зарядном напряжении 45 кВ. Так как задержка при данном уровне зарядного напряжения незначительно растет с увеличением давления, то рабочее давления следует выбирать, руководствуясь другой характеристикой – разбросом задержки начала тока генератора относительно запускающего сигнала. Наименьший разброс задержки ±0.8 нс наблюдался при зарядном напряжении 45 кВ и избыточном давлении воздуха в разрядниках ККС 3.2 ати. При работе в данном режиме генератор обеспечивает в короткозамкнутой нагрузке ток амплитудой 324±1 кА с временем нарастания 185 нс. Такие параметры тока, достаточны для генерации мягкого рентгеновского излучения с помощью х-пинч нагрузки, а значит, указанный режим работы ККС следует считать оптимальным для данного генератора.

Список литературы

1. Compact Pulsed Power Generator / V.F. Feduschak, N.V. Zharova, I.V. Lavrinovich et al//Proc. of 15th Int. Symposium on High Current Electronics.-Tomsk, 2008.-P.303-304.
2. Compact Nanosecond Pulse Generator / A.A. Erfort, V.F. Feduschak, I.V. Lavrinovich and N.V. Zharova//Proc. of 16th Int. Symposium on High Current Electronics.-Tomsk, 2010.-P.300-302.

ПРЕИМУЩЕСТВА СОВМЕСТНОГО СООРУЖЕНИЯ АТОМНЫХ И ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Лешко В.А.
Научный руководитель: Жданович А.А., к.т.н., старший преподаватель
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: vladimir_leshko@mail.ru

Введение

Осознание актуальности строительства гидроаккумулирующих станций в современных российских условиях привело к возрождению проектов Загорской ГАЭС-1 и Зеленчукской ГАЭС, на завершающей стадии строительства находится Загорская ГАЭС-2. Однако дальнейшие перспективы сооружения ГАЭС в России остаются туманными. Одним из возможных путей развития гидроаккумулирования в нашей стране является строительство ГАЭС в составе энергокомплексов (ЭК), совместно с АЭС. Как известно, наиболее эффективным способом охлаждения воды, поступающей в конденсатор АЭС, является создание водоема-охладителя, который может служить верхним или нижним (более вероятно) водохранилищем ГАЭС. В результате совместного расположения станций возникает ряд дополнительных преимуществ в процессе строительства и эксплуатации. Основой задачей исследования является выявление и оценка экономического и энергетического эффекта этих преимуществ.

К преимуществам на стадии строительства можно отнести:

- Сокращение затрат на подготовку общего водохранилища, на строительство ЛЭП и распределительного устройства (РУ станций можно совместить);
- Удобство и экономичность организации строительства за счет близкого расположения станций (концентрация строительных ресурсов, вспомогательных производств, техники и рабочей силы в одном месте);
- Снижение площади отводимых земель (создание двух водохранилищ вместо трех).

Экономическая оценка этих преимуществ затруднена и зависит от конкретного проекта, но на основании анализа смет ГАЭС можно заключить, что сокращение строительных затрат при совместном размещении станций может составить 5-10%.

Приведем преимущества, проявляющиеся в процессе эксплуатации:

- Снижение температуры воды в водоеме-охладителе АЭС за счет увеличения площади испарения и перемешивания воды при работе ГАЭС;
- Облегчение эксплуатации ГАЭС в зимний период за счет сокращения ледообразования в общем водохранилище (согласно опыту эксплуатации АЭС, ледовые явления в их водоемах отсутствуют);
- Повышение выработки ГАЭС в зимний период (не происходит изымания части полезного объёма на образование льда);
- Сокращение потерь в ЛЭП по сравнению с раздельным размещением;
- Повышение безопасности эксплуатации АЭС (ГАЭС вместо дизельной станции может выполнять функцию аварийного резервирования собственных нужд АЭС).

Рассмотрим эти преимущества подробнее.

Эффект повышения КПД АЭС

Данный эффект проявляется за счет улучшения охлаждающей способности водоема-охладителя при работе ГАЭС. Чем ниже температура охлаждающей воды на входе конденсатора, тем более глубокий вакуум в нем создается, что приводит к повышению КПД блока. На рис.1 приведена зависимость, иллюстрирующая этот эффект.

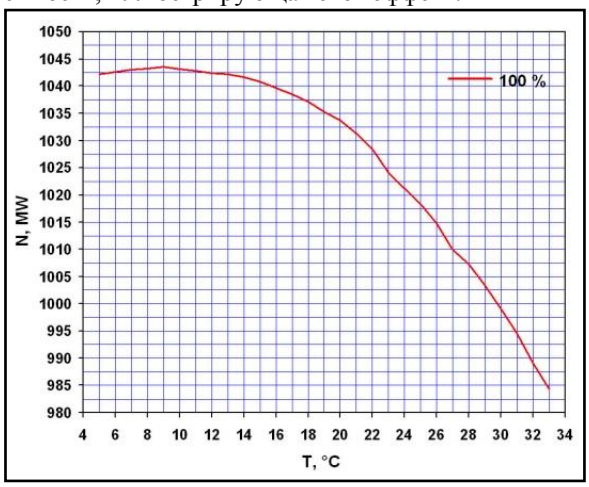


Рис. 1. Зависимость электрической мощности блока на базе реактора ВВЭР-1000 от температуры охлаждающей воды на входе конденсатора

На участке температур от 10 до 33 среднее увеличение мощности составляет 2,5МВт на градус. Снижение температуры ниже 10° не приводит к увеличению мощности за счет подсоса воздуха в конденсатор. Стоит заметить, что данный график приведен для АЭС расположенной в теплом регионе, т.е. её конденсатор не рассчитан на низкие

температуры в водохранилище. Оценки, сделанные в обосновании инвестиций в строительство Курской ГАЭС, предполагаемой к сооружению при водоеме-охладителе 3ей очереди Курской АЭС (первое и единственное предложение подобного рода в России), показали, что среднегодовое снижение температуры в водохранилище за счет работы ГАЭС составит 2°. Такое снижение температуры приведет к повышению мощности блока на примерно 5 МВт, что соответствует дополнительным 35 млн. рублей прибыли ежегодно (при отпускной цене на электроэнергию для АЭС в 90 коп. за кВт*ч).

Уменьшение льдообразования в водохранилищах ГАЭС

По данным Загорской ГАЭС к концу зимы в верхнем водохранилище образуется 1,3 млн $м^3$ льда, а в нижнем – 5,5 млн $м^3$. Полезный объем составляет 22,7 млн. $м^3$, т.е. объем льда к концу зимы равен 30% полезного объема. Однако происходит частичное восполнение за счет приточности, поэтому полезный объем сокращается на 4,2 млн. $м^3$. На основании данных по ледообразованию в течение года, было рассчитано, что в результате данного явления в период с декабря по март среднесуточная выработка Загорской ГАЭС сокращается с 5,3 до 4,5 млн. кВт*ч. Годовая недовыработка составляет порядка 96 млн. кВт*ч. Ориентировочная потеря прибыли, рассчитанная на основании разницы дневного и ночного тарифов на электроэнергию, составила 60 млн. рублей ежегодно.

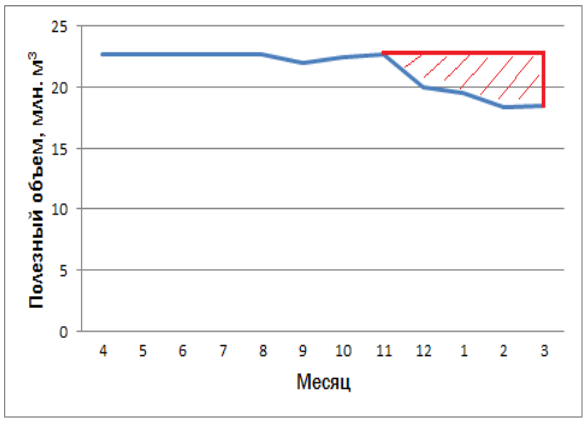


Рис. 2. Сокращение полезного объёма водохранилищ Загорской ГАЭС в зимний период

Сокращение выработки проиллюстрировано на рисунке 2, где заштрихованная площадка пропорциональна недовыработке в зимний период. При работе ГАЭС в составе ЭК 80-90% этих потерь удастся избежать (в случае если общим будет нижнее водохранилище ГАЭС). В верхнем водохранилище намерзает около 20% от всего объема льда, т.к. оно имеет более правильную форму и ровные стенки. Опыт эксплуатации АЭС показывает, что ледовые явления в их водоемах-охладителях отсутствуют, ледообразование в верхнем бассейне также сократится.

Сокращение потерь в ЛЭП

В случае раздельного расположения ГАЭС и АЭС потери в ЛЭП, соединяющих ГАЭС с системой, возникают 2 раза в сутки: во время разряда и заряда станции. Потери же в ЛЭП АЭС составляют условно постоянную величину, т.к. мощность станции неизменна. Очевидно, что ЛЭП ГАЭС задействуется нерационально. В ЭК ГАЭС заряжается непосредственно от АЭС, не создавая, таким образом, дополнительных потерь в ЛЭП. Для оценки этого эффекта был получен предполагаемый график нагрузки ЭК (рис.3). Данный ЭК представляет собой ГАЭС мощностью 1300 МВт в турбинном режиме и АЭС с двумя блоками на реакторах ВВЭР-1200. При одинаковых параметрах и количестве цепей линий, нагрузочная часть потерь мощности при совместном размещении станций уменьшилась в 1,7 раза.

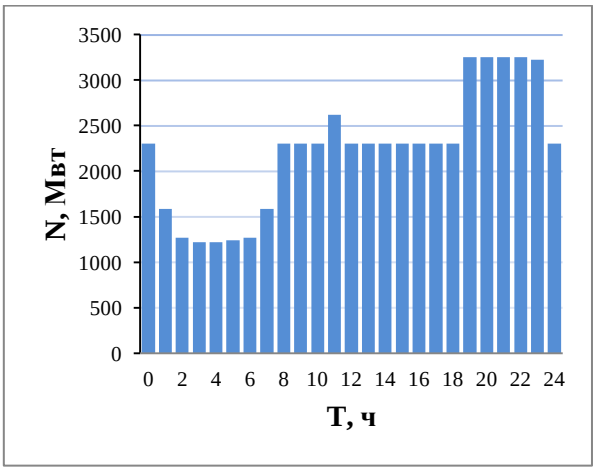


Рис. 3. График нагрузки ЭК АЭС-ГАЭС

Список литературы

1. Обоснование инвестиций в строительство Загорской ГАЭС-2. Книга третья. М.: 2006. -52 с.
2. Строительство Загорской ГАЭС и опыт первых лет эксплуатации. Технический отчет о проектировании и строительстве. Книга 1. М.: 1999. -432 с.
3. Синюгин В.Ю. ГАЭС в современной электроэнергетике/ В.Ю.Синюгин, В.И.Магрук, В.Г.Родионов. - М.: ЭНАС, 2008. – 352 с.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ

Башкова О.А., Лоскутова М.П.
Научный руководитель: Долгопол Т.Л., доцент
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: lsktvmarina@rambler.ru

В данной работе произведен анализ объема электропотребления физическими лицами при переводе часов на летнее время и после его отмены.

Летним называется время, вводимое на летний период, которое сдвинуто на 1 час вперёд относительно времени, принятого в данном часовом поясе. В 2012 году летнее время было введено в 78 странах мира с целью более рационального использования светлого времени суток и экономии электроэнергии на освещение.

Идея экономии на освещение еще при использовании для этой цели свечей за счет сезонного перевода часов принадлежит американскому государственному деятелю, одному из авторов Декларации независимости США Бенджамину Франклину (1706-1790). Современную систему «летнего времени» впервые предложил новозеландский энтомолог Джордж Вернон Хадсон. Впервые перевод стрелок часов на час вперед летом и на час назад зимой в целях экономии энергетических ресурсов был проведен в Германии в 1916 году.

В России впервые этот переход был осуществлен 1 июля 1917 года, когда в соответствии с декретом Временного правительства стрелки всех часов в стране были переведены на один час вперед, а назад их переводили уже по декрету Совнаркома, который был принят 22 декабря 1917 года (по старому стилю). Постановлением Совета народных комиссаров СССР от 16 июня 1930 года на территории СССР было введено декретное время. Тогда стрелки часов были переведены на час вперед относительно поясного времени и после этого стрелки назад не перевели, и страна круглый год стала жить и работать, опережая на один час естественный суточный цикл. Лишь с 1981 года страна вернулась к сезонному времени.

В России система перехода на летнее время в конце марта, а на зимнее - в конце октября, действовала с 1997 года (до 1996 года отмена летнего времени в России осуществлялась в конце сентября).

В феврале 2011 года после продолжительной дискуссии о целесообразности введения зимнего и летнего времени президентом России принято решение об отмене зимнего времени. Последний перевод часов на летнее время был произведен в ночь с 26 на 27 марта 2011 года, а в октябре переход на зимнее время уже не осуществлялся.

После отмены зимнего времени и перевода Кузбасса из шестого в пятый часовой пояс с 28 марта 2010 года, жители Кемеровской области живут по летнему времени. В Кузбассе уже в 10 часов вечера темнеет, а в 4 утра, когда все спят, светло как днем.

Фактически у жителей Кузбасса световой день уменьшился на один час. Для анализа влияния вышеуказанных временных изменений было произведено сравнение годовых графиков электропотребления физических лиц.

Чтобы получить требуемые для обработки данные, мы обратились в филиал ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири - Кузбассэнерго РЭС». «Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири» (ОАО «МРСК Сибири»), дочернее общество ОАО «Холдинг МРСК», осуществляет передачу и распределение электроэнергии на территориях республик Алтай, Бурятия, Тыва и Хакасия, Алтайского, Забайкальского, Красноярского краев, Кемеровской и Омской областей.

Была проанализирована информация о полезном отпуске электроэнергии физическим лицам двух участков Северо-восточных электрических сетей Кузбасса: Мариинских и Ленинских РЭС за два года, в период с января 2010 по декабрь 2011 года.

В процессе обработки данных учитывались только те потребители, которые получали электроэнергию от РЭС и в 2010, и в 2011 годах для того, чтобы объективно оценить влияние продолжительности светового дня на электропотребление. В результате от общего числа абонентов Мариинских РЭС было учтено 6639 точек присоединения, годовой объем электропотребления которых в 2010 году составил 10747,4 МВтч и 10667,7 МВтч в 2011 году, т.е. годовое потребление электрической энергии при использовании зимой летнего времени уменьшилось на 79,7 МВтч.

В табл.1 приведены ежемесячные объемы электропотребления физических лиц Мариинских РЭС в 2010 и 2011 годах.

Таблица 1. Объем отпуска электроэнергии физическим лицам Мариинскими РЭС, МВтч

год	январь	февр.	март	апр.	май	июнь
2010	945	678	907	858	825	756
2011	1067	975	896	868	731	583
год	июль	август	сент.	октяб.	нояб.	дек
2010	787	731	820	1089	1075	1278
2011	764	894	893	822	895	1279

На рис. 1 приведены годовые графики потребления электрической энергии учтенным количеством физических лиц Мариинских РЭС.

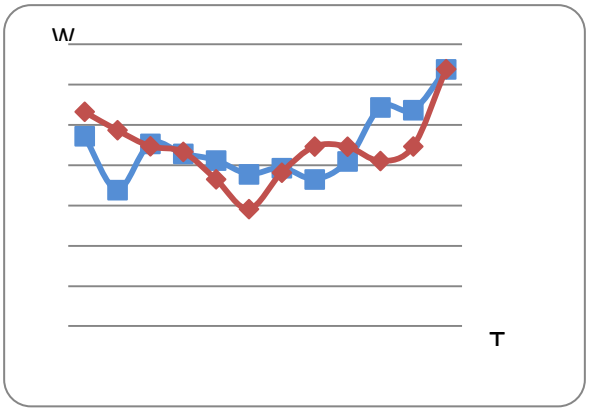


Рис. 1. Годовые графики электропотребления физических лиц Мариинских РЭС

Из графика (рис.1) следует, что в январе и феврале 2011 года (при меньшей продолжительности светового дня) по сравнению с 2010 годом объем электропотребления увеличился на 12,9% и 43,8% соответственно.

Для Ленинских РЭС в анализе нагрузок было учтено 8543 физических лица. Годовой объем электропотребления указанных абонентов в 2010 году составил 14672,0 МВтч и 15508,0 МВтч в 2011 году, т.е. годовое потребление электрической энергии при использовании зимой летнего времени увеличилось на 836 МВтч.

В табл.2 приведены ежемесячные объемы электропотребления физических лиц Ленинских РЭС в 2010 и 2011 годах.

Таблица 2. Объем отпуска электроэнергии физическим лицам Ленинскими РЭС, МВтч

год	янв	февр	март	апр	май	июн
2010	1067	1114	1302	1192	1228	957
2011	1495	1392	1462	1267	1286	1210
год	июл	авг	сент	окт	нояб	дек
2010	1042	1150	1099	1130	1779	1612
2011	1328	1129	1232	1171	1154	1383

По данным табл. 2 построены годовые графики электропотребления для физических лиц Ленинских РЭС (рис. 2) 40,1%, 25,0%

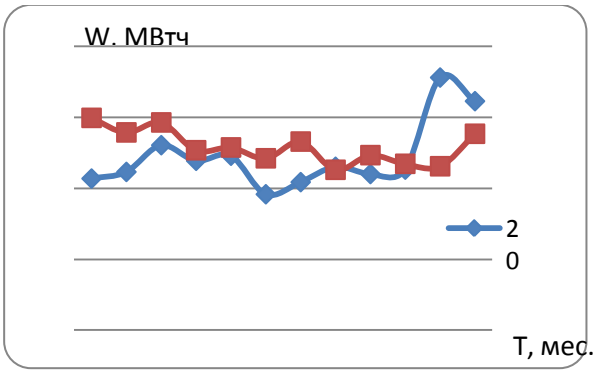


Рис.2. Годовые графики электропотребления физических лиц Ленинских РЭС

Из графика годового электропотребления, представленного на рис.2, следует, что и для физических лиц Ленинских РЭС в 2011 году увеличение объема отпуска электроэнергии в январе составило 40,1%, а в феврале – 25% по сравнению с 2010 годом. Таким образом, уменьшение продолжительности светового дня приводит к существенному увеличению потребляемой электроэнергии.

На объемы электропотребления физическими лицами зимой могла оказать влияние погода. В связи с этим, в табл.3 приведены значения среднемесячных температур для северных территорий Кузбасса в зимние месяцы.

Таблица 3. Среднемесячные температуры воздуха в 2010 и 2011 годах

Месяц	2010 г.	2011 г.
январь	-27,3	-24,2
февраль	-24,4	-14,6
декабрь	-21,4	-14,2

Как следует из табл. 3, зима 2010 года был значительно холоднее, чем в 2011 году. Это объясняет большие объемы электропотребления в холодные месяцы 2010 года при одинаковой продолжительности светового дня и показывает, что превалирующим фактором объема отпуска электроэнергии в январе и в феврале 2011 г. явилось сокращение времени использования естественного освещения.

Безусловно, нагрузка бытовых потребителей носит случайный характер. В данной работе была сделана попытка оценить влияние продолжительности светового дня и температуры окружающего воздуха на объемы электропотребления физическими лицами.

Исследовательская работа в данном направлении будет продолжена. В дальнейшем предполагается провести сравнительный анализ объемов электропотребления по физическим и юридическим лицам, включив в анализ большее количество РЭС и данные пот электропотреблению в 2009 и 2012 годах.

Кроме этого будет произведено сравнение реальных нагрузок бытовых и общественных потребителей с удельными нагрузками, приведенными в СП-31-110-03 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий».

Список литературы

1. http://www.mrsk-sib.ru/
2. Макоклюев, Б.И., Бондаренко, А.Ф., Павлушко, С.А. Влияние перехода на летнее и зимнее время на электропотребление энергосистем России и выбор оптимального исчисления времени. / Б.И. Макоклюев – Энергорынок, 2010, № 3.

ИМПУЛЬСНЫЙ КОРОННЫЙ РАЗРЯД В ВОДО-ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ И ЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Маринин С.А.
Научный руководитель: Корнев Я.И., к.т.н.,
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: fainer@sibmail.com

В условиях возрастающего загрязнения источников водоснабжения и ужесточения требований к качеству воды большое значение имеет разработка новых методов её очистки. Перспективным направлением является применение для обработки воды импульсных электрических разрядов. При таком подходе на обрабатываемую воду осуществляется воздействия ряда факторов, сопровождающих электрический разряд: УФ- излучения, озона и короткоживущих частиц-окислителей (гидроксильных радикалов ·OH, атомарного кислорода ·O и др.)

Ранее были предложены методы очистки воды импульсными барьерным [1] и коронным [2] разрядами в водо-воздушном потоке. Наибольшую эффективность очистки воды от органических примесей продемонстрировал импульсный коронный разряд [2]. Эффективное удаление из воды растворенных примесей требует, в первую очередь, обеспечения эффективной передачи энергии из источника питания в электроразрядный реактор. В настоящей работе приведены результаты исследования электрических характеристик импульсного коронного разряда с целью оптимизации передачи энергии в разряд.

Основными элементами экспериментальной установки, представленной на рисунке 1, являются электроразрядный реактор с размещенной в нем системой электродов и генератор высоковольтных импульсов. В бак-накопитель помещалась водопроводная вода объемом 25 литров. Вода насосом подавалась в верхнюю часть реактора, где с помощью эжектора диспергировалась в воздухе на капли диаметром от долей до нескольких миллиметров. Капли воды, поступали на систему электродов, где подвергались воздействию электрического разряда.

Для формирования импульсов высокого напряжения использовался магнитотиристорный генератор импульсов. Генератор построен по принципу разряда накопительного конденсатора в нагрузку через быстродействующий ключ, в качестве которого выступает дроссель насыщения. Накопительный конденсатор ёмкостью 900 пФ заряжался до напряжения равного 27 кВ, частота следования импульсов составила 200-900 $с^{-1}$. При этом накопленная в генераторе энергия составила 0.33 Дж.

Осциллограммы тока и напряжения регистрировали цифровым осциллографом Tektronix TDS2014 при помощи низкоиндуктивного бифилярного шунта и высоковольтного ёмкостного делителя. Измерение емкости реактора осуществлялось при помощи цифрового LCR-измерителя E7–8.

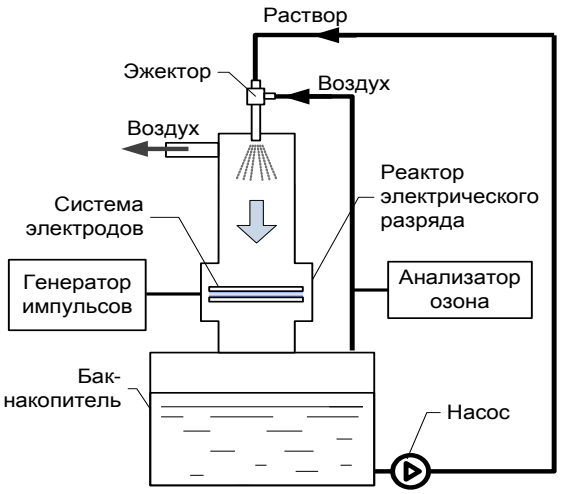


Рис. 3. Экспериментальная установка

Введенная в реактор энергия определялась путем интегрирования осциллограмм тока и напряжения в соответствии с известной формулой:

$$E = \int_0^T U(t) \cdot I(t) \cdot dt,$$

где *U(t), I(t)* – напряжение и ток разряда, *T* – длительность импульса. Концентрацию озона в газовой фазе в разрядной камере измеряли с помощью газоанализатора «ОЗОН – 5 – 25».

Импульсный коронный разряд зажигался в системе электродов типа «провод – плоскость». Диаметр высоковольтных проводников составил 0.35 мм, расстояние между заземленным и высоковольтным электродами *d* варьировалось в диапазоне 15-45 мм.

Импульсный коронный разряд характеризуется относительно слабым свечением в объеме межэлектродного промежутка; несколько более интенсивное свечение наблюдается у коронирующего электрода. Типичные осциллограммы тока и напряжения импульсного коронного разряда представлены на рисунке 3.

Осциллограммы тока и напряжения для импульсного коронного разряда в воздухе и водо-воздушном потоке имеют несущественные различия. Расчетным путем было установлено, что геометрическая ёмкость реактора при наличии в межэлектродном промежутке капель воды практически не зависит от величины диэлектрической проницаемости капель. Кроме того, при объемной скорости потока воды 700 л/час, наличие в промежутке капель воды диаметром 1-5 мм не оказы-

вает значительного влияния на емкость реактора, что подтверждается экспериментальными данными.

Энерговыделение в разрядном промежутке существенно зависит от расстояния между электродами. Зависимость введенной в реактор энергии от межэлектродного расстояния представлена на рисунке 2. Уменьшение межэлектродного расстояния приводит к уменьшению эквивалентного сопротивления разрядных каналов и, как следствие, лучшему согласованию генератора и электроразрядного реактора. При межэлектродном расстоянии 17-18 мм в реактор передается 90-93% энергии генератора. Уменьшение d до значений менее 15 мм нецелесообразно, так как приводит к формированию в реакторе искровых каналов.

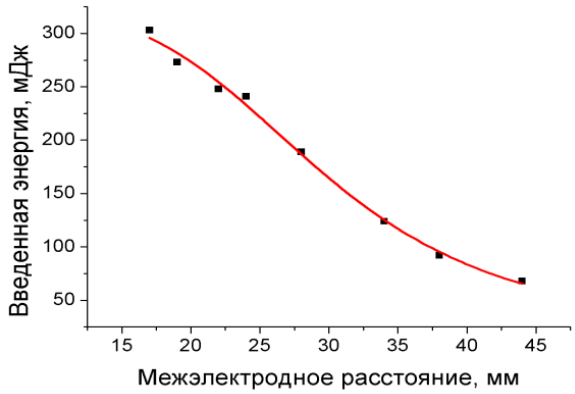


Рис. 2. График зависимости введенной в разряд энергии от межэлектродного расстояния.

При длительной работе установки наблюдается изменение формы осциллограмм (рис. 3), что вызвано накоплением озона в газовой фазе реактора. При частоте следования импульсов напряжения $f = 200$ с$^{-1}$ концентрация озона достигает уровня насыщения за 20 минут. С ростом концентрации озона в газовой фазе наблюдается рост остаточного напряжения коронного разряда.

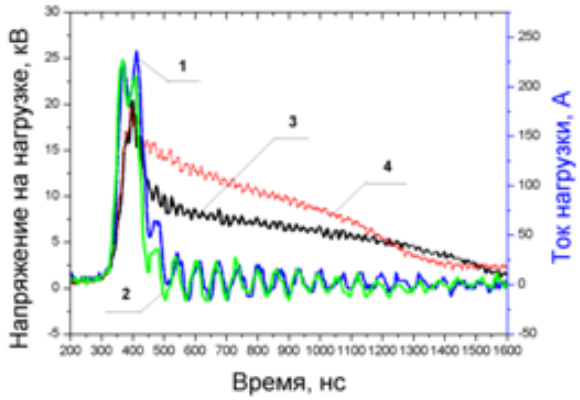


Рис. 3. Осциллограммы тока и напряжения разряда. 1, 2 – ток в начале работы и через 20 мин после включения разряда; 3, 4 – напряжение на нагрузке в начале работы и через 20 мин после включения разряда

Энергия, введенная в разряд, снижается с 0.29 до 0.235 Дж (рис. 4). Данное явление можно объяснить электроотрицательным характером озона. Согласно [3] в канале прорастающих стримеров ввиду невысокого значения напряженности электрического поля возникают условия для активного прилипания электронов к молекулам озона. Это приводит к снижению проводимости каналов разряда и как следствие снижению величины тока.

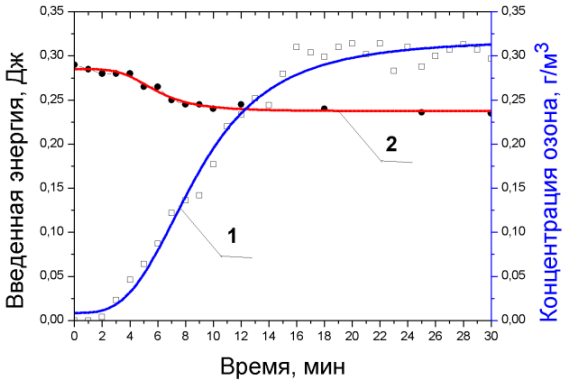


Рис. 4. Графики изменения концентрации озона и введенной в разряд энергии.

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено, что наличие в межэлектродном промежутке водо-воздушной среды не оказывает заметного влияния на электрические характеристики разряда. Наиболее сильно на эффективность передачи энергии влияют расстояние между электродами и состав газовой компоненты водо-воздушной среды. Увеличение концентрации озона в газовой фазе приводит к уменьшению эффективности передачи энергии в разряд с 91% до 73%. Данное явление можно объяснить снижением проводимости каналов разряда ввиду электроотрицательного характера озона.

Список литературы

1. Патент 2136600 РФ. МКИ6 C02F 1/46, 7/00. Реактор и способ очистки воды/С.Г. Боев, В.М. Муратов, Н.П. Поляков, Н.А. Яворовский // Заяв. 16.12.97; Опубл. 10.09.99. Бюл. № 25. – 4 с.: ил.

2. Panorel, I. C., I. Kornev, H. Hatakka, and S. Preis, ”Pulsed corona discharge for degradation of aqueous humic substances”, Wat. Sci. Technol.: Water Supply, 11(2): 238–245 (2011)

3. Галота, В.И, Л.М. Завада, Б.Б. Кадолин, В.И. Карась и др., “Влияние электроотрицательных примесей на разряд атмосферного давления в N_2-O_2”, Вопросы атомной науки и техники, №5: 86-90 (2006)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОГО ПРОБОЯ В БУРЫХ УГЛЯХ

Мартемьянов С.М., Бухаркин А.А., Коряшов И.А.
Научный руководитель: Лопатин В.В., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sergmartemyanov@mail.ru

Под действием высокой напряженности электрического поля в диэлектриках в местах с пониженной электрической прочностью возникают частичные разряды (ч.р.), которые представляют собой пробой включений, локальные пробои твердого или жидкого диэлектрика, местные разряды по поверхности твердого диэлектрика. Условия возникновения ч.р. определяются конфигурацией электрического поля и электрофизическими характеристиками (в том числе электрической прочностью) рассматриваемой части изоляции [1].

Ч.р. не приводят к сквозному пробою изоляции, однако под их воздействием происходит местное разрушение диэлектрика (особенно органического) и при длительном существовании в определенных условиях могут привести к образованию кустообразных или древовидных структур (дендритов) в диэлектрике, процесс роста которых называется электрическим триингом. Триинг начинается в местах с высокой локальной напряженностью поля (выступы на поверхности электрода, проводящие включения, микротрещины, полости и т.д.). Рост дендритов является следствием разрушения диэлектрика под действием ч.р., происходящих в каналах или микрополостях, существовавших в диэлектрике или образовавшихся под действием сильного электрического поля [2].

В некоторых видах твердых топлив (горючие сланцы, бурые угли) триинг характеризуется значительно бóльшими скоростями роста дендритов. В проведенных нами экспериментах она составляет единицы – десятки сантиметров за единицы – десятки минут при напряженностях в единицы киловольт на сантиметр. Это на 1 – 2 порядка превышает скорость триинга в эпоксидной смоле (0,1 мм/мин при напряженности 10^3кВ/см [2]) при более низкой напряженности. Напряжение электротеплового пробоя, вызванного триингом, в бурых углях составляет единицы – десятки киловольт. Следовательно, существует возможность использовать это явление при электрофизической переработке горючих сланцев и бурых углей.

Бóльшая скорость образования каналов в твердых топливах при существенно меньших напряженностях объясняется влиянием разогрева породы и газа в образующихся полостях за счёт плазмы ч.р. При комнатной температуре сопротивление бурых углей 10^{10} Ом·см, при разогреве до 900°С– 50 Ом·см [3]. По этой причине триинг в твердых топливах можно считать не электрическим, а электротепловым. На рис. 1 изображена древовидная структура в образце горючих сланцев, образованная при электротепловом триинге.

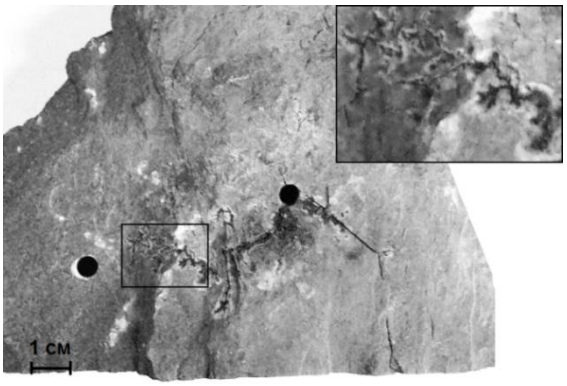


Рис. 1. Дендрит в образце горючих сланцев

Соединение электродов между собой посредством образующегося канала вызывает пробой породы. В диэлектриках дендрит представляет собой заполненную газом полость. Отличительной особенностью разрядной структуры в твердых топливах является наличие углеродного слоя на ее стенках, появляющегося в результате пиролиза породы под действием плазмы разряда. Таким образом, формирующийся разрядный канал имеет низкое линейное сопротивление.

Для оценки возможности применения электротеплового пробоя для переработки твердых топлив необходимо исследовать напряжение электротеплового пробоя и его зависимость от межэлектродного расстояния. Эксперимент по исследованию этой зависимости был проведен на образцах бурого угля Уртуйского месторождения (Забайкальский край). Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Использовалась двухэлектродная система со стальными стержневыми электродами диаметром 4 мм, углубленными в образец на ~20 мм. Межэлектродное расстояние составляло 2,5÷16см. Максимальное расстояние между электродами обусловлено хрупкостью породы этого месторождения, что не позволяет изготовить образец большего размера без его растрескивания.

Эксперимент заключался в том, что к образцам с разным межэлектродным расстоянием прикладывалось переменное напряжение 50 Гц, которое ступенчато (1 кВ через 30 сек) повышалось от нуля до пробоя, который фиксировался по резкому

возрастанию тока. Напряжение в момент пробоя являлось регистрируемым параметром. Скорость увеличения напряжения была выбрана из соображений оптимального соотношения со скоростью роста разрядной структуры.

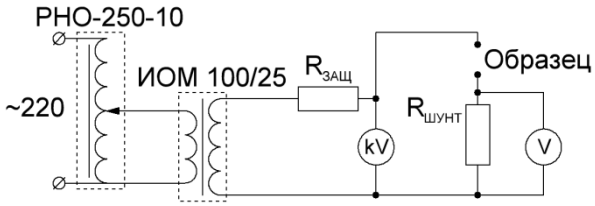


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для электротеплового пробоя бурого угля. РНО – регулятор напряжения, ИОМ – испытательный трансформатор, $R_{ЗАЩ}$ – защитное сопротивление, $R_{ШУНТ}$ – измерительный шунт, kV–киловольтметр, V–вольтметр

На рис. 3 показаны полученные зависимости напряжения (а) и средней напряженности (б) электротеплового пробоя. Относительно широкий разброс полученных данных объясняется высокой неоднородностью породы.

Согласно полученным зависимостям с увеличением межэлектродного промежутка напряжение электротеплового пробоя растет, что является закономерным, так как увеличивается сопротивление и электрическая прочность образца. Однако средняя напряженность поля при этом падает. Это можно объяснить характерным для триинга появлением высокой напряженности на острие токоведущего участка [5]:

$$E_{\text{М}} = \frac{2U}{r \cdot ln\left(\frac{4 \cdot d}{r}\right)}$$

Здесь $E_{\text{М}}$ – максимальная напряженность поля, U – напряжение между электродами, r – радиус скругления острия, d – расстояние межэлектродного участка. Высокая максимальная напряженность обусловлена малой величиной радиуса скругления острия, в качестве которого выступают края дендритов. Таким образом, средняя напряженность роста триингов и электротеплового пробоя снижается при увеличении межэлектродного расстояния. Характер полученных зависимостей дает основания прогнозировать дальнейшее снижение напряженности пробоя при увеличении расстояния, что позволит применять электротепловой пробой на межэлектродных расстояниях единицы-десятки метров.

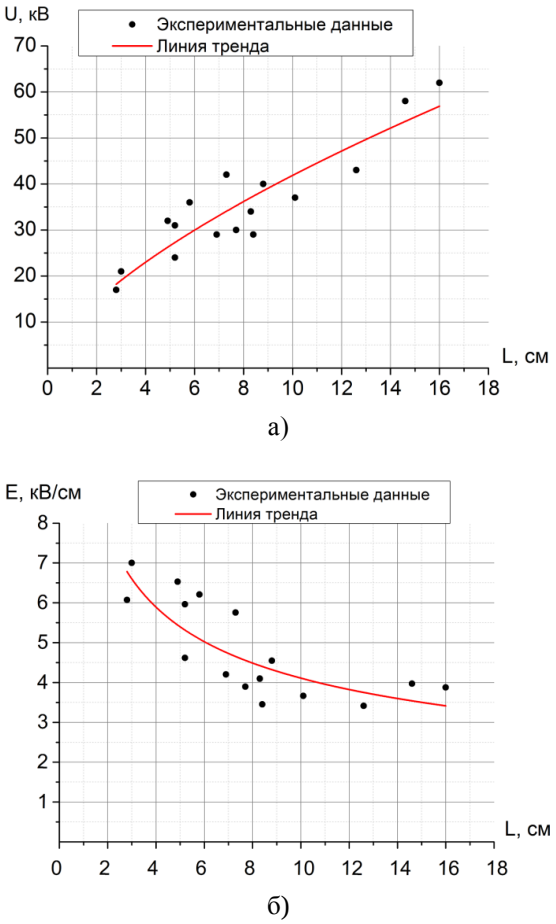


Рис. 3. Зависимости напряжения (а) и напряженности (б) электротеплового пробоя бурых углей от межэлектродного расстояния

Список литературы

1. Кучинский Г. С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние. 1979. – 224 с., ил.

2. Носков М. Д. Формирование лапласовских структур в неравновесных условиях. – г. Северск: Изд. СГТИ, 2005. – 218 с.

3. Агроскин А.А., Петренко И.Г. Электросопротивление сланцев и углей при нагревании// Изв. АН СССР. ОТН. –1950. –№1. С.89-100.

4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Рейхердт А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. - 319 с.

5. Долгинов А. И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике.– М: «Энергия», 1968.– 464 с.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВО НА ОСНОВЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В $CaCl_2.6H_2O$

Масиаб А.Г.Н.
Научный руководитель: Кашаев Р.С., д.т.н., профессор
Казанский государственный энергетический университет,
420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51
E-mail: masiabah@yahoo.com

Ископаемые виды топлива истощаются с каждым днем, поэтому очень важно искать альтернативные методы решения проблемы увеличения спроса на электроэнергию (ЭЭ) в мире. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) становятся все более важными в настоящее время. Существуют возобновляемые источники энергии мощностью от сотни МВт (мощные) и мощность не более сотни Вт (низкомощные). Возобновляемые источники также могут быть классифицированы в зависимости от того подключены они к сети или нет, а также известной как ТЭЦ и автономные системы. Автономные системы обычно являются низкомощными и используются в труднодоступных местах, где электричество недоступно. Для питания автономных систем Обычно используют фотоэлектрических и ветровых систем как источники электроэнергии.

В связи с этим представляет интерес использование теплоты фазовых переходов для питания автономных систем. Это дает возможность использовать теплоты солнечной радиации не только днем, но и ночью. Методом калориметрии и ядерной магнитной резонансной релаксометрии нами исследованы кристаллогидраты - накопители тепла и потенциальные источники электроэнергии характеристики которых даны в табл.1.

Таблица 1. Характеристики кристаллогидратных солей

Материал	$T_{пл}$ °C	$Q_{пл}$ (кДж/кг)	$\rho_{тв}$ (кг/м^3)
$CaCl_2{\cdot}6H_2O$	29,7	170	1710
$Na_2SO_4{\cdot}10H_2O$	32,4	251	1460
$Na_2S2O_3{\cdot}5H_2O$	48	210	1600
$CH_3COONa{\cdot}3H_2O$	58,2	260	1450
$MgCl_2{\cdot}6H_2O$	116	165	1570

Разработанная нами экспериментальная установка для исследования процесс получения ЭЭ состоит из следующих элементов:

1. Фазаменяющего вещества (рабочее вещество) табл.1.
2. Термоэлемента (ТЕС-127-6) работающий на основе эффект Зеебека.
3. Измерительных приборов (вольтметры, амперметры и термометры).
4. Теплоаккумулирующего солнечного коллектора (конденсатор).
5. Рабочего вещество (вода для охлаждения холодной страны ТЭ).
6. Нижней емкости охлаждения.
7. Тепло (холод) передающие пластины.
8. Контроллера (DC / DC преобразователь).
9. Аккумулятора.
10. Инвертора.
11. Контактных спаев термоэлемента.

Принцип измерения:

Горячая сторона ТЭ нагревается прямым попаданием солнечных лучей, от лампы или нагревателя на фазаменяющее вещество ($CaCl_2.6H_2O$), а холодная сторона охлаждается радиатором или водой через тепло (холод) передающие пластины. На выходе термоэлемента измеряется значение напряжение и ток подключением к контактным спаям термоэлемента к вольтаметру и амперметру, а температура остывания фазоменяющего вещества ($CaCl_2.6H_2O$) измеряется с помощью термометра или терморезистора.

Результаты показывают что, экзотермический эффект практически при комнатной температуре в $CaCl_2.6H_2O$ приводит к скачку напряжения на термоэлементе ТЕС-127-6 на величину в $\Delta U \approx 400$ мВ и , $\Delta T = 12$ºС что весьма существенно и может быть использовано для питании аккумулятора. Выделение тепла и соответственно снимаемого с ТЭ напряжения растянуто на длительный интервал по времени - 360 минут, что позволяет использовать аккумулятор длительное время рис. 1 и 2 [2].

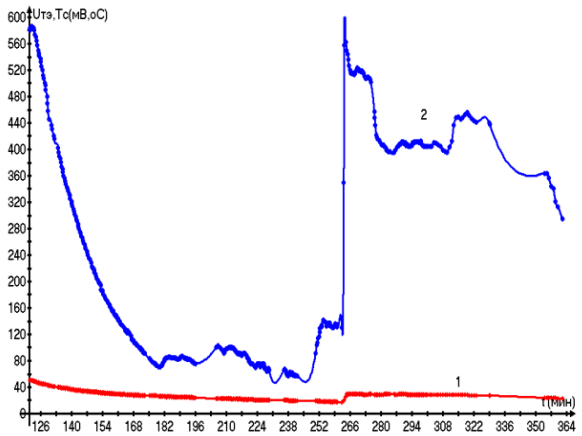


Рис. 1. Зависимости от времени t (мин) остывания $CaCl_2.6H_2O$ температуры T (°C) (кривая 1) и термоэлектрического напряжения $U_{ТЭ}$ (мВ) (кривая 2) на выводах термоэлемента *ТЕС-127-6*.



Рис. 2. Зависимость от времени *t (мин)* остывания соли $CaCl_2.6H_2O$ температуры *T* (^{0}C)

Результаты исследования показывают, что на основе фазового перехода в $CaCl_2.6H_2O$ можно создавать устройство для выработки электроэнергии в непрерывном режиме в системах электропитания автономных приборов и средств автоматики на трубопроводах, независимых устройствах подзарядки аккумуляторов, компьютеров, датчиков JPS-навигации, датчиков и экологических устройств электропитания.

Может быть разработано устройство, которое использует прямое преобразование тепла перепада температур в электроэнергию с помощью термоэлектрических преобразователей, основанных на эффекте Зеебека [1].

Электропитание обеспечивается неравномерно от термоэлектрического генератора (ТЭГ) для получения хорошего качества выходной мощности мы используем DC / DC преобразователь (контроллер) рис. 3 [3]. Система оптимизирует электроснабжения энергии эффектным способом, и обеспечить его доступности от ТЭГ солнечней панели или ветрогенератор.

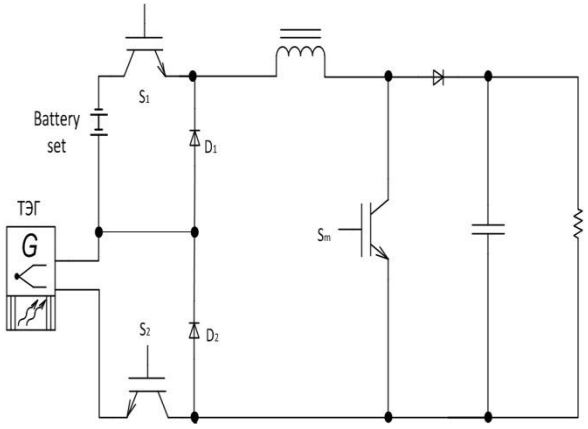


Рис. 3. DC / DC преобразователь

Преобразователь работает в различных установившихся режимах путем переключения состояний полупроводников (*S1, S2* и *Sm*), как описано далее:

1. Мощность поступает только из одного источника напряжения.

В этом случае существуют две возможности для управления ЭЭ. Если энергия поступает только от ТЭГ (ТЭ), то вспомогательный переключатель *S1* выкл., а переключатель *S2* вкл. Когда ТЭГ не может обеспечить требуемую энергию в нагрузку, то вспомогательный выключатель *S2* выкл. и переключатель *S1* вкл., в этом случае энергия поступает только от батареи. Транзистор *Sm* переходит на регулирование выходного напряжения независимо от используемого источника.

2. Мощность поступает из обоих источников напряжения.

Когда ТЭГ не может обеспечить всю необходимую энергию на нагрузку, но все равно есть наличие электроэнергии, то система может работать, потребляя энергию из обоих источников: ТЭГ и комплект батарей. Этот режим возникает, если *S1* и *S2* вкл. одновременно, или если они чередуются в разное время.

Список литературы

1. Самойлович А. Г. Термоэлектрические и термомагнитные методы превращения энергии: Конспект лекций. — М.: Издательство ЛКИ, 2007. — 224 с.

2. Zalba B., Marin J.M., Cabeza F., Mehling H. Review of thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications.// Applied Thermal E ngineering 23, 2003.

3. Nimrod Vazquez, Claudia Hernandez and Esli Vazquez. A DC/DC Converter for Clean-Energy.Applications, Clean Energy Systems and Experiences10, 2010.

АНАЛИЗ, ТРЕБОВАНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ К ПОСТРОЕНИЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ

Матюшева О.В.
Научный руководитель: Шмойлов А.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: olen_ka_1988@mail.ru

Дифференциальные токовые защиты являются наиболее естественными и качественными средствами защиты от коротких замыканий, как обладающие принципиально абсолютной селективностью, а также наибольшими чувствительностью и быстродействием.

Существующие дифференциальные токовые защиты выполняются по двум схемам: с циркулирующими токами и с уравновешенными электродвижущими силами. В отечественной и зарубежной практике для защиты оборудования применяется, в основном, первый способ, т.к. трансформаторы тока, преобразующие силовой ток электроустановок, – источники тока.

Длинные цепи циркуляции (с большим сопротивлением) по условиям режимов, точности и погрешностей измерительных трансформаторов тока невозможны. Поэтому дифференциальные токовые защиты с циркулирующими токами используются, в основном, для пространственно сосредоточенного оборудования, сборных шин электроустановок и коротких линий.

В связи с глубоким насыщением ферромагнитного сердечника трансформатора тока на присоединении сборных шин или выводе многообмоточных трансформаторных элементов при внешних коротких замыканиях на данном присоединении или выводе могут возникнуть огромные погрешности в дифференциальной цепи из-за недопустимой погрешности тока в плече, уравновешивающим токи остальных плеч дифференциальной токовой защиты.

Устранению этих недостатков способствует качественное изготовление конструкций трансформаторов тока, снижение мощности потребления аппаратуры дифференциальных защит, использование электротехнической стали с индукцией насыщения до 3 Тл, применение магнитных шунтов и другие меры. В дифференциальной токовой защите линии для согласования мощности трансформаторов тока с сопротивлением цепей циркуляции токи преобразуются в высоковольтные сигналы, которые усиливаются и передаются по высоковольтной цепи циркуляции на аппаратуру противоположного конца линии.

Однако при выполнении указанных мер пространственно распределенные объекты (линии) все равно должны быть ограничены по протяженности в связи со снижением надежности высоковольтной цепи циркуляции при увеличении длины линий. При большой протяженности защищаемой линии возникает проблема неадекватности сквозных токов на ее концах в рабочих режимах и при внешних коротких замыканиях из-за поперечных параметров защищаемой линии. В связи с этим возникает необходимость компенсации влияния этих параметров, что усложняет схемы защит и их настройку. Названные обстоятельства обусловливают ограничение длины линии до 20 км при использовании на них дифференциальных токовых защит.

Однако уникальные свойства дифференциальных токовых защит по селективности, чувствительности и быстродействию не менее востребованы и для линий большой длины, используемых для передачи электрической мощности мощных источников на дальние расстояния к потребителям городов и районов. Поэтому в настоящее время разработаны и широко используются защиты с обменом информацией не величин и направлений токов по концам длинной линии, которые могут быть весьма искажены относительно друг друга, а результатов действия комплектов защит на концах линии, передаваемых по предусмотренным каналам логических сигналов срабатывания или несрабатывания комплектов на противоположные концы при коротком замыкании на защищаемой линии и вне ее.

Это наиболее быстродействующие защиты с блокирующим сигналом, менее быстродействующие защиты с разрешающим сигналом и построенные на дифференциально-фазном принципе защиты промежуточного быстродействия. Обмен информацией между комплектами данных защит осуществляется по оптоволоконному каналу, проложенному вдоль линии, или на высокочастотной несущей (30-500 кГц), передаваемой по силовым проводам самой защищаемой линии. Принципиально данные защиты по построению и свойствам могут рассматриваться как организационное и техническое распространение дифференциального токового принципа на линии большой длины.

Однако часть функций вследствие ликвидации цепей циркуляции в данных защитах утрачена. Так, защиты с блокирующим и разрешающим сигналом утратили свойство отстройки от асинхронного режима.

Дифференциально-фазный принцип основан на модуляции первым полупериодом промышленного тока высокочастотных генераторов, установленных однотипно относительно включения комплектов защиты на концах линии, выдающих высокочастотную составляющую на провода линии.

При такой организации функционирования при сквозном токе (внешнее короткое замыкание, рабочие, асинхронные режимы) высокочастотный

сигнал в комплектах защиты на концах линии существует непрерывно в оба полупериода промышленного тока. При внутреннем коротком замыкании – только в один полупериод, т.е. с паузой в полупериод.

При больших длинах линий полупериоды сквозных токов на концах двухконцевой линии будут смещены по времени, что приведет к паузе высокочастотного сигнала и, как следствие, возможности излишнего действия защиты. Этот недостаток обусловливает ограничение длины защищаемой линии и необходимость снижения чувствительности дифференциально-фазной защиты. Таким образом, дифференциально-фазный принцип обеспечивает наибольшую полноту свойств дифференциального принципа при распространении его на существенно более длинные линии, однако не беспредельно. По этой причине и должна быть ограничена протяженность защищаемых линий.

Следовательно, протяженные линии с помощью дифференциального и дифференциально-фазного принципов не могут быть защищены на полной их длине. Поэтому они должны защищаться по частям, а информация о протекающих процессах и действиях защит на каждом участке должна беспрепятственно и быстро доставляться на концы линии, где расположены средства подавления коротких замыканий в виде выключателей переменного тока.

На основании вышеизложенного можно сформулировать следующие требования к построению быстродействующих защит протяженных линий:

1) Наиболее селективными, чувствительными и быстродействующими защитами линий являются токовые дифференциальные и дифференциально-фазные защиты, однако только на ограниченных по длине участках из-за малого влияния поперечных параметров емкости и утечки проводов;

2) Поскольку участки, как правило, находятся в полевых местах, комплекты защиты на концах участков должно функционировать автономно, т.е. иметь собственные блоки питания, каналы связи с концами линии и канал обмена информацией;

3) Каналы связи могут быть любыми. Каналы обмена между комплектами при реализации защиты по дифференциальному принципу должны быть электрически не связаны с проводами защищаемой линии и должны обеспечивать циркуляцию или равновесие электродвижущих сил непрерывных сигналов, пропорциональных токам защищаемого участка. А при построении защиты участка по дифференциально-фазному принципу они должны быть на высокочастотной несущей, передаваемой по проводам защищаемой линии и модулируемой первыми полупериодами промышленных токов на концах защищаемого участка.

При традиционном построении защит на концах участков линии по изложенным требованиям, наряду с ранее указанными блоками питания и каналами связи и обмена, необходима установка высоковольтных трансформаторов тока, а в случае дифференциально-фазного принципа дополнительного высоковольтного оборудования конденсаторов связи, заградителей и фильтров присоединения на каждом конце участка. Повышение качества защиты за счет таких расходов не может быть оправдано.

Поэтому предлагается выполнить построение защит каждого участка на высоковольтном потенциале проводов линии. В этом случае отпадает необходимость в высоковольтных трансформаторах тока, а в качестве датчиков тока согласно [1] может быть использован небольшой участок (в пределах 1 м) проводов фаз линии.

В качестве каналов связи предлагается использовать непосредственно провода фаз линии на высокочастотной несущей. Генераторы несущей, располагаемые на высоковольтных проводах линии, одним выходным полюсом подключаются непосредственно к проводу защищаемой фазы, а другой полюс является антенной на частоте несущей.

Таким способом можно не использовать высоковольтные конденсаторы связи. Для исключения заградителей информацию по проводам необходимо передавать не с помощью простейшей модуляции сигналов высокочастотных генераторов полупериодом промышленной частоты, а в виде кодов на высокочастотной несущей.

Аналогично целесообразно организовать высокочастотные каналы обмена информации кодированными сигналами по проводам линии при использовании дифференциально-фазной защиты на каждом защищаемом участке линии. Приведенные предложения основаны на практических результатах исследований, проведенных в [2].

Список литературы

1. Пат. № 2393606, РФ. Способ построения и настройки релейной защиты линий с жестким указанием места повреждения. Шмойлов А.В. (РФ), Овчинников С.А. (РФ); ГОУ ВПО Томский политехнический университет (РФ). Заявлено 29.04.09; Опубликовано 27.06.10 . – 18 с.

2. Матюшев В.Л. Передача кодированного сигнала, заполненного высокой несущей частотой, по проводам электрических сетей // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: Мат. докл. XVIII науч.-техн. конф. − Томск: ТПУ, 2012. − С. 30-33.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА АКТИВНОГО RC-ФИЛЬТРА ВЕРХНИХ ЧАСТОТ

Матюшев В.Л.
Научный руководитель: Шмойлов А.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: 19mety87@mail.ru

При передаче кодированного сигнала, заполненного высокой несущей частотой, по модели высоковольтной линии возникает большое искажение самой структуры передаваемого сигнала: преобладает низкая частота, сигнал затухает на 93 дБ [1]. Полученная амплитуда передаваемого кода не удовлетворяет значению надежного восприятия сигнала напряжением высокого уровня 2 В для приемника манчестерского кода [2]. В [1] для выявления и усиления передаваемого сигнала используется активный RC-фильтр верхних частот. Ниже приведена подробная методика расчета данного фильтра. На рисунке 1 показана основная схема активной RC-цепи с одноконтурной обратной связью. Для реализации данной схемы фильтра необходимо знать передаточную функцию.

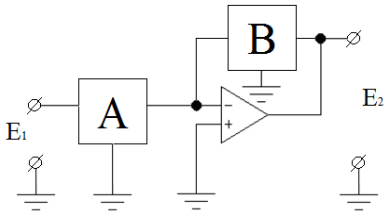


Рис.1. Основная схема активной RC-цепи

Как известно из [3], все нули функции верхних частот амплитудно-частотной характеристики должны в общем случае лежать в начале координат плоскости комплексной частоты. Следовательно, для дробно-рациональных функций передаточная функция должна иметь вид

$$N(s)= -Hs^n/B(s),$$

где n – степень полинома знаменателя B(s);

H – действительное положительное число, равное коэффициенту усиления в полосе пропускания.

Ввиду неизвестности передаточной функции для данного фильтра задаемся функцией, имеющей вид

$$E_2/E_1 = \left(-Hs^2\right)/\left(s^2 + a\omega_0 s + \omega_0^2\right), \qquad (1)$$

где ω_0 – круговая частота среза, рад/с;

a – постоянная, определяемая блоком B.

Для решения уравнения (1) необходимы значения коэффициента a и частоты среза f_0. Принимаем a=1. Для определения значения частоты среза используем блок передаточной функции в среде Matlab (библиотеке Simulink). Полученный сигнал на конце моделируемой линии пропускаем через звено передаточной функции. При изменении круговой частоты в данном звене подбираем частоту среза, при которой будет выделяться смодулированный сигнал. Сигнал полностью выделяется при частоте среза 50 кГц и имеет амплитуду 8 нВ. С помощью коэффициента усиления увеличиваем сигнал до нужного значения (не менее 2В). При H=300000000 достигается амплитуда 2,6 В.

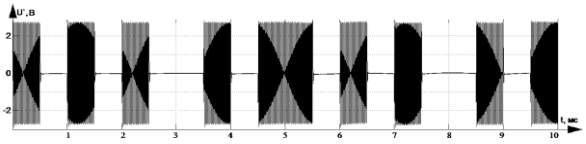


Рис.2. Осциллограмма усиленного сигнала

Передаточная функция при частоте среза 50 кГц

$$E_2/E_1 = \left(-3\cdot 10^8 s^2\right)/\left(s^2 + 2\pi as\cdot 5\cdot 10^4 + \left(2\pi\cdot 5\cdot 10^4\right)^2\right).$$

По данной передаточной функции определяется схема фильтра, с помощью которой возможна реализация данной функции. На рисунке 1 представлен фильтр верхних частот, поэтому блок A является T-образным фильтром верхних частот и имеет схему, приведенную на рисунке 3.

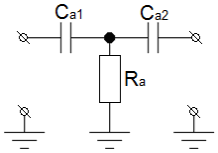


Рис.3. T-образный фильтр верхних частот

Данная схема, в соответствии с [3], имеет передаточную полную проводимость, равную

$$y_{12}^a = N_{12}^a(s)/D_{12}^a(s) = -ks^2/(s+a). \qquad (2)$$

Передаточная функция активного фильтра относительно передаточной полной проводимости блоков записывается в виде соотношения (3).

$$E_2/E_1 = -y_{12}^a/y_{12}^b. \qquad (3)$$

Приравниваем правые части уравнений (1) и (3), подставляя значение y_{12}^a из уравнения (2). Получаем передаточную полную проводимость блока B (4).

$$y_{12}^b = -\left(s^2 + as + 1\right)/(s+a). \qquad (4)$$

Данная передаточная полная проводимость соответствует проводимости мостовой T-образной схемы, показанной на рисунке 4.

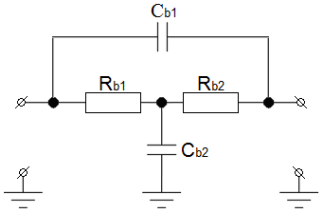


Рис. 4. Мостовая T-образная схема

Согласно [3], значения параметров элементов схемы блока A (рис. 3) связаны соотношениями

$$\begin{cases} k = 1/H = (C_{a1}C_{a2})/(C_{a1}+C_{a2}), \\ a = 1/(R_a \cdot (C_{a1}+C_{a2})), \end{cases} \quad (5)$$

Так как в данной системе уравнений три неизвестные, то решить ее невозможно. Для удобства расчета принимаем C_{a1} и C_{a2}, равными C, следовательно

$$\begin{cases} k = (C \cdot C)/(C+C) \\ a = 1/(R_a \cdot (C+C)) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C = 2k \\ R_a = 1/(4ak) \end{cases} \quad (6)$$

Как указано в [4], емкость C зависит не только от коэффициента k, но и от круговой частоты среза.

$$C = 2k/\omega_0 = 2k/2\pi \cdot f_0 = k/\pi \cdot f_0 . \quad (7)$$

Значения параметров элементов схемы блока B (рис. 4) связаны соотношениями (8).

$$\begin{gathered} R_{b1} = 1/(2{,}5 - a),\ R_{b2} = a - R_{b1}, \\ C_{b2} = 1/(R_{b1} \cdot R_{b2}),\ C_{b1} = 1. \end{gathered} \quad (8)$$

Находим значения R_{b2}, C_{b2} из уравнений (8), выражая их через коэффициент a.

$$\begin{gathered} R_{b2} = a - 1/(2{,}5 - a), \\ C_{b2} = 1/((1/(2{,}5-a)) \cdot (a - 1/(2{,}5-a))). \end{gathered} \quad (9)$$

Емкости C_{b1} и C_{b2} зависят от коэффициента a и от круговой частоты [4], согласно формуле (10).

$$\begin{gathered} C_{b1} = 1/(2\pi \cdot f_0), \\ C_{b2} = \left(2\pi \cdot f_0 \cdot (2{,}5-a)^{-1} \cdot \left(a - (2{,}5-a)^{-1}\right)\right)^{-1}. \end{gathered} \quad (10)$$

Рассчитываем параметры элементов активной RC-цепи, результаты сводим в таблицу 1.

Таблица 1. Параметры элементов фильтра

Параметры	Значение	Значение
H	1	300000000
C_{1a}, C_{2a}, пФ	6369426,7515923	0,00002123142250
C_{1b}, пФ	3184713,3757961	0,00001061571125
C_{2b}, пФ	14331210,191082	0,00004777070063
R_a, Ом	0,25	75000000000
R_{1b}, Ом	0,66(6)	200000000000
R_{2b}, Ом	0,33(3)	100000000000

В библиотеке Simulink среды Matlab нет возможности смоделировать фильтр на операционном усилителе, поэтому данный фильтр моделируем в среде Electronics Workbench.

При коэффициенте H=1 полученный сигнал приведен на рисунке 5. Данный сигнал отличается от сигнала в среде Matlab [1], т.к. в данной программе имеются ограничения по количеству вводимых знаков в ячейку значения параметра элемента.

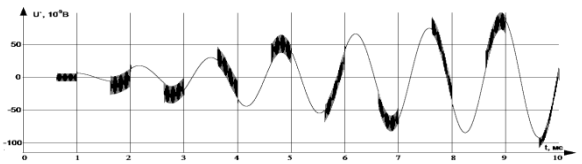


Рис.5. Осциллограмма отфильтрованного сигнала

При фильтрации сигнала со значением H=300000000 результат получается не похожем на значение полученное при пропускании его через передаточное звено. По передаточной функции должен получиться сигнал амплитудой 2,6 В, в действительности амплитуда равна 0,5 мВ. Значит, достигнут предел усиления в данном операционном усилителе.

В соотношении (1) необходимо подобрать значение H так, чтобы усиленный сигнал имел амплитуду 0,5 мВ. Опытным путем получаем H=60000. Находим значения параметров схемы с учетом нового коэффициента усиления (таблица 2).

Таблица 2. Параметры элементов фильтра

Параметр	Значение	Параметр	Значение
C_{1a}, C_{2a}, нФ	0,10615711252	R_a, Ом	15000
C_{1b}, нФ	0,05307855626	R_{1b}, Ом	40000
C_{2b}, нФ	0,23885350318	R_{2b}, Ом	20000

Собираем схему активного высокочастотного фильтра по данным таблицы 2. Осциллограмма усиленного сигнала приведена на рисунке 6. Полученный сигнал ослаблен на 42,1 дБ относительно передаваемого полезного кода.

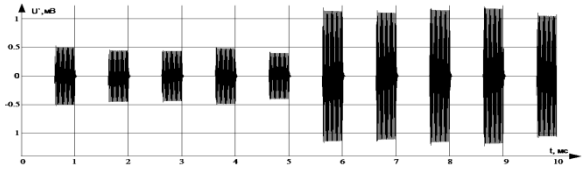


Рис. 6. Осциллограмма усиленного сигнала

Для увеличения амплитуды сигнала применяется активный фильтр третьего порядка. Данный фильтр организован путем последовательного соединения трех активных фильтров первого порядка. Полученный сигнал имеет амплитуду 5В. Сигнал на конце линии после фильтрации и усиления находится в соизмеримых соотношениях с передаваемым сигналом (12 В). Таким образом, возможно применить данную методику передачи и приема кодированного сигнала, заполненного высокой несущей частотой, для передачи информации по силовым проводам высоковольтной линии электропередач.

Список литературы

1 Матюшев В.Л. Передача кодированного сигнала, заполненного высокой несущей частотой, по проводам электрических сетей// Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: Мат. док. XVIII науч.-техн. конф. − Томск: ТПУ, 2012. − С. 30–33.

2 Технические данные. Приемопередатчики манчестерского кода. Интеграл, – 5 с.

3 Хьюлсман Л.П., Аллен Ф.Е. Введение в теорию и расчет активных фильтров. –М.: Радио и связь, 1984. – 384 с.

4 Алексакова Г. Активные RC-фильтры на операционных усилителях. – М.: Энергия, 1974. – 64 с.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА АГРЕГАТОВ ГЭС НА ОСНОВЕ ПРОЦЕДУРЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ

Митрофанов С.В.
Научный руководитель: Секретарёв Ю.А. д.т.н., профессор
Новосибирский Государственный Технический Университет
E-mail: Mitrofan_Serg@mail.ru

Введение

Оптимизация режимов работы является одним из приоритетных направлений в повышении эффективности работы электростанций и энергосистем.

В представленной работе в качестве объекта оптимизации выбраны гидроэлектростанции и режимы их работы. Данный выбор не случаен, поскольку ГЭС, в силу своих технологических особенностей, играют важную роль в покрытии пиков нагрузки в энергосистеме и обеспечении нагрузочного резерва. Однако частое изменение нагрузки на станции приводит к необходимости изменять степень загруженности и число работающих агрегатов более десятка раз за сутки.

В связи с этим становится актуальными задачи выбора оптимального состава необходимых в работе гидроагрегатов на станции.

Решение данной задачи требует применения определённого алгоритма оптимизации.

Исследования в данной области начали проводиться еще в 70-х годах 20 века. Были разработаны алгоритмы [1], основанные на таких методах оптимизации как: метод динамического программирования, метод ветвей и границ, метод направленного перебора вариантов и т.д.

Перечисленные методы довольно удобны для осуществления автоматического регулирования, однако все они опираются на один доминирующий критерий. Все остальные критерии представляются в виде ограничений либо не учитываются.

Подобный подход приемлем для небольших ГЭС, не выполняющих регулирующие функции в системе, однако опасен для крупных гидроэлектростанций. Поскольку не учитываются в должной мере такие важные критерии как эксплуатационная надежность, экологичность, качество напряжения и т.д.

В связи с этим в настоящее время всё большее внимание уделяется методам многокритериальной оптимизации.

Постановка задачи оптимизации

Методы многокритериальной оптимизации в большинстве случаев опираются на принцип поиска Парето - оптимальных решений. Этот принцип предполагает поиск компромисса между несколькими критериями. Полученное в результате решение не будет удовлетворять на 100% ни один из рассматриваемых критериев, однако позволит удовлетворить все критерии в определённой степени в соответствии с интересами лица принимающего решение (ЛПР) [6].

При этом встаёт вопрос выбора критериев оптимизации. Поскольку слишком большое число критериев может привести к неточности и размытости возможных стратегий управления, а слишком малое, к не учёту факторов, которые могут оказать существенное влияние на работу ГЭС.

В связи с этим, наиболее разумным представляется формирование результирующих показателей эффективности работы гидроагрегатов на основе как минимум двух критериев режима работы гидроагрегатов ГЭС. Этими критериями являются: экономичность режима работы гидроагрегатов, эксплуатационная надежность гидроагрегатов.

Поскольку в задачи присутствую два критерия, то возникает необходимость в ведении целевой функции, сформированной на их основе и демонстрирующей близость рассматриваемого режима работы гидроагрегата к целям управления на станции.

В общем виде целевая функция может быть выражена следующим выражением.

$$U^*=DE_1(DE_2(KS_э,KS_н), KS_t); \quad (1)$$

где $KS_н$, $KS_э$ - критерии текущей ситуации, определяющие эксплуатационную надежность и экономичность режима работы станции; KS_t – критерий текущей ситуации в энергосистеме; DE_1 – свёртка, описывающая двухцелевое управление составом агрегатов на станционном уровне с учётом ограничений накладываемых системой, DE_2 – свертка, описывающая формирование единого критерия управления гидроагрегатом на основе двух критериев.

Для проведения расчётов критерии эксплуатационной надежности и экономичности должны быть приведены к единым безразмерным единицам. Для этой цели может быть использован аппарат теории нечётких множеств.

Процесс формирования критериев и приведения их к единым единицам измерения подробно описан в работе [2].

Формализация возможных стратегий управления с помощью свёрток критериев.

Поскольку управление осуществляется на основе двух противоречивых критериев, то встаёт задача определения степени приоритетности одного критерия по отношению к другому.

К сожалению, на различных гидроэлектростанциях степень приоритетности данных критериев различна в зависимости от целей управления, преследуемых персоналом станции.

Для формализации возможных типовых решений может быть использована процедура свёр-

тывания критериев эксплуатационной надежности и экономичности.

Свёртка – это логико-множественная операция, определяющая условия, по которым будет формироваться обобщенный критерий управления.

К сожалению, законы формальной логики не позволяют охватить всё пространство возможных вариантов управления ЛПР агрегатами ГЭС. Число возможных свёрток в этом случае ограничивается лишь двумя: поиск минимума $h = \min(U,V)$ и поиск максимума $h = \max(U,V)$. Использование этих свёрток приводит к жесткому доминированию одного из критериев и полному исключению компромисса между ними.

Математический аппарат для решения этой задачи предоставляет теория возможностей, сформулированная Д. Дюбуа и А. Прадом на основе теории нечетких множеств во второй половине XX века [3].

Предложенная для оценки целей лингвистическая шкала уровней совместимости (таблица 1) позволяет значительно расширить множество возможных решений управления составом агрегатов ГЭС.

Таблица 1. Лингвистическая шкала оценок

Уровень совместимости с целью	Знач.	Лингв. оценка
A.Полная совместимость	1	Отлично
B.Большая совместимость	0,75	Хорошо
C.Средняя совместимость	0,5	средне
D. Малая совместимость	0,25	Удовлетворительно
E. Несовместимость	0	плохо

Имея широкий спектр операций, выражающих различные возможные стратегии поведения ЛПР и дискретизированную шкалу их оценки, возможно, рассмотреть варианты идентификации стратегии управления с помощью вопросника, предъявляемого ЛПР (таблица 2).

Таблица 2. Оценка целей в различных ситуациях

Цели	Ситуация 1	Ситуация 2	Ситуация 3
U (надежность ГА)	Плохо (0)	Средне (0,5)	Средне (0,5)
V (экономичность ГА)	Отлично (1)	Средне (0,5)	Отлично (0,5)
Общая оценка состояния ГА	Заполняется ЛПР		

Тройки ответов по трём типовым ситуациям позволяют определить стратегию, которой придерживается ЛПР при управлении гидроагрегатами ГЭС. Каждая стратегия выражается в виде свёртки критериев эксплуатационной надежности и экономичности.

Руководствуясь данными правилами при идентификации целей, возможно, достаточно точно определить тип свёртки, описывающей стратегию управления каждого ЛПР.

В [2] предложен набор из 17 свёрток критериев, которые характеризуют возможные стратегии управления на ГЭС в зависимости от полученных при проектировании троек ответов по трём типовым ситуациям.

Например, результаты экспертизы на Саяно-Шушенской ГЭС показали, что на данной станции приоритет отдаётся сверткам $\sqrt{UV}$ и $2UV/(U+V)$ - среднее геометрическое и среднее гармоническое, что характеризует равный приоритет параметров в управлении. Однако далеко не на всех ГЭС придерживаются данной стратегии управления. В частности, представленные в [2] результаты экспертизы на Новосибирской ГЭС указывают на приоритет критерия надежности, выраженный в виде свертки $\min(U,V)$.

После того, как выбран тип свёртки может быть сформирован единый критерий управления и на её основе определены оценки состояния каждого гидроагрегата, встаёт задача непосредственного выбора номера агрегата, эксплуатация которого наиболее или наименее целесообразна.

Заключение

В данной статье была рассмотрена методика оптимизации состава гидроагрегатов ГЭС на основе двух критериев. Одной из основных задач при многокритериальном управлении считается процедура идентификации критериев, то есть оценки их важности по отношению друг другу.

В Статье продемонстрирован способ идентификации критериев, основанный на теории возможностей. С помощью экспертизы, проводимой среди оперативно-диспетчерского персонала ГЭС, определяется одна или несколько формализованных стратегий управления, выраженная в виде математической свёртки.

Указанная методика может быть реализована в рамках системы интеллектуальной поддержки оптимальных решений (ИНПОР), что повысит эффективность управления ГЭС.

Список литературы

1. Т.А. Филиппова. Оптимизация энергетических режимов гидроагрегатов гидроэлектростанций; – М: Энергия, 1975. – 207 с.

2. Ю.А. Секретарёв. Ситуационное управление энергетическими объектами и процессами электроэнергетической системы. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 308 с.

3. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике: Пер. с фр. – М.: Радио и Связь, 1990. – 288 с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ

Нгуен Данг Куанг
Научный руководитель: Миляев Д.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: quangnguyen@sibmail.com

Введение

Передача информации – это неотъемлемая часть многих информационных и вычислительных систем. Для этого часто используются проводные связи. При передаче информации происходят неизбежные потери искажения полезного сигнала. К причинам этого относятся влияния внешних полей, и параметры самой линии связи. В число таких параметров входит емкость кабеля. Значение емкости необходимо для оптимального выбора кабеля, а также для определения области применения данного вида кабеля.

Наиболее целесообразным и экономически выгодным является измерение емкости еще в процессе производства кабеля, на стадии нанесение изоляции. Это дает возможность изначально задавать необходимую емкость и контролировать постоянство ее значения по всей длине кабеля.

Поскольку, измерение емкости кабеля производится при отсутствии экранирующего слоя, в качестве второго электрода используется вода. Контроль емкости производится в охлаждающей ванне, куда помещается кабель после нанесения изоляционного слоя. Предполагаемая принципиальная схема емкостного преобразователя имеет вид, представленный на рис.1.

Преобразователь выполнен в виде полого цилиндра и включает в себя два электрода: электрод питания (ЭП) 1, и рабочий электрод (РЭ) 2, расположенный между ЭП, ввод 3 для подачи напряжения питания, вывод 4, корпус 5. В процессе измерения, корпус ванны, корпус 5, а также жила кабеля заземляются.

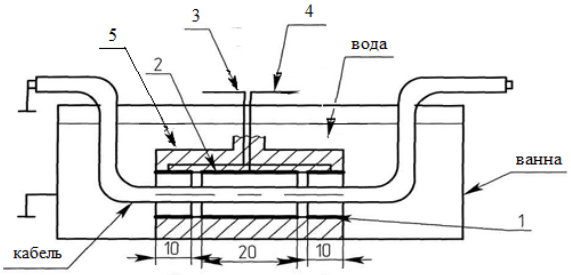


Рис. 1. Принципиальная схема емкостного преобразователя

При подаче переменного напряжения на электрод питания через изоляционный слой кабеля протекает ток. Этот ток и является информативным параметром преобразователя. Значение тока линейно зависит от емкости данного участка, равного длине РЭ, и соответствующей длине кабеля.

$$I = j \cdot U \cdot \omega \cdot C_x$$

Поскольку измерение производится в воде, происходит распределение потенциала вдоль всей ванны. Наличие по краям двух ЭП уменьшает неравномерность распределения электрического поля внутри трубы. Расположение электродов в преобразователе согласно схеме на рис 1. Преобразование выполнено с помощью генератор, вольтметр В3-38. Измерение проводится в трех режимах источника питания: 10 В, 20 В и 30 В. Результаты исследования показаны на рис.2.

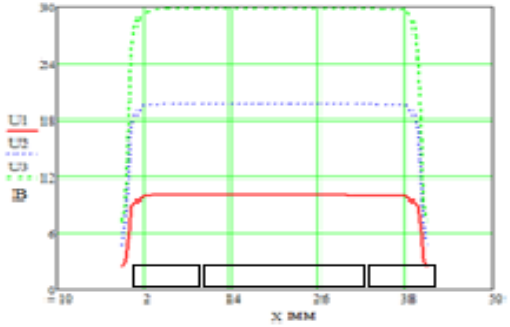


Рис. 2.

Таблица 1. Зависить выходного тока от частоты

f, кГц	Образец №1 $\frac{d}{D} = 2/4$		Образец №2 $\frac{d}{D} = 2/7$		Образец №3 $\frac{d}{D} = 3/7$	
	Ix, мА	C, пФ	Ix, мА	C, пФ	Ix, мА	C, пФ
20	0,23	61	0,12	31,8	0,14	37,1
25	0,28	59,4	0,14	29,7	0,18	38,1
30	0,33	58,4	0,17	30,1	0,21	37,1
40	0,42	56	0,21	27,8	0,27	36
50	0,51	54	0,26	27,6	0,32	34,0
60	0,59	52,2	0,30	26,5	0,38	33,6
70	0,68	52	0,35	26,6	0,43	32,6
80	0,75	50,1	0,39	26,0	0,48	32
90	0,83	49	0,43	25,4	0,54	32,0
100	0,90	48	0,47	25	0,59	31,5

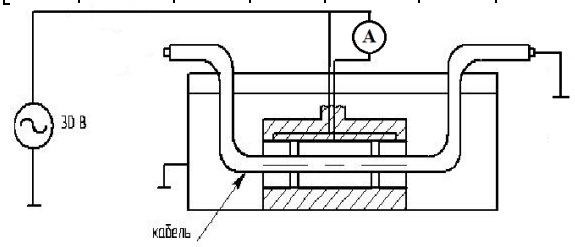


Рис. 3. Схема измерения емкости кабеля

Полученные данные позволяют определить зависимость выходного тока от частоты. Как видно из графика (рис. 4) зависимость при любых емкостях - линейная функция.

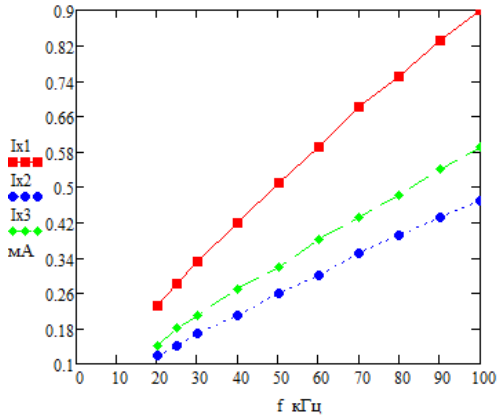


Рис 4 . Зависимость измеряемый ток от частоты

Исследуем зависимость тока емкостного преобразователя от концентрация соли воды. При добавке соли с определенным количеством, то значение тока изменится и зависит от концентрация соли в воде. Эксперимент действует с тремя разными кабелями. Результаты представлены на график ниже.

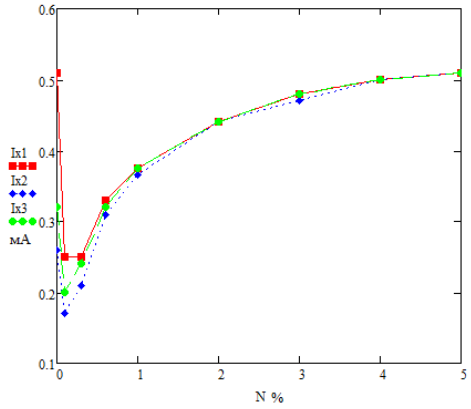


Рис.5 Зависимость измеряемый ток от концентрации соля трех кабелей в воде при частоте фиксированной, равной 50 кГц.

Заметим, что когда добавит соль в воде, измеряемый ток не только ток, измеряющий емкость кабеля но и остаточный ток. Этот ток при отсутствии кабеля и он изменится при к изменении концентрации соли.

Таблица 2.Ток емкостного преобразователя первого образца при изменении концентрации соли и частоты

N(%)\f(кГц)	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
0.1%	0,17	0,19	0,20	0,23	0,25	0,28	0,31	0,34	0,36	0,38
0.3%	0,24	0,245	0,25	0,255	0,26	0,27	0,28	0,285	0,29	0,30
0.6%	0,32	0,32	0,325	0,325	0,33	0,33	0,335	0,335	0,34	0,34
1%	0,38	0,38	0,38	0,375	0,375	0,375	0,37	0,37	0,37	0,37
2%	0,45	0,45	0,445	0,445	0,44	0,44	0,435	0,435	0,43	0,43
3%	0,49	0,49	0,485	0,485	0,48	0,48	0,475	0,475	0,47	0,47
4%	0,51	0,51	0,505	0,505	0,50	0,495	0,495	0,49	0,485	0,48
5%	0,52	0,52	0,515	0,515	0,51	0,505	0,505	0,50	0,495	0,49

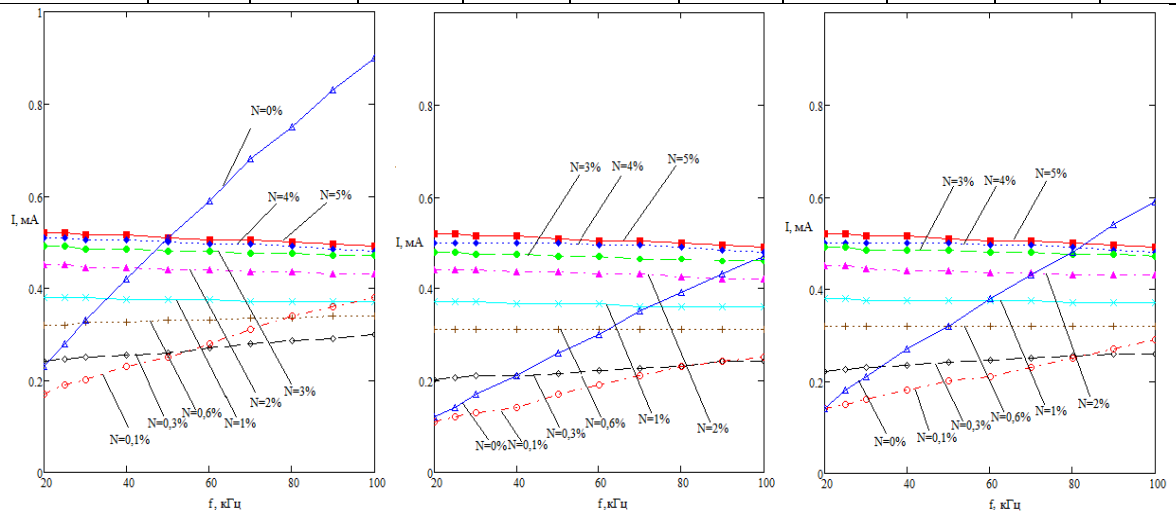


Рис. 6 Зависимость ток от частота при концентрации изменится из 0% до 5% для трех кабелей.

Результаты эксперимента показывают, что собственная емкость данного преобразователя довольно мала. Значение напряжения на рабочем участке измерительной трубы постоянно. В процессе измерения, использует чистую воду с концентрацию соли 0 %, это оптимально обеспечивать уверенный результат измерения. Измеряемый ток прямо пропорционален частоте питания. Это показано теоретически и подтверждено экспериментально.

Список литературы

1. Гроднев И.И. Основы теории и производство кабелей связи. Учебное пособие для техникумов. М. – Л. Госэнергоиздат, 1956-480 с.

2. Белорусов И.И. Электрические кабели и провода, М.: Связьиздат 1971-456 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТО-ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Нгуен Минь Дык
Научный руководитель: Юрченко А.В. , д.т.н., профессор
Институт неразрушающего контроля
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: chimto4@sibmail.com

1. Введение

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ), к которым относятся: солнечная радиация, энергия ветра, энергия рек, приливов и океанских волн, энергия, заключенная в биомассе и органических отходах. В том числе, солнечная радиация и энергия ветра способны для выработки в больших масштабах. Главными недостатками является переменные характеристики и зависимости от погодных и климатических изменений. Солнечная и ветровая энергии не могут совпадать со временем распределения спроса. Сочетание двух источников в целом: «Использовать силные из одного источника, чтобы преодолеть слабость другого». Фотоэнергетическая установка, которая сочетает солнечной и ветровой энергоблоков с аккумуляторной батареей, может ослаблять их индивидуальные колебания и снижения требований хранения энергии. Но использование двух различных ресурсов в сочетании, делает анализ систем более сложной. В среде Matlab Simulink дает возможность контроля и управления фото-ветроэнергетической системы.

2. Прицинпиальная схема системы контроля и управления

В состав (рис. 1) входят солнечные батареи (140Вт), ветровая система (3 кВт), контроллер и аккумуляторные батери.

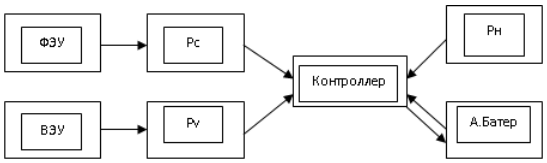


Рис. 1.

3. Фотоэнергетические установки

Обобщенная модель СЭ показана на рис. 2.

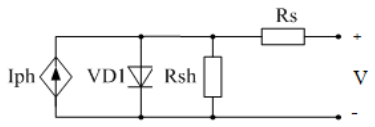


Рис.2. Обобщенная схема замещения СЭ

Источник тока I_{ph} представляет собой фототок, зависящий от интенсивности излучения, диод VD1 описывает ток, протекающий через неидеальный (с коэффициентом неидеальности n) p-n переход СЭ. В модель включены паразитные параметры структуры фотоэлемента - последовательное сопротивление R_s и параллельное сопротивление R_{sh}.

Важными параметрами, прямо влияющими на работу этой системы, являются температура и солнечная радиация.

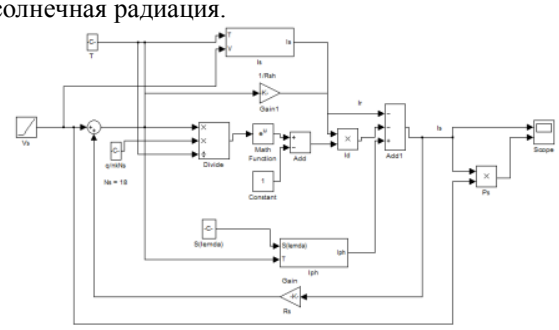


Рис.3. Matlab Simulink-модель СБ

С помощью модели можно рассматривать влияние ВАХ (рис.4) при изменении температуры(а) и солнечной радиации(б).

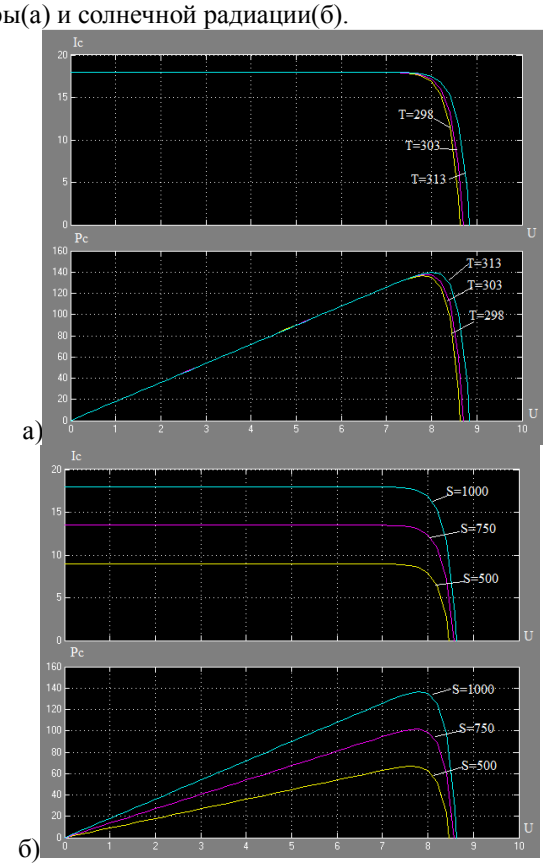


Рис.4

4.Ветроэнергетические установки

Электрическая мощность генератора ветроэнергетической установки определена по форму-

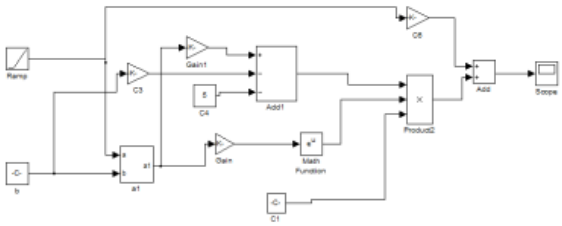
ле:

$$P_v = C_p \frac{\rho S}{2} V^3$$

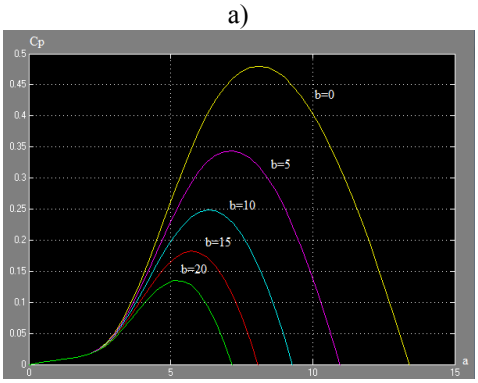
Где P_v – мощность ВЭУ (Вт),
C_p – КПД установки,
S – площадь поперечного сечения (м^2),
V – скорость ветра (м/с),
ρ – плотность воздуха(кг/м^3).

Так как ρ и S являются константами, то изменение мощности ВЭУ будет зависеть от изменения C_p и V.

Для оптимизации КПД установки, моделируем с Matlab Simulink.На рис.5-б. показано, что Ср достигает максимальное значение 0,48 при a = 8,1 и b = 0˚(где a – скорость вершины ротора соответственно скорости ветра, b – угол наклона по нормали от направления ветра (град.)).



а)



б)

Рис.5. Matlab Simulink-модель Ср (а) и зависимость Ср (a, b)(б)

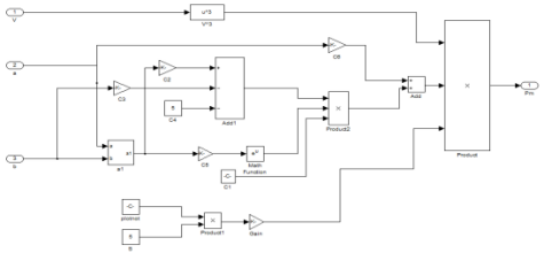


Рис.6. Simulink-модель ВЭУ

5. Фото-ветроэнергетические установки

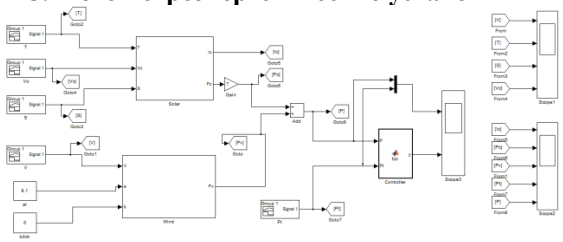


Рис.7. Matlab Simulink-модель ФВЭУ

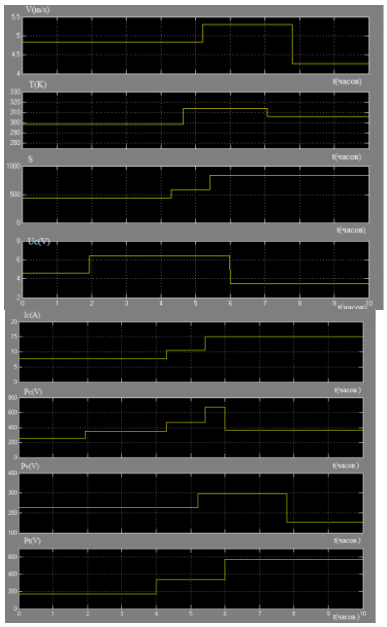


Рис. 8. Входные (U,T,S,V)и выходные сигналы(Ic,Pc,Pv,Pн)

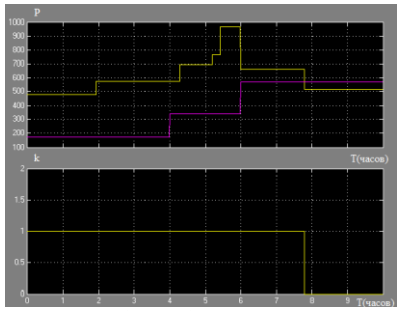


Рис. 9. Сравнение (Pc+Pv) и Pн и сигнал управления

6.Заключения

В процессе компьютерного моделирования фотоэлектрического и ветроэнергетического модулей выявлены зависимости выходных характеристик СБ от изменения температуры, освещенности и других факторов. При увеличения температуры и освещенности, коэффициент заполнения FF и максисальная мощность Рмак уменшаются. КПД ВЭУ достигает максимального значения при a = 8,1 и b = 0˚.

Список литературы

1. A. El Ali, N. Moubayed and R. Outbib, Comparison between solar and wind energy in Lebanon, 9th International Conference on Electrical Power Quality and utilization, 9-11 October 2007, Barcelona – Spain.

2. Savita Nema, R.K. Nema, Gayatri Agnihotri,“MATLAB/Simulink based study of photovoltaic cells /modules / array and their experimental verification”, International journal of Energy and Environment, vol.1, No.3, pp. 487-500, 2010.

3. Фролкова, Н.О. Компьютерное моделирование вольтамперных характеристик солнечных батарей / И.В.Абраменкова, Н.О.Фролкова // Тезисы докладов XIV международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. - 2008. - С. 381-382.

АВТОНОМНЫЙ СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТОФОР

Нежурко М.Г., Майкова О.В.
Научный руководитель: А.В.Юрченко, д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: cstopmax@gmail.com

В настоящее время, в России, сокращение расходов - приоритетная задача. Государственным и коммерческим структурам приходится искать пути сокращения затрат всевозможными способами. Одним из решений может быть сокращение затрат на электричество. Тарифы на электроэнергию растут с каждым годом, а энергопотребление зачастую только увеличивается.

Одним из способов сокращения затрат на обслуживание и сокращение потребления электричества может быть замена старых ламповых светофоров на новые светодиодные. Однако и такой метод не позволяет говорить о 100% экономии средств.

Решением может стать установка автономных светодиодных светофоров (АСС). Автономный светодиодный светофор рассчитан на установку в местах удаленных от питающей сети. Данная система является энергосберегающей, т.к. не использует электроэнергии от центральной сети и полностью автономна.

На сегодняшний день устройства автономного питания светофоров слабо распространены в России [1]. Разработкой данных систем занимаются 2-3 фирмы в России. А представленных образцов на рынке всего 2 и несколько их вариаций [4,5]. Известно решение, в котором светодиодный светофор и солнечная батарея крепится просто на опору знака «Пешеходный переход» [4]. Такое решение подходит только для привлечения внимания водителей к знаку пешеходного перехода (рисунок 1). Решений, которые могли бы полноценным образом регулировать дорожное движение, на данный момент, в России нет.



Рис. 1. Существующий аналог

Оригинальным предлагается размещать солнечные батареи на светофорном перекрестке с арочной конструкцией. Данная конструкция может выдержать солнечные батареи больших размеров, что позволит вырабатывать достаточное количество электроэнергии для питания светодиодных светофоров. Для поддержания оптимальной температуры аккумуляторов их предлагается размещать в герметичном коробе, вкопанном в землю. Это позволит охлаждать аккумуляторные батареи в жаркое летнее время, и позволит аккумулятору избежать больших потерь емкости в зимнее время.

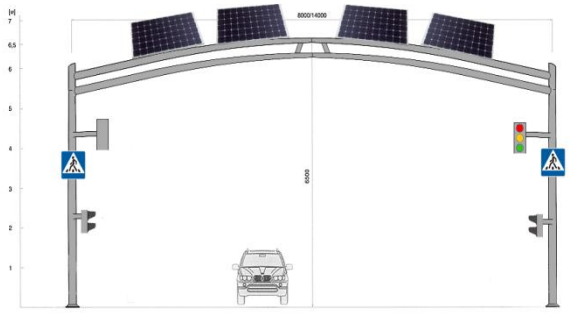


Рис. 2. Автономный светодиодный светофор

Оригинальным предлагается размещать солнечные батареи на светофорном перекрестке с арочной конструкцией. Данная конструкция может выдержать солнечные батареи больших размеров, что позволит вырабатывать достаточное количество электроэнергии для питания светодиодных светофоров. Для поддержания оптимальной температуры аккумуляторов их предлагается размещать в герметичном коробе, вкопанном в землю. Это позволит охлаждать аккумуляторные батареи в жаркое летнее время, и позволит аккумулятору избежать больших потерь емкости в зимнее время.

Предлагаемая система состоит из следующих компонентов:

1. Комплекта солнечных модулей необходимой мощности - для преобразования солнечного света в электроэнергию;
2. Контроллера заряда/разряда аккумуляторных батарей - для приведения плавающего напряжения солнечных модулей к стабильному напряжению, которое требуется для зарядки АКБ;
3. Аккумуляторной батареи - для аккумулирования и хранения энергии;
4. Контроллера светофора – для задания режима работы светофора;
5. Светодиодных светофоров – для управления дорожным движением.
6. Солнечные панели размещаются на высоте 4,5-7 метров [3], в зависимости от типа дороги. Светодиодные светофоры размещаются на высоте 2,5-3 метра [3].

Применение современных высокоэффективных энергосберегающих светодиодов позволит реализовать автономный режим работы светофора с питанием от солнечной батареи. Светодиоды, в отличие от ламп накаливания, излучают направленный свет только требуемого цвета: красного, желтого, зеленого.



Рис. 3. Светодиодный светофор

Перегорела лампочка, пропал контакт в цоколе, дал трещину корпус или разбилось стекло — и светофор с лампами накаливания «темный». Устранять причину — довольно длительный и трудоемкий процесс.

Новый светофор застрахован от подобных казусов: корпус цельнометаллический, стекло прочное, средний срок службы полупроводниковых излучателей не менее 9-ти лет (сравните со средним сроком горения лампы накаливания — 500 - 2000 часов). Отсутствие нити накаливания и цоколя также существенно способствует повышению устойчивости новых светофоров к механическим и климатическим воздействиям.

Осевая сила света красного и зеленого сигналов — 200 кд, желтого сигнала — 300 кд.

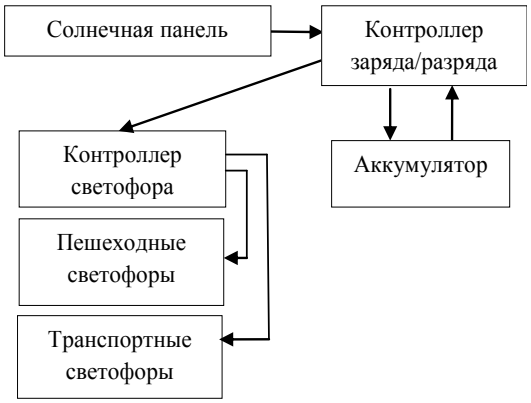
В светофоре используется несколько десятков светоизлучающих диодов, которые по окончании срока службы будут гаснуть постепенно, что дает возможность подготовиться заблаговременно к замене светофора или светоизлучающей секции [6].

Электронный блок управления выполняется на базе высокопроизводительного микропроцессора и обеспечивает все необходимые функции для наиболее эффективной работы от автономного источника электроэнергии (солнечной батареи).

В системе предусматривается возможность синхронного включения индикации нескольких светофоров на одном перекрестке. При этом сигнал передается по радиоканалу.

Крепление мачты светофора к опоре осуществляется через фланцевое соединение, что позволяет выполнять монтаж светофора с минимальным количеством вспомогательной техники.

Структурная схема



Управление дорожным движением осуществляется двумя транспортными светодиодными светофорами и двумя пешеходными светодиодными светофорами.

Время работы светофора в «обычном» режиме – 18 часов. Время работы светофора в «ночном» режиме – 6 часов. «Ночной» режим заключается в отключении пешеходных светофоров, а транспортные светофоры переходят в режим «мигания» желтым сигналом светофора.

Энергопотребление транспортного светодиодного светофора 12 Вт. Пешеходный светодиодный светофор потребляет 8 Вт.

В течение светового дня посредством солнечной батареи электрическая энергия накапливается в аккумуляторе, который автоматически начинает подавать питание на светодиоды.

Управление дорожным движением осуществляется двумя транспортными светодиодными светофорами и двумя пешеходными светодиодными светофорами.

Время работы светофора в «обычном» режиме – 18 часов. Время работы светофора в «ночном» режиме – 6 часов. «Ночной» режим заключается в отключении пешеходных светофоров, а транспортные светофоры переходят в режим «мигания» желтым сигналом светофора.

Энергопотребление транспортного светодиодного светофора 12 Вт. Пешеходный светодиодный светофор потребляет 8 Вт.

Принцип действия «Автономного светодиодного светофора» заключается в следующем: в течение светового дня посредством солнечной батареи электрическая энергия накапливается в аккумуляторе, который автоматически начинает подавать питание на светодиоды, способные работать без новой «солнечной» подзарядки в течение нескольких суток [2].

Светодиодные светофоры гораздо эффективнее традиционных, они способны привлечь внимание водителя даже на значительном расстоянии, что позволяет участнику дорожного движения вовремя среагировать и избежать опасных ситуаций.

Технологии производства солнечной батареи позволяют осуществлять заряд батареи даже в отсутствии прямых солнечных лучей, фотоэлектрические элементы производят электричество и в пасмурную погоду, хотя и в меньших количествах за счет преобразования преломленных солнечных лучей, что гарантирует бесперебойную работу устройства в осенние и зимние месяцы, что является актуальным для многих регионов России [1].

Преимущества разработки:

- Возможность круглосуточной работы
- Возможность подключения дополнительных потребителей (освещение)
- Не требует подключения к сети
- Работа без подзарядки несколько суток
- Абсолютная герметичность
- Зарядка в пасмурную погоду
- Ударопрочная антивандальная конструкция
- Возможна установка дорожных знаков (светофоров) на горизонтальной опоре

Возможна установка рекламных плакатов на горизонтальной опоре.

Расчет мощности

Исходя из того, что данная система стоит из двух транспортных светодиодных светофоров (300мм) (потребление 12 Вт) и двух пешеходных светодиодных светофоров (200мм) (потребление 8 Вт).

Общая мощность светодиодов:

2*12+2*8 Вт = 40 Вт.

Т.к. работа светофора в течение 18 часов в «обычном» режиме, а «ночном» режиме – 6 часов.

Исходя из мощности светодиодов – 40Вт. определим необходимую ёмкость аккумулятора:

КПД инвертора: 85%;

Остаточная ёмкость аккумулятора: не менее 30%;

Требуемый запас мощности (2 суток):

(40/0,85)*18*2=1695 Вт*ч - «обычный» режим.

(16/0,85)*6*2=226 Вт*ч - «ночной» режим.

Требуемый запас мощности (2 суток) :

1695 Вт*ч+226 Вт*ч = 1921

Требуемая ёмкость аккумуляторной батареи, не менее:

1921 Вт/17В=113 А*ч.

Для обеспечения 50% запаса емкости аккумулятора, выберем аккумулятор 200 А*ч 12В, 2 шт., подключенных последовательно: 200 А*ч 24 В.

Вывод

Предложенная конструкция автономного светофора обеспечивает простоту и удобство монтажа и эксплуатации, совместимость со всеми типами светофоров и делают данную систему оптимальным решением при значительном снижении расходов на обслуживание и электроэнергию.

Список литературы

1. Юрченко А.В., Саврасов Ф.В., Юрченко В.И. Реальная стоимость энергии – от ресурсов до потребителя // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 3. – С. 43–46.
2. Аккумуляторные батареи. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт. / НИИАТ, - М., Транспорт, 1970
3. ГОСТ Р 52282-2004. ТСОДД. Светофоры дорожные. Типы и основные параметры. Общие технические требования. Методы испытаний.
4. http://www.tdmegaprom.ru/product-2237.html
5. http://sun-shines.ru/product/svetofor-t7
6. http://www.niipp.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИКИ ОГРАНИЧЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Никитин А.В.
Научный руководитель: Глазырин В.Е., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
E-mail: good_dron@inbox.ru

Многоуровневая система противоаварийной автоматики является важнейшим средством поддержания надежности и живучести ЕЭС России. Эта система локализует и предотвращает развитие аварий. Надежное функционирование ЕЭС России требует постоянной модернизации электрических сетей, систем технологического управления, в том числе внедрения современных систем релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА и ПА). На сегодняшний день большинство систем РЗА и ПА в ЕЭС России, выполнено на электромеханической и полупроводниковой элементной базе. Активно идет процесс ввода новых и модернизация действующих систем РЗА и ПА на базе цифровых устройств с использованием микропроцессорной техники.

Использование микропроцессорной техники позволяет использовать весь потенциал быстродействия, реализации различных сложных алгоритмов и точных расчетов для решения задач поддержания устойчивости энергосистем в конкретных сложившихся ситуациях.

В силу многих обстоятельств, и не в последнюю очередь из-за ограничений транспортных габаритов, изоляция линий и оборудования 500 кВ разрабатывалась в 50-х годах прошлого столетия с неполным учетом внутренних (коммутационных) перенапряжений, возможных в линиях электропередачи этих напряжений. Это потребовало разработки и применения многих мероприятий, ограничивающих перенапряжения. Имеются в виду различные разрядники и искровые промежутки, которые ограничивают переходные внутренние перенапряжения. Что касается установившихся внутренних перенапряжений, возможных длительно, то в этом отношении важны специальные меры – подключение шунтирующего реактора через последовательно включенный искровой промежуток, который затем автоматически шунтируется выключателем. Среди высоковольтного оборудования наиболее чувствительны к повышенному напряжению силовые трансформаторы и автотрансформаторы, они же и наиболее дороги.

Недостаточность мер по ограничению установившихся внутренних перенапряжений приводит к необходимости применять автоматику ограничения повышения напряжения (АОПН) для отключения источника перенапряжения. АОПН используется и для того, чтобы при опасно повышенном напряжении включить шунтирующий реактор или зашунтировать искровой промежуток, если он уже пробился.

Требования к устройствам АОПН:

1. Устройства АОПН устанавливаются на всех ЛЭП 500 кВ и выше длиной не менее 200 км с каждой стороны ЛЭП. Необходимость и места установки АОПН на ЛЭП 500 кВ меньшей длины, а также на ЛЭП 330 кВ и ниже определяется проектом. Они должны действовать при повышении напряжения выше допустимых значений с учетом допустимой длительности повышения напряжения в случаях, когда оно произошло в результате одностороннего отключения линии, отключения фазы, разрыва транзита.

2. Если на линии электропередачи возможны неполнофазные режимы, устройство АОПН должно контролировать факт повышения напряжения каждой из трёх фаз.

3. Устройства АОПН следует устанавливать с двух сторон линии и для обеспечения их взаимодействия снабжать каналами связи для обмена сигналами (командами) через устройства передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК).

4. Устройство АОПН должно фиксировать повышение действующего напряжения в соответствии с заложенной вольт-временной характеристикой и амплитудного значения напряжения.

5. Действие устройств АОПН должно быть направлено на ликвидацию или компенсацию аварийного избытка реактивной мощности включением компенсирующих устройств, отключением источников реактивной мощности, в том числе и линию электропередачи, на которой оно установлено.

6. Устройство АОПН при действии на отключение линии в случае отказа выключателя, должно обеспечивать отключение смежных выключателей посредством УРОВ АОПН с запретом АПВ всех отключаемых при этом выключателей.

7. В устройстве АОПН должна быть предусмотрена блокировка срабатывания при включении линии в работу.

8. Должна быть обеспечена блокировка действия устройства АОПН на включение шунтирующего реактора после срабатывания его защит.

9. Должны быть приняты меры для исключения излишних или ложных действий АОПН при неисправности цепей напряжения.

10. Для обеспечения селективности АОПН должна быть предусмотрена возможность использования:

— контроля реактивной и активной мощностей, протекающих по линии;

— текущего состояния выключателей линии.

Существующие алгоритмы АОПН, выполненные на микропроцессорной базе, в целом решают задачи противоаварийного управления для режимов с избытком реактивной мощности. В основном они выполняются по ступенчатому принципу, но недостаток в том, что количество ступеней ограничено (всего две) по напряжению, что соответствует типовым электромеханическим устройствам с их аппаратными ограничениями. Но это не оправдано для программируемых устройств.

Стоит задача реализации алгоритма фиксации повышения действующего напряжения в соответствии с заложенной вольт-секундной характеристикой, ограниченной двумя значениями действующего напряжения (U_1 и U_2) и времени (T_1 и T_2).

За контролируемый параметр принимается остаточный ресурс (время) до отключения линии. Если в ходе процесса величина текущего напряжения изменяется, но не ниже U_2, расчет продолжается для нового значения напряжения с учетом использованного ресурса при предыдущем значении напряжения. Предыдущие значения напряжения учитываются с помощью величины относительного остаточного ресурса по времени.

Необходимо учесть целесообразность управляющего воздействия, направленного на включение шунтирующего реактора, в зависимости от оставшегося времени до отключения линии, так как может возникнуть ситуация, когда включение реактора и отключение линии произойдет с малым интервалом времени. В этом случае коммутация выключателя реактора будет неоправданной.

Таким образом, проанализированы существующие алгоритмы АОПН, которые при двухступенчатом исполнении выходят частично за пределы вольт-секундной характеристики электрооборудования, определенной ГОСТ 1516.3-96. При интегральном (накопительном) принципе реализации вольт-секундной характеристики пускового органа разрабатываемого алгоритма АОПН будет располагаться ниже вольт-секундной характеристики и куда более точно ее повторять. Это является несомненным преимуществом предложенного алгоритма.

Список литература

1. Лысков Ю.И., Соколов Н.Н. Внутренние перенапряжения и защита от них в дальних электропередачах 500 кВ. - М.: Энергия, 1964. – 153 с.

2. Лысков Ю. И. Защита от внутренних перенапряжений электропередачи 330-750 кВ//Труды Энергосетьпроекта. - М.: Энергия, 1970. - Вып. 1. - № 168. - 84с.

3. Глускин И.З., Иофьев Б.И. Противоаварийная автоматика в энергосистемах. – М.: «Знак», 2009. – 568 с. ил.

4. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: Учебное пособие для студентов вузов. М.: Изд. МЭИ, 2000. – 199 с. ил.

5. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – СПб: Изд-во ДЕАН, 2004. – 336 с.

6. ГОСТ 1516.3-96 Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

С.В. Ротарь, Н.С. Ермоленко
Научный руководитель: Кайканов М.И., м.н.с.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: Rsv_90@mail.ru

В статье представлены результаты исследования работы импульсного сильноточного электронного ускорителя в режиме генерации электронного пучка с различными типами катодов. Источником электронов является взрывоэмиссионная плазма, образующаяся на поверхности катода в результате разогрева неоднородностей катода при повышенном токе автоэлектронной эмиссии ($j>10^6$ А/см^2). Показано, что ограничение эмиссионной способности катода при скорости нарастания импульса напряжения менее $5*10^9$кВ/с обуславливает задержку эмиссии электронного пучка. За время между началом приложения напряжения к катоду и моментом начала эмиссии амплитудное значение напряжения достигает 500 кВ, в то время как при малом времени задержки напряжение на катоде достигает значения не выше 250 кВ.

Радиационные технологии находят все большее применение во многих областях науки и техники. В частности, радиационные технологии используются в таких направлениях, как радиационная стерилизация медицинских изделий, радиационное легирование полупроводников, ионная имплантация, радиационная обработка изделий электронной техники, применение ионизирующего излучения в охране окружающей среды, радиационная обработка пищевых продуктов и т.д.

Перспективным является применение сильноточных электронных ускорителей, генерирующие пучки электронов субмикросекундной длительности и амплитудой тока до нескольких кА. [1].

В качестве источника электронного пучка в импульсных ускорителях наибольшее распространение получили взрывоэмиссионные катоды. Суть взрывной эмиссии заключается в разогреве и взрыве неоднородностей твердотельного катода при высокой плотности тока автоэлектронной эмиссии $j>10^6$ А/см^2 и напряженности электрического поля 10^8 В/см на остриях катода (шероховатости на поверхности) [2].

Исследования генерации сильноточного наносекундного электронного пучка проводились на импульсном частотном электронном ускорителе АСТРА - М. Принципиальная схема ускорителя представлена на рисунке 1.

В конструкции ускорителя отсутствуют формирующие линии. Разряд первичного емкостного накопителя происходит через трансформатор непосредственно на диод, импульс напряжения имеет квазисинусоидальную форму. В результате время нарастания напряжения- длительность фронта- составляет более 100 нс.

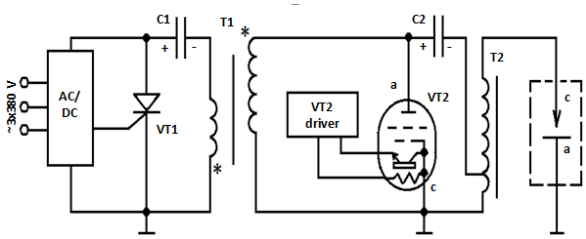


Рис. 1. Принципиальная схема ускорителя
С1- первичный емкостный накопитель; VT1 – полупроводниковый ключ; Т1 – импульсный ЗТ; С2 – высоковольтный емкостный накопитель; VT2 – псевдоискровой разрядник; Т2 – высоковольтный ИТ; с - катод; а - анод.

Импульсный наносекундный электронный ускоритель АСТРА-М имеет следующие параметры: потребляя мощность источника питания 6 кВт, ускоряющее напряжение 500 кВ, длительность импульса напряжения 300 нс, ток диода до 4 кА, максимальный выведенный ток 1 кА.

Катоды, использованные в экспериментах, имеют площадь 12 см². Измерения параметров выведенного электронного пучка производились при помощи калориметра и цилиндра Фарадея, распределение поглощенной дозы выведенного электронного пучка анализировалось посредством цветовых визуальных индикаторов дозы ЦВИД.

Первым был исследован острийный катод (чистая взрывная эмиссия), который, согласно литературным данным, целесообразно использовать при напряженности электрического поля в катод-анодном зазоре Е>50кВ/см.

При работе многоострийного катода в ускорителе АСТРА-М в начальный момент приложения напряжения происходит интенсивное плазмообразование, вследствие этого амплитудное значение напряжения достигает значения не более 200 кВ, выведенный ток не превышает 100 ампер.

Наиболее распространенным способ увеличения амплитудного значения тока и напряжения является применение металлокерамического катода, принцип действия которого - эмиссия электронов происходит в тройных точках: металл-диэлектрик-вакуум [3]. Данный тип катодов имеет повышенную эмиссионную способность при относительно небольших значениях напряженности электрического поля в вакуумном диоде, что позволяет существенно увеличить ток пучка, скорость нарастания тока. Так как эмиссия электронов начинается с задержкой, происходит уменьшение количества низкоэнергетических электронов, следовательно, улучшаются условия для работы фольги. Также имеется возможность управ-

лять эмиссионными свойствами МК–катода посредством изменения его фракционного состава (соотношения металл-керамика) [4].

В ходе экспериментов в частотном режиме было обнаружено, что наличие керамики приводит к ухудшению вакуума в диодной камере, так как его перегрев и пробои в микрозазорах приводят к разрушению материла. Частицы керамики оседают на фольге, что в свою очередь приводит к увеличению ее массовой толщины и ухудшает теплопроводность выводного окна. Ресурс катода МК-катода составляет порядка 10^6 импульсов.

Также был исследован МДМ (металл-диэлектрик-металл) катод. Принцип его действия основан на использовании эмиссии электронов из плазмы незавершенного импульсного разряда по поверхности диэлектрика в вакууме средней напряженности электрического поля <20 кВ/см, с плотностью электрического тока до 25 А/см^2. При этом данный катод обладает рядом недостатков - ограниченность числа точек эмиссии, что приводит к эрозии поджигающих электродов и диэлектрика под ними, неоднородности распределения тока электронного пучка по сечению на выходе из диодной камеры, особенно при малых расстояниях катод–анодного промежутка.

При работе на частоте (до 50 имп./с) с композитными катодами, большой проблемой является ухудшение вакуума и загрязнения фольги, так как могут происходить короткие замыкания на крышку и фольгу выводного окна вакуумной камеры, а загрязнение фольги приводят к ее нагреву и снижению энергии выведенного электронного пучка.

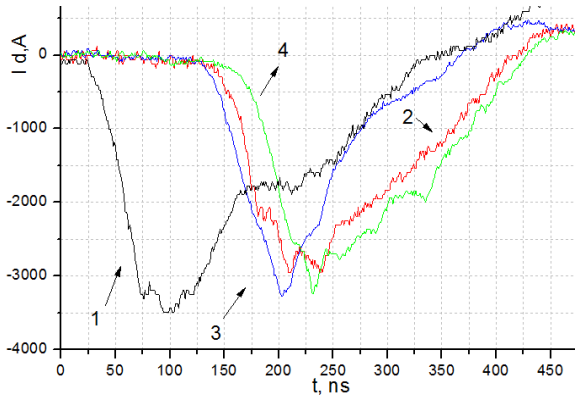


Рис. 2. Осциллограммы полного тока диода при различных катодах:1-многострийный катод; 2-МК-катод; 3-МДМ-катод; 4-лезвийный-катод

Для устранения указанных проблем был создан металлический лезвийный катод, выполненный из медных концентрических колец, закрепленных на медной подложке. В ходе экспериментов выявились следующие достоинства: высокое значение выведенного тока (до 1 кА), высокая эмиссионная способность. Простота конструкции дает возможность изменять импеданс диода, сохраняя при этом анод - катодное расстояние и площадь катода. Однако он отсекает низкоэнергетичную часть спектра пучка (в отличие от МК-катода).

Таблица 1-характеристики катодов

Тип катода	А-К зазор, мм	Выведенная энергия эл. пучка, Дж	Выведенный ток эл. пучка, А
Острийный катод	22	2	100
МДМ	24	4	500
МК	22	9	480
Лезвийный	22	8,5	475

Вывод

Многострийный катод с неограниченной эмиссионной способностью целесообразно использовать при большой скорости нарастания напряжения.

Для работы ускорителя в частотном режиме перспективным является применение лезвийного катода, поскольку отсутствие диэлектрических включений в конструкции катода позволяет производить его эффективное охлаждение при работе в режиме генерации электронного пучка. При этом лезвийный катод позволяет получать задержку эмиссии электронного пучка порядка 150 нс, таким образом, обеспечивая рост прикладываемого к диоду напряжения до амплитудного значения – 500 кВ. В случае возникновения локального перегрева катода, не происходит распыления диэлектрического материала в виду его отсутствия в конструкции катода. Распределение тока по сечению выведенного электронного пучка равномерно, что обуславливает возможность применения его в исследованиях по радиационной химии и физики.

Список литературы

1. Бугаев С.П., Литвинов Е.А., Месяц Г.А., Проскуровский Д.И. Взрывная эмиссия электронов//Успехи физических наук. – 1975.-Т.115.-№1.-С. 101-117.

2. Пушкарев А.И., Ремнев Г.Е., Пономарев Д.В. и др. Использование импульсных электронных пучков в плазмохимии// Изв. ТПУ. – 2006. – Т.309. – №2. – С. 103-108.

3. Вагнер М.И., Егоров И.С., Кайканов М.И., и д.р. Исследование характеристик планарного диода с композиционным катодом.// Изв. ТПУ.- 2011.-№11/3. – С. 80-86.

4. Котов Ю.А., Соковнин С.Ю., Балезин М.Е. Исследование характеристик металлокерамического катода// Журнал технической физики – 2003 – Т.73 - №4 – С. 124 – 128.

ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ФАЗ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА В ГИПЕРСКОРОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ

Свечканева А.А.
Научный руководитель: Сивков А.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: svechkanevaaa@mail.ru

На сегодняшний день количество исследователей занимающихся «нано» объектами неуклонно растет. Особое место занимаю магнитные материалы и их свойства. Изменяя размеры, форму, состав и строение частиц можно в определенных пределах управлять магнитными характеристиками. Нанодисперсные материалы имеют достаточно широкий спектр применений, например, ферримагнетики магнетит Fe_3O_4 и маггемит γ-Fe_2O_3 находят свое применение в таких областях, как медицина (транспортная доставка лекарств в организм человека, лечение рака с помощью гипертермии, контрастные средства для магнитно-резонансной томографии), спинтроника (так как является полуметаллом), магнитные записывающие устройства. Так же магнетит может применяться в качестве сорбента тяжелых металлов для очистки природных и сточных вод и даже от загрязнения их нефтью. В том числе магнитные фазы находят свое применение и в магнитных жидкостях [1-4].

Ультрадисперсный порошок оксида железа получен универсальным плазмодинамическим методом в гиперскоростной струе электроразрядной плазмы. Струя в замкнутом объеме камеры-реактора (КР) генерируется импульсным, сильноточным, коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) со стальными электродами (сталь3). Электропитание КМПУ осуществляется от емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) с емкостью конденсаторной батареи С = 14,4 мФ и зарядным напряжением $U_{зар}$= 4,0 кВ, показаны в работе [5]. Ствол ускорителя изготавливается из отрезка стальной трубы с диаметром цилиндрического ускорительного канала (УК) $d_{ук}$ = 15 мм и длиной $\ell_{ук}$ = 224 мм. Давление воздушной атмосферы в камере-реактора (КР) P_0 = 1,0 атм. Так же основание ствола заполнено водой массой 1 грамм. В данном опыте вода выполняла несколько функций. Выступала в качестве окислителя, являлась проводником, так же инициирование разряда происходило через нее.

Осциллограммы рабочего тока *i*(t), напряжения *U*(t), мощности *P*(t) и энергии *W*(t) на электродах ускорителя приведены на рис.1. В течении всего рабочего цикла происходит электроэрозионная наработка металла с поверхности УК. Эродированный металл поступает в плазму разряда и выносится сверхзвуковой струей, распыляясь в КР с образованием ультрадисперсных порошков (УДП) оксидов железа.

В опытных условиях вскрытие КР и отбор синтезированного продукта производится через некоторое время после полного осаждения взвешенных в воздухе частиц на стенке КР, в нашем случае примерно через 16 часов.

По полученным данным с осциллограмм максимальные параметры: ток I_m = 199 кА, напряжение U_m = 1,42 кВ, мощность P_m = 284 МВт. Подведенная энергия составила W_m = 60,6 кДж.

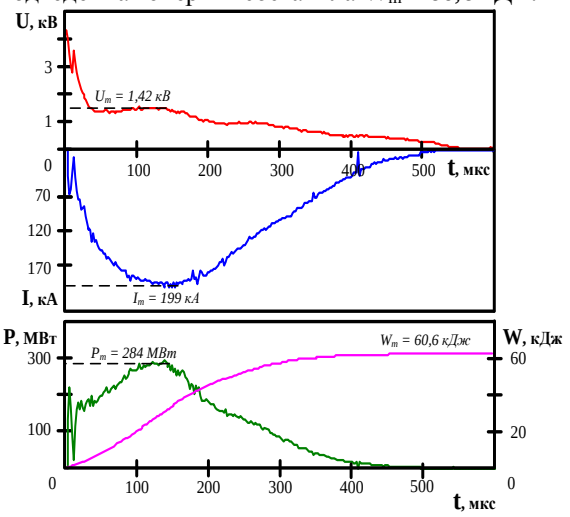


Рис. 1. Осциллограммы рабочего тока *i*(t) и напряжения *U*(t), мощности *P*(t) и энергии *W*(t) на электродах ускорителя

В экспериментальных условиях система на основе КМПУ позволяет в среднем проводить до 12 однократных выстрелов в час, обеспечивая выход УДП фракции до 65 грамм. При этом энергозатраты относительно энергии ЕНЭ не превышают 6,0 Вт·ч/г. Вполне естественно, что собранный УДП сильно агломерирован не только за счет слабых ван-дер-ваальсовых сил, но и в силу магнитного взаимодействия ферромагнитных частиц оксидов железа.

На рис.2 приведены в сравнении характерные рентгеновские дифрактограммы УДП (дифрактометр Shimadzu XRD-6000) полученных при P_0=1,0 атм. выстрелом в воздушную атмосферу (1) и с использованием 1 грамма воды, как окислителя (2).

Следует отметить, что дифрактограммы УДП практически идентичны по набору основных рефлексов, то есть качественно соответствуют гетерофазным системам с одинаковым фазовым составом. Количественный структурно-фазовый анализ дифрактограмм (оценочного характера для гетерофазных систем) проведен с помощью программы полнопрофильного анализа Powder Cell 2.4 и базы структурных данных PDF4+. Во всех случаях в расчетах наилучшие показатели сходимости достигаются при использовании структурных моделей следующих кристаллических фаз оксидов железа: магнетит Fe_3O_4 (пространственная группа SG: Fd3m); маггемит γ-Fe_2O_3 (SG:P 4_3 2_1 2); орторомбическая модификация ε-Fe_2O_3 (SG: P n a 2_1); гематит α-Fe_2O_3 (SG: R3c).

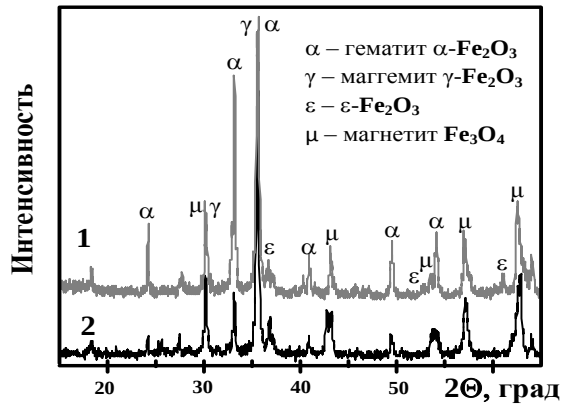


Рис. 2. Характерные дифрактограммы УДП.

В таблице 1 приведены усредненные данные полнопрофильного рентгеновского структурно-фазового анализа УДП, полученных при разных P_0. Видно, что для всех УДП имеет место сравнимое массовое соотношение четырех кристаллических фаз.

Процентное содержание масс рассчитывалось с помощью программы PowderCell2.4 и это показывает, что наличие магнитных фаз во втором случае (рис.2 кривая 2) гораздо выше, чем в первом случае (рис.2 кривая 1). Являясь дополнительным окислителем (в первую очередь это воздушная атмосфера) вода быстрее проводит окислительный процесс, и следовательно в нашем случае мы имеем значительное увеличение магнитных фаз. Размер областей когерентного рассеяния примерно одинаков в обоих случаях.

Практически равное процентное содержание масс магнетита Fe_3O_4 41,8 % и маггемита 43,2% γ-Fe_2O_3, может обуславливаться наличием у маггемита дефектной шпинелевой структуры типа магнетита.

Таблица 1. Данные рентгеновского анализа

№ кривой	Фаза	Содерж., % масс	Содерж. магнит.фаз, % масс	ОКР, нм	Средний ОКР магнит.фаз, нм
1	Fe_3O_4 MAGNETIT	11,9	28,9	34,3	33,2
	γ-Fe_2O_3 MAGHEMITE	45,5		35,9	
	ε-Fe_2O_3	29,4		29,4	
	α-Fe_2O_3 HEMATIT	13,5		74,5	
2	Fe_3O_4 MAGNETIT	41,8	32,4	46,5	52,5
	γ-Fe_2O_3 MAGHEMITE	43,2		34,1	
	ε-Fe_2O_3	12,3		76,9	
	α-Fe_2O_3 HEMATIT	2,7		53,3	

В отличие от стабильных фаз магнетита, маггемита и гематита, широко распространенных в природе и легко синтезируемых как в крупнокристаллическом, так и в наноразмерном состоянии, орторомбическая модификация ε-Fe_2O_3 метастабильна. К настоящему времени эта фаза получена только с помощью золь-гель технологии и стабилизируется лишь в наноразмерном состоянии. Однако интерес к этому соединению, особенно в последние 5-10 лет, постоянно возрастает в связи с уникальными магнитными свойствами: коэрцитивная сила не менее 2 Тс, эффективное поле магнитной анизотропии около 6 Тс, значительное магнитоэлектрическое взаимодействие. Этими обстоятельствами обусловлены большие перспективы практического использования ε-Fe_2O_3[6].

Высокодисперсный материал, получаемый при истечении плазменной струи в воздушную атмосферу с наличием в основании ствола воды при нормальном давлении, обладает более высокими магнитными свойствами благодаря большому содержанию магнетита, маггемита и ε-Fe_2O_3 со средними размерами частиц до ~50 нм, чем материал, получаемый только в воздушной атмосфере при таком же давлении. Образование и сохранение значительного количества метастабильной в обычных условиях орторомбической модификации ε-Fe_2O_3 оксида железа является уникальной особенностью порошков плазмодинамического синтеза, открывающей широкие возможности практического использования.

Приведенные поисковые исследования показали возможность синтеза порошков оксида железа универсальным плазмодинамическим методом с низкими энергетическими затратами и относительно высокой производительностью.

Список литературы

1. Губин С.П., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б., Юрков Г.Ю. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства// Успехи химии-2005-74(6), С. 539-574.

2. Осипов В.В., Платонов В.В., Уймин М.А., Подкин А.В. Лазерный синтез нанопорошков магнитных оксидов железа// Журнал технической физики -2012- т. 82, вып.4, С. 123-129.

3. А.А.Лютоев, Ю.Г.Смирнов Моделирование поведения магнитных наночастиц в жидкой среде с целью разработки технологии очистки загрязненных нефтью сточных вод// Информационные технологии в управлении и экономике – 2012 - №2 - Ухта, УГТУ.

4. Байбуртский Ф.С. Магнитные жидкости: Способы получения и области применения (Magneticliquid.narod.ru).

5. Сивков А.А., Найден Е.П., Герасимов Д.Ю. Прямой динамический синтез нанодисперсного нитрида титана в высокоскоростной импульсной струе электроэрозионной плазмы// Сверхтвердые материалы -2008-№5(175), с.33-39

6. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии// М.: ФИЗМАЛИТ. – 2009.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СЕРИИ КОНТРОЛЛЕРОВ WOODWARD EASYGEN ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Суворов А.А.
Научный руководитель: Прутик А.Ф., ст. преподаватель
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lejkaSvr@yandex.ru

Энергетическая система представляет собой сложную многозвенную техническую систему, предназначенную для производства, распределения и потребления электроэнергии. Процессы, происходящие в энергосистеме, отличаются быстротой, взаимосвязанностью, единством процессов производства, распределения и потребления электроэнергии. Управление ими без применения специальных технических средств, называемых средствами автоматического управления, в большинстве случаев оказывается невозможным. Управление энергосистемой при нарушении её нормальных режимов тесно связано с работой релейной защиты [1]. Основным современным направлением развития устройств релейной защиты является релейная защита на базе микропроцессорных устройств. Помимо основной функции — аварийного отключения энергетических систем, терминалы имеют дополнительные функции по сравнению с устройствами релейной защиты других типов, например электромеханическими реле, по регистрации аварийных ситуаций [2].

Одним из лидеров по производству устройств релейной защиты является американская фирма Woodward. Компания Woodward на протяжении многих лет является независимым производителем и поставщиком оборудования для энергетики США и ряда других стран, а также аэрокосмической промышленности США. Устройства защиты, выпускаемые фирмой Woodward, осуществляют контроль в системах защиты для каждого типа производства и распределение электроэнергии, от самых простейших до наиболее сложных систем. Одним из наиболее быстро развивающихся направлений компании являются производство контроллеров серии easYgen. Продукт easYgen – это устройство с набором функций для контроля и защиты генераторных установок, возможности которого позволяют использовать его для решения широкого спектра задач, связанных с генерацией электроэнергии, а именно от автономных аварийных генераторов до синхронного параллельного подключения до 32 генераторных установок. К стандартным областям применения относятся резервное питание в аварийных ситуациях, когенерация, использование в судовых/береговых системах, в качестве автономного основного источника питания или в ситуациях с параллельной нагрузкой со снятием пиков нагрузки и контролем импорта/экспорта мощности. В тоже время контроллеры easYgen способствуют сокращению выбросов CO_2 благодаря объединению выработки тепла и электроэнергии на электростанциях, работающих на природном газе и биотопливе [3].

Прежде всего, устройство easYgen может выполнять полную защиту генератора и двигателя, а также мониторинг основного источника питания. Более подробный перечень защит, которые были исследованы, приведен в таблице 1.

Таблица 1. Перечень защит easYgen

Защита генератора	• защита от понижения/повышения напряжения/частоты; • защита от перегрузок, реверсивной/минимальной нагрузки; • максимальная токовая защита от замыканий между фазами; • защита от замыканий на землю; • защита по коэффициенту мощности; • обнаружение обратного чередования фаз
Защита двигателя	• защита от повышения/понижения оборотов двигателя • защита при потере возбуждения
Защита сети	• защита от понижения/повышения напряжения/частоты • обнаружение обратного чередования фаз

Терминал easYgen был протестирован с помощью специальной испытательной системы «релетомограф», которая разработана для проверки устройств релейной защиты и автоматики фирмой «Динамика» (г. Чебоксары). Испытание терминала проводилось с помощью «РЕТОМ-41М», представляющим собой компьютерный испытательный комплекс для проверки сложных устройств релейной защиты и автоматики, использующим операционную систему MS DOS. В частности был проведен анализ одноуровневого контроля асимметрии напряжения генератора, который осуществляется через терминал easYgen. С помощью двух испытательных комплексов моделировался ассиметричный сигнал по напряжению, затем сигнал подавался на вход терминала easYgen. В результате была получена характеристика контроля включения генератора при асимметрии напряжения. Характеристика изображена на рисунке 1.

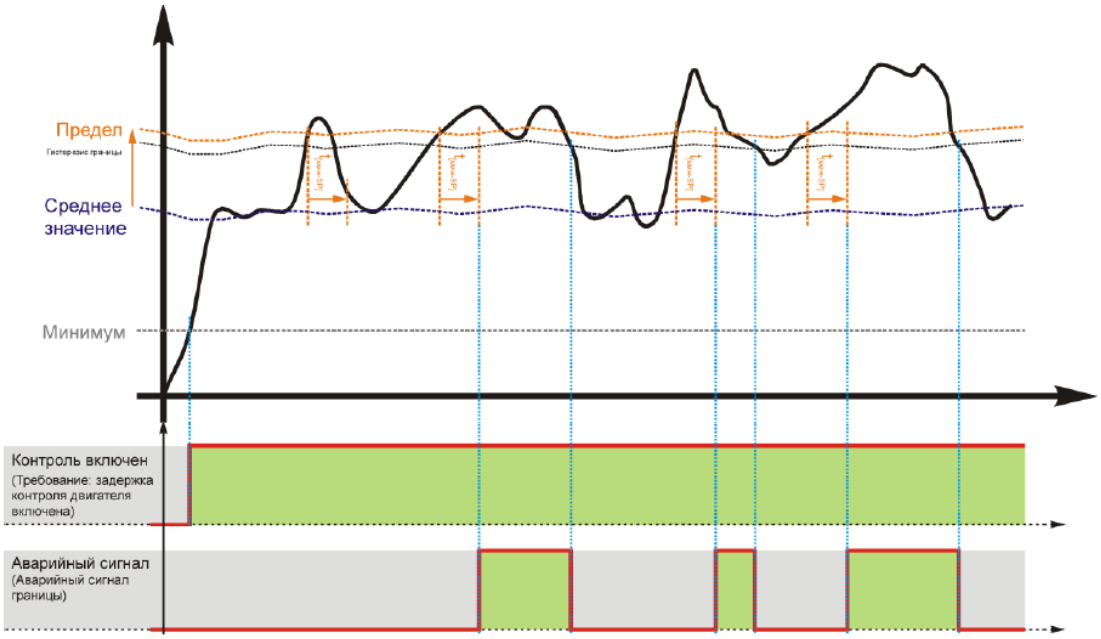


Рис.1. Характеристика включения – одноуровневый контроль асимметрии напряжения

Дополнительно устройства серии easYgen исследовалось при совместной работе с системой LS-5. LS-5 - это компактное устройство контроля и защиты выключателя с функцией синхронизации и плавной нагрузкой, предназначено для использования с устройствами серии easYgen. Схема совместного применения LS-5 и easYgen изображена на рисунке 2. В ходе исследования проводился анализ синхронизации выключателя посредством совместной работы панели LS-5 с панелью управления агрегатам easYgen. Терминалы использовали для обмена информацией общую шину (can bus).

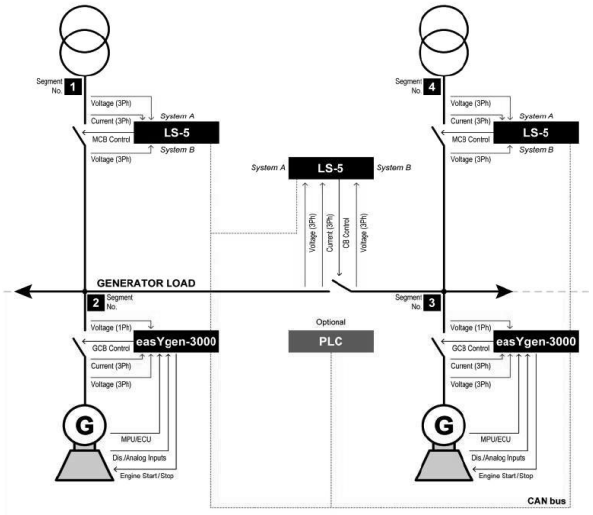


Рис.2. Схема применения панели LS-5 совместно с easYgen

Панель LS-5 измеряла 3-х фазное напряжение и частоту с каждой стороны выключателя. Разница между значениями принималась за уставку и сообщалась через общую шину панели управления easYgen. Таким образом, совместная работа двух панелей позволяет провести точную синхронизацию.

В заключение отметим, что контроллер управления генераторными агрегатами серии easYgen является универсальной системой по защите и автоматике генераторных установок. Один блок easYgen совместно с системой защиты выключателей LS-5 может выполнять полную защиту генераторных установок различной мощности, что существенно упрощает установку большого количества блоков защиты для агрегата и делает более легкой автоматизацию всего производства. Также при увеличении количества электроэнергии производимой посредством альтернативных источников энергии, например солнца или ветра, установка продуктов компании Woodward является перспективным, так как в случаи сокращения использования ископаемых видов топлива, защиты easYgen приспособлена для работы в условиях распределённой генерации энергии.

Список литература

1. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Издательство МЭИ, 2000 г. – 101 с.

2. Белоусов И.В., Шварц Г.Р., Великий С.Н. Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике нефтегазовой промышленности. Издательство Недра, 2007г. – 297 с.

3. EasYgen панели управления генераторными установками. Руководство – 114 с.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РАЗВИТИЯ УСТРОЙСТВ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Суховеев Н.О., Иванов А.В., Федоров А.В.
Научный руководитель: Семенов С.М., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ivning_77@mail.ru

Светодиодное освещение городских улиц и автомагистралей - реальность современного мира энергосберегающих технологий. Светодиодные светильники появились в России сравнительно недавно, а в таких странах как Япония, Китай, США и некоторых странах Европы данный вид освещения используется продолжительное время. Установленные на опоры освещения различной высоты, светодиодные светильники используются в этих странах для освещения автомобильных дорог за пределами городов. Менее мощные светодиодные уличные светильники использу ются и для освещения улиц, дворовых территорий и проезжей части в самих городах. [1]

Выгодность использования светодиодных светильников для освещения улиц, заключается в экономии электроэнергии, а также в экономии на обслуживании светильников. Светодиодные светильники или лампы, использующиеся в светильниках для уличного освещения, имеют срок службы до 100000 часов. Обычные металлогалогенные лампы или ДРЛ, которые устанавливают в уличные светильники, служат в сотни раз меньше, чем светодиодные. К тому же для замены исчерпавшей свой ресурс лампы необходимо наличие специального оборудования и специалистов (имеется в виду подъемная вышка и бригада электриков). Поэтому светодиодные светильники позволяют сэкономить на этой операции.

С началом промышленного производства последовательно встали вопросы совершенствования светодиодных разработок. Исследования коснулись и внутреннего квантового выхода излучения в активном слое, и методов вывода излучения из кристалла. Решались и продолжают решаться задачи увеличения тока через один диод и уменьшения нагрева диодов, чтобы получить от одной светодиодной лампочки возможно больший световой поток. Рекордные значения коэффициента полезного действия - преобразования электрической энергии в световую энергию - достигли в научных лабораториях 60%.

К еще одной задаче относится получение при помощи светодиодов белого света, воспринимаемого человеческим глазом. Восприятие света характеризуется световой отдачей, измеряемой в люменах (единицах светового потока) на ватт электрической мощности. Лампы накаливания имеют световую отдачу около 18 лм/Вт. Светодиоды белого свечения в промышленности на данный момент достигли значений порядка 80 лм/Вт, т.е. уровня экономичных люминесцентных ламп. В научных лабораториях получены значения световой отдачи до 150 лм/Вт. Когда эти значения будут достигнуты в массовом производстве, белые светодиоды вытеснят обычные лампы.

Проблема повышения энергоэффективности экономики появилась при увеличении электроприемников и цен на электроэнергию. В связи с этим появился и вступил в силу Федеральный закон №261 «О повышении энергетической эффективности». В нем говорится о необходимости повешения энергоэффективности страны к 2020 году на 40% за счет снижения всех возможных потерь в энергетике, в том числе следует оптимизировать энергосбережение в системах освещения при помощи полномасштабного внедрения инновационных технологий и решений. В первую очередь, закон ограничивает оборот и использование источников света, которые характеризуются низкой эффективностью. Имеются в виду лампы накаливания, массово использующиеся в настоящее время для освещения мест общего пользования в ЖКХ (лестничные площадки, коридоры, лифтовые и т.п.). Помимо ламп накаливания, закон затрагивает и газоразрядные лампы типа ДРЛ, которые характеризуются большим содержанием ртути и широко применяются в освещении внутриквартальных территорий. [2]

Для наглядности, рассмотрим пример расчета, показывающий энергоэффективность уличного светодиодного освещения в сравнении с ртутной газоразрядной лампой (ДРЛ). Для начала, возьмем две одинаковые лампы по выдаваемой освещенности (Люксы) и выведем сравнительную таблицу 1 для этих ламп [3]:

Таблица 1

Функциональность	Уличная светодиодная лампа с цоколем Е40 (аналог ДРЛ-250)	Светильник РКУ с лампой ДРЛ-250
Освещённость в Люксах (Лк)	20	18 - 20
Мощность (Вт)	30	250
КПД (%)	Не менее 96%	30-50%
Срок службы непрерывной работы (часы)	100.000	до 1.000
Цена (руб.)	3000	150

На основании таблицы 1 можно произвести расчет, показывающий эффективность светодиодных ламп.

Расчетная стоимость эксплуатации лампы ДРЛ-250 в год:

Сравнительное время свечения светильников в Сибирском регионе в среднем 12 часов в сутки. Стоимость электроэнергии для ЖКХ в среднем 2руб.60 коп. за кВт*ч.

Потребляемая электроэнергия ДРЛ-250 равна 250 Вт.

Стоимость лампы ДРЛ равна 150руб. (в год в среднем требуется замена 3-х ламп - сведения получены ФГУП Электросеть, Интернет), тогда

$$150 \cdot 3 = 750 \text{ руб.}$$

Каждая лампа подлежит специальной утилизации. Среднерыночная стоимость утилизации одной лампы ДРЛ - 15руб.:

$$15 \cdot 3 = 45 \text{ руб.}$$

Обслуживание одного светильника в год:

$$750 + 45 = 795 \text{ руб.}$$

Потребляемая электроэнергия в год светильником РКУ с лампой ДРЛ составит:

$$0{,}25\text{кВт} \cdot 12\text{ч/сутки} \cdot 365\text{дней} \cdot 2{,}6\text{руб.} = 2847\text{руб.}$$

ИТОГО суммарные годовые затраты:

$$795 + 2847 = 3642 \text{ руб.}$$

Расчетная стоимость эксплуатации светодиодной лампы в год:

Потребляемая электроэнергия данной лампы равна 0,03кВт

Замена ламп не требуется.

Производим аналогичный вышеприведенному расчет:

$$0{,}03\text{ кВт/ч} \cdot 12\text{ ч/сутки} \cdot 365\text{ дней} \cdot 2{,}6\text{ руб.} = 341\text{ руб.}$$

Как указывает изготовитель - срок службы составляет 100000 часов непрерывной работы лампы, т.е. это $12\text{ ч/сутки} \cdot 365\text{ дней} = 4380$ часов работы в год, отсюда $100000/4380 = 22$ года работы светодиодной лампы.

В рассмотренном выше расчете видны следующие экономические преимущества светодиодной лампы: срок ее окупаемости составляет один год и в последующие уменьшает общие затраты на освещение больше чем в 10 раз в год, а с учетом постоянного роста цен на электроэнергию полезный эффект от неё будет только усиливаться.

Однако есть и другие преимущества, например, в сравнении от ламп ДРЛ, светодиодные лампы безопасны в использовании и не загрязняют окружающую среду.

В отличие от традиционных источников света, освещение при помощи светодиодов, имеет ряд преимуществ:

- Экономия на электроэнергии и обслуживании.
- Ввод новых мощностей не требуется, т.к. энергопотребление светодиодных ламп меньше.
- Снижаются потери на проводах линий питания светильников. Потребляемый лампами ДРЛ ток составляет 2,1-2,2А (пусковой ток 4,5А), потребляемый ток предлагаемого светильника со светодиодами составляет 0,32А. Т.о., рассеиваемая на проводах питания мощность уменьшается в 6,5 раз.
- Сокращается штат и материальная база обслуживающего персонала.
- Увеличивается интервал между обслуживаниями или обслуживание полностью исключается.
- Отсутствие стробоскопического эффекта.
- Улучшается цветопередача или увеличивается коэффициент цветопередачи.
- При введении в эксплуатацию новых сетей освещения проявляются дополнительные возможности экономии:
  - уменьшается сечение и стоимость питающих кабелей;
  - снижается количество и стоимость трансформаторных подстанций;
  - происходит уменьшение затрат на выделение и согласование мощностей.[4]

В заключение важно отметить, что светодиодные приборы освещения уже давно перестали быть лишь разработками изобретателей одиночек, а стали реальными испытанными технологиями. Светодиоды отличаются от традиционных ламп эффективным расходом электроэнергии и простоте конструкции, а так же широко применяются в светильниках, прожекторах, светодиодных лентах, декоративной светотехнике и особенно в компактных осветительных приборах — ручных фонариках.

Стоимость светодиодных светильников выше, чем стоимость обычных приборов освещения, но они окупают себя уже, примерно, после одного года использования.

Список литературы

1. Семенов Б. Ю. Экономичное освещение для всех.
2. Александр Богданов. Светодиодное освещение для современного ЖКХ России// Журнал «Полупроводниковая светотехника».- 2011.-№ 4.
3. http://selektrod.ru.
4. http://www.new-light.ru/stati/svetodiodnie-svetilniki-i-ich-preimuschestva.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МИНИГЭС ДЛЯ СТОКОВ НАСОСНО ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ СТАНЦИИ ГОРВОДОКАНАЛА Г.НОВОСИБИРСКА

Тимошенко Е.Н.
Научный руководитель: Жданович А.А., к.т.н., старший преподаватель
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр.К.Маркса,20
E-mail: vnd08@ngs.ru

Технико-экономический потенциал малой гидроэнергетики в России определен в размере 60 млрд. кВтч в год. Но используется этот потенциал крайне слабо: всего на 1%. В 1950-60-х годах на территории СССР действовало несколько тысяч МГЭС. Сейчас - всего лишь несколько сотен - сказались результаты перекосов в ценовой политике и недостаточное внимание к совершенствованию конструкций оборудования, к применению более совершенных материалов и технологий.[1]

Одним из главных преимуществ малых гидроэлектростанций (МГЭС) эксперты называют общественное отношение к подобным проектам. Такие станции наносят экологии гораздо меньше вреда, чем большие ГЭС, также МГЭС благоприятно влияют на региональное развитие и стимулирование бизнеса за счет рынка малой гидроэнергетики.[2]

Энергоэкологической нишей для малых ГЭС может стать водоснабжение промышленности: установка на участках трассы с большой разницей отметок поверхности, вместо шахтных сопряжений, промышленные и канализационные сбросы, перепады высот питьевых трубопроводов, систем водоподготовки и других трубопроводов, предназначенных для перекачки различных видов жидких продуктов и других сооружений могут быть построены микро-ГЭС. Как следует из формулы расчёта мощности агрегата:

$$N_т=9.81*Q_тH_т\eta_т$$

где $Q_т$ — расход воды через гидротурбину, $м^3/с$; $H_т$ — напор турбины, м; $\eta_т$ — коэффициент полезного действия (КПД) турбины,
при расходах воды в пределах от 5 до 100 л/с их мощность может достигать от 20 до 200 кВт [3,4].

Примером таких водотоков является сброс воды с НФС-7 Горводоканала г.Новосибирска. Сброс в р.Иня ведётся через два водослива расположенных на расстоянии 100м друг от друга (рис. 1 и рис. 2): каждая труба диаметром около метра даже при заполнении на половину будет иметь расход 1-1,5$м^3$ и при использовании высоты над уровнем воды 3,5м позволит получить теоретические показатели в 19,5кВт на каждую трубу, не используя высоту над уровнем водной глади р. Иня, если опустить турбину до уровня р. Иня, увеличится стоимость станции, но мы получим показатели в 54кВт на каждую трубу (имеющиеся данные по расходам получены из Департамента природные ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области и подтверждены натурными испытаниями). По проекту установка агрегата осуществляется в колодец, смонтированный непосредственно у уреза воды, с целью полного использования располагаемого напора. Сводятся трубы рядом, ставятся два гидроагрегата по 50 кВт с пропеллерным рабочим колесом и условно «зеленая» электроэнергия пошла к потенциальному потребителю - строящемуся коттеджному поселку «Заречный», который расположен в километре от предполагаемого места установки ГЭС. [5]



Рис.1 Водосброс в р.Иня



Рис.2 Водосброс в р.Иня

Аналогичная миниГЭС уже запущена и благополучно действует в г. Ульяновск. Ульяновская миниГЭС принадлежит и эксплуатируется ЗАО «Прометей» с 2006г. Ульяновская миниГЭС, также как и проектируемая, установлена на стоках горводоканала г. Ульяновска с одним исключением – не было необходимости установки станции у уреза воды, благодаря располагаемому напору. В случае с проектируемой миниГЭС, возможности поставить станцию не используя напор 3м над

уровнем р.Иня не целесообразно. Потому возник ряд строительных вопросов: так как, установка колодца ГЭС планируется в русло реки, во время паводка в р.Иня уровень поднимается до 3м и колодец будет частично подтоплен, отсюда: необходим расчёт прочности, фильтрации через бетонные стены и основание колодца, расчёт берегоукрепления, расчёт размытия подошвы основания колодца, расчёт по сейсмоустойчивости (рис.3).

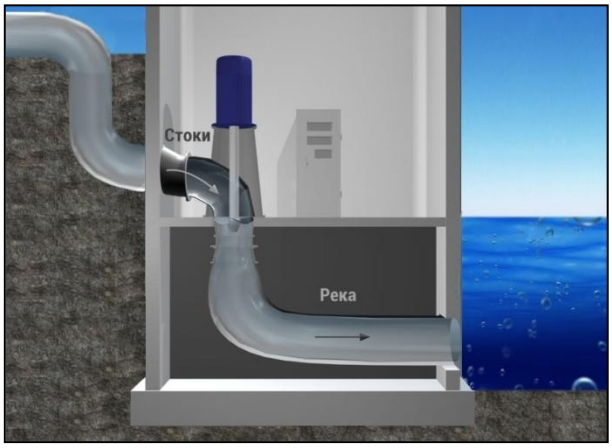


Рис.3 Разрез береговой линии

Сейчас ведётся оценка оптимальной мощности агрегатов, основные критерии: срок окупаемости и пиковые расходы. Необходим расчёт пропуска холостых сбросов, его прикладная часть – как именно реализовать отвод лишней воды. Актуальным остаётся вопрос с поставщиком оборудования: МНПО «ИНСЕТ» г. Санкт-Петербург имеет большой опыт в реализации проектов малой гидроэнергетики, но предлагаемые цены завышены, потому возможно привлечение китайских поставщиков – они предлагают цены, в среднем, в полтора раза ниже. Итогом вышеперечисленных расчётов станет готовый проект строительства мини-ГЭС, который будет представлен для оценки в Горводоканал.

Использование зелёной энергии небольших водотоков является одним из наиболее эффективных направлений развития возобновляемых источников энергии в нашей стране. Потенциал возобновляемых источников энергии, посредством миниГЭС, должен развиваться в городах, в г.Новосибирск, мест, аналогичных рассматриваемому, более десятка. Сейчас ведется разработка самого сложного объекта с точки зрения строительства. Предлагаемый проект должен стать образцом для получения опыта строительства и эксплуатации подобных объектов.

Список литературы

1. ЭКОТОК. Экологические технологии. http://www.ecotoc.ru/alternative_energy/gidroenergetik/d68/

2. Использование возобновляемых и нетрадиционных источников энергии // ЭСКО. – 2005. – № 11. http://esco-ecosys.narod.ru/ 2005_11/ art07_8.htm

3. Патент Белашова Алексея Николаевича «Бесплотинная Гидроэлектростанция Белашова» http://bd.patent.su/2382000-2382999/pat/servl/servlet3bb6.html

4. Cleandex. Информационно-аналитическое агентство

5. Сведения о водопользователе МУП г.Новосибирска «Горводоканал», предоставленные Департаментом природных ресурсов и окружающей среды Новосибирской области.

6. ИНСЭТ. Проектирование, серийное изготовление и монтаж мини ГЭС и микро ГЭС http://inset.ru/r/index.htm

7. Энергосберегающий объект. УМУП «Ульяновскводоканал»

ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ НИВИЭ В НОВОСИБИРСКЕ

В.Н.Федан
Научный руководитель: к.т.н., доцент С.Н. Удалов
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск
E-mail: fedan.vladimir@gmail.com

Проблема возобновляемых и нетрадиционных источников энергии (НиВИЭ) актуальна, начиная с 1973 года. Со времен первого экономического кризиса и нефтяного эмбарго этот вопрос получил самое широкое распространение. И если раньше, в энергетической политике России, внимание к НиВИЭ нивелировалось огромными запасами углеводородов, то современные тенденции экономии, энергоэффективности и популяризации “зеленой” энергии, дают новый импульс в их развитии.

Так, в указе Минэнерго о перспективах и стратегии развития ТЭК РФ до 2020 года, целевым ориентиром указывается увеличение объема производства электрической энергии с использованием НиВИЭ (без учета ГЭС установленной мощностью более 25 МВт) с 0.5% до 4.5%. Для сравнения, в Швеции, на данный момент, доля “зеленой” энергии составляет 47%, в ФРГ 20%, в США 12%. По оценкам, технический потенциал НиВИЭ России составляет 4.6 млрд. т.у.т. в год, а экономический потенциал определен в 270 млн. т.у.т. в год, что более 25% от годового внутреннего потребления энергоресурсов в стране.

Но не стоит забывать и о том, что 22 августа 2012 Россия официально вступила в ВТО, а значит цены на углеводороды для внутреннего рынка и, как следствие, на кВт/ч будут только расти. Следовательно, и рентабельность НиВИЭ будет неуклонно повышаться.

К сожалению, большая часть нашего общества находится во власти предубеждений и клише от-

носительно НиВИЭ. В целях поднятия авторитета и развития специальности предлагается: разместить на крыше 6го корпуса НГТУ ветроэнергетическую установку. На базе этой установки можно создать техническую базу для проведения лабораторных работ по курсу “Проектирование и эксплуатация установок НиВИЭ”. Улучшив оснащенность кафедры СЭСП, можно обучать студентов на реальном оборудовании. В настоящее время лабораторные работы проходят на минимодели, а ветер генерируется бытовым вентилятором.

ВЭУ будет установлена на 6-ом корпусе НГТУ. Выбор 6-го корпуса обусловлен его доминирующим высотным положением и благоприятной, плоской, конструкцией крыши. На рисунке 1 красным маркером обозначено место установки ВЭУ.



Рис.1. 6-ой Корпус НГТУ.

Кабель, по которому на кафедру будет поступать электроэнергия, будет протянут с крыши шестого корпуса. Экономически более целесообразно использовать ВЭУ китайского производства, с заказом ее напрямую из Китая. Это обойдется в 3-4 раза дешевле, чем покупка ВЭУ аналогичной мощности западного производства в Новосибирске. Выбираем ВЭУ на базе генератора переменного тока с номинальным напряжением 12В, мощностью 1КВт. Поставляется вместе с контроллером заряда.

В качестве DC нагрузки предлагается использовать блок светодиодных прожекторов зеленого света, символизирующих “чистую” энергию, для освещения ВЭУ в ночное время.

ВЭУ будет установлена на металлическом шесте диаметром 50мм и высотой до 10м, для придания устойчивости будут использованы 3 тросовые растяжки. Установка будет проходить при содействии ООО “Солнечная Энергия”.

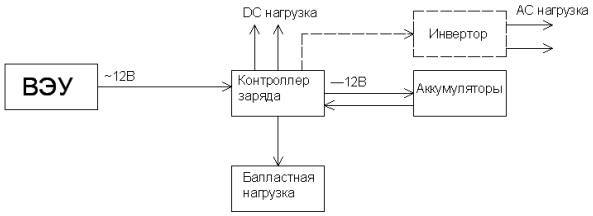


Рис.2. Схема ветроэнергетической системы



Рис.3. Фото ветроэнергетической установки

Ни одно направление современной энергетики не развивается так быстро как сектор ветроэнергетики. Ежегодно он растет на 25%. Суть всех исследований сводится к одному: технологии НиВИЭ находятся на пороге экономического прорыва. Данный проект будет поспособствовать развитию специальности в целом.

Список литературы

1. Каталоги ВЭУ: [Электронный ресурс]. URL: http://www.globalsources.com/.(Дата обращения 18.11.2012).

2. Перспективы и стратегические инициативы развития топливно-энергетического комплекса: : [Электронный ресурс]. URL: http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostrategy/ch_6.php (Дата обращения 18.11.2012).

3. Перспективы развития возобновляемых источников энергии и энергоэффективности в России: [Электронный ресурс]. URL: http://www.rusrec.ru/ru/node/1601. (Дата обращения 18.11.2012).

ОЦЕНКА СВЕТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ С ПОЗИЦИЙ ЭКОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ (на примере центральной части г. Томска)

Толкачева К.П.
Научный руководитель: Никитин В.Д., доцент
Томский политехнический университет, 634034, Россия, г.Томск, пр.Ленина,30
E-mail: tkp@tpu.ru

Световое загрязнение (СЗ), являясь побочным эффектом индустриальной цивилизации, как и другие формы загрязнения (воздуха, воды, шумовое), наносит вред окружающей среде. Актуальность проблемы СЗ городской среды нарастает ввиду: роста числа и мощности функциональных уличных ОУ, установок освещения архитектурного, рекламного, иллюминационного и др.; увеличения числа и освещенности открытых стадионов, спортивных площадок, зон рекреации и др.

Рассмотрим засветку небосвода потоками, падающими непосредственно от СП [1]. В качестве объекта проанализируем ОУ с Шм, созданную в конце 2011 г. на пр. Ленина в Томске (рис.1, а, б; линейные и угловые размеры – условны; Photo на рис.4, а – с точки Ph на рис.1,А). Исходные данные (тонированы) и формулы для расчета приведены в табл.1.

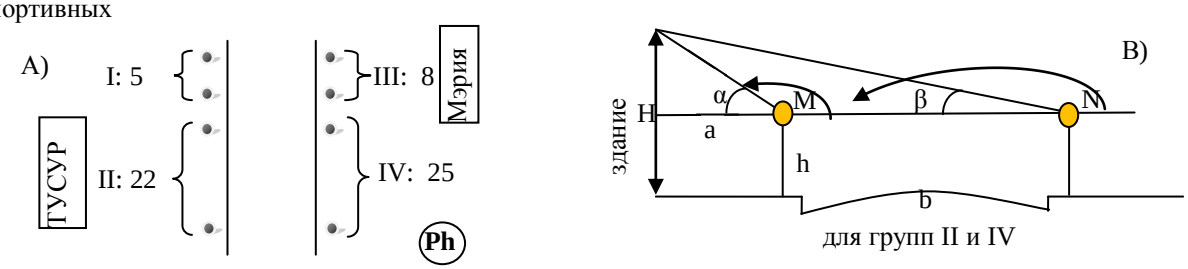


Рис.1. ОУ, конструктивно совмещенная с дорожным ограждением:
А) план размещения 60 светильников Шм (группы I÷IV) вдоль бордюрных линий; В) положение относительно здания ТУСУРа (после инверсии – здания Мэрии) ближнего СП в т.М, дальнего – в т.N.

Таблица 1. Расчет прямой засветки небосвода $\Phi_{пр}=\Phi_{пр}(\eta_i, a, b, H, h...)$

Шары молочного стекла ($\eta_{\frown}$=0,39, $\eta_{\smile}$=0,28 по [1], учтено фактическое положение прибора куполом *вверх*), диаметр d=40 см, с лампой ДНаТ P=125 Вт, Φ=6клм, укреплены на торшерах h=3м. Шм – источник равномерный (изотропный); прямое СЗ от СП группы II определяется формулой (2), где H – высота здания, a – ширина тротуара (для групп II и III); СП группы IV и I отстоят от стены здания (ТУСУРа и Мэрии) на существенно большую величину, $b \gg a$, и верна формула (1).

Группа СП	Число n	Значение светового потока от одного прибора (номера формул)
I(IV)\\II (III)	5(25)\\22(8)	$\Phi\cdot\eta_{\frown}\left\{1-\pi^{-1}arctg\left[b^{-1}\cdot(H-h)\right]\right\}$ \\\ $\Phi\cdot\eta_{\frown}\left\{1-\pi^{-1}arctg\left[a^{-1}\cdot(H-h)\right]\right\}$ (1\\2)

Произведя упрощения (опущены), получим "поток в небо" от групп

$$II+IV:\ \Phi_{пр}=\Phi\cdot\frac{0,39}{\pi}\cdot(\eta_{II}+\eta_{IV})\cdot\left\{2\pi-arctg\left[(b_{IV}+a_{II})\cdot\left(a_{II}\cdot b_{IV}\cdot(H-h)^{-1}-H+h\right)^{-1}\right]\right\}, \quad (3)$$

$$I+III:\ \Phi_{пр}=\Phi\cdot\frac{0,39}{\pi}\cdot(\eta_{I}+\eta_{III})\cdot\left\{2\pi-arctg\left[(b_{I}+a_{III})\left(a_{III}\cdot b_{I}\cdot(H-h)^{-1}-H+h\right)^{-1}\right\}\cdot \quad (4)$$

Обобщая, получим $$\Phi_{пр}\approx\sum_{i=1}^{4}\eta_i\cdot 0,39\Phi\cdot\left\{2-\pi^{-1}arctg\left[(b_N+a_M)\cdot\left(a_M\cdot b_N\cdot(H-h)^{-1}-H+h\right)^{-1}\right]\right\}\cdot \quad (5)$$

Полагая несущественными отличия в геометрии тротуаров (т.е. приняв $a_{III}\sim a_{II}$, $b_I\sim b_{IV}$), и учитывая, что группы I и III составляют только ~20% от общего числа СП, окончательно получим, что прямой поток на небосвод (*arctg* – в радианах; выражение в двойных квадратных скобках – безразмерное)

$$\Phi_{пр}\approx\Phi\left(\sum_{i=I}^{IV}\eta_i\right)\left[\left[0.78-0.12\cdot arctg\left\{(b_{IV}+a_{II})\cdot(H-h)\cdot\left[a_{II}\cdot b_{IV}-(H-h)^2\right]^{-1}\right\}\right]\right]\cdot \quad (6)$$

На пл. Новособорной прямую засветку небосвода создают (полу)прозрачные Шары с лампами ДРЛ, в Губернаторском квартале – многочисленные Шм (1 СП на торшере), в "горловине" пр.Ленина – Шм по четыре на торшере (образуют почти правильный тетраэдр; Photo на рис.4, а).

Аналитика достаточно подробно изложена в [2] и сводится к определению (широко используемых в теплотехнических исследованиях) угловых коэффициентов излучения (УКИ) φ; в [2] дается решение, при котором φ находится по четырем обратным тригонометрическим функциям – вместо 8 у Feingold-Gupta [2]. Сейчас удалось получить значение φ=φ (M,Q) как функцию только двух углов (что упрощает, ускоряет расчеты, способствуя повышению точности).

Поток, падающий на стены зданий в полости С (выше центра СП на рис. 2, 3), $\Phi_c = \Phi_{\cap} \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=1}^{2} \varphi_{ij}$, $(\Phi_c = \Phi_{\cap} - \Phi_{wl})$.

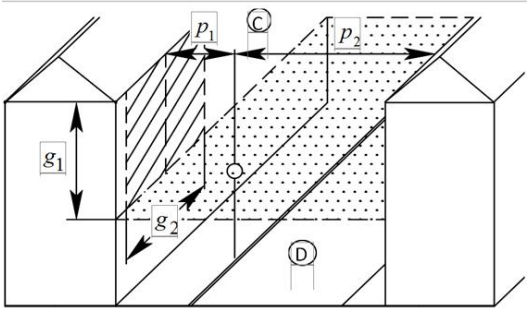


Рис.2. К определению потоков, отраженных от стен и окон зданий (заштрихована часть зоны "ответственности" СП)

СЗ с позиций энергетики (табл. 2) предлагаем оценивать по доле бесполезных световых потоков (в генерируемом) и соответствующей им электрической мощности (однозначной зависимости СЗ от мощности, как это часто полагают, при η_v=var нет: $\Phi = P_л \cdot \eta_v$).

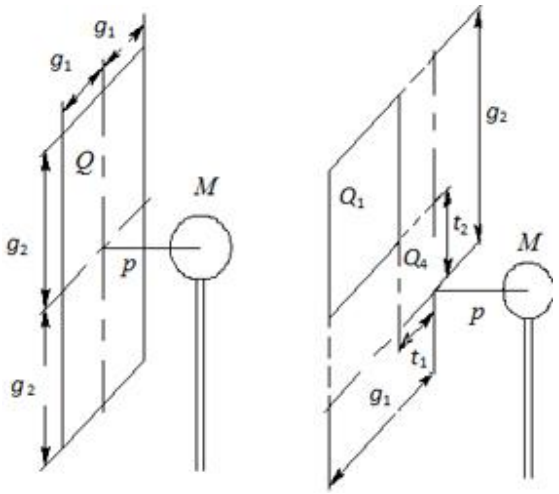


Рис. 3. К определению коэффициента использования при положении СП: а) – против центра прямоугольника (базовый случай); б) – вне прямоугольника, M=M(g1, g2, t1, t2, p...)

Итого, потери мощности на прямую засветку небосвода в этих 3 установках составляют примерно 8,5 кВт (учитывалась $P_{лампы}$=100Вт).

Таблица 2. Оценка: СЗ, не– и оправданного функционально; потерь энергии и мощности

Неизбежное (неустранимое) СЗ	Бесполезное (неоправданное) СЗ
Характеристика и анализ световых потоков	
Создается полезными световыми потоками, например, в функциональном уличном освещении – после отражения от дорожного покрытия, тротуаров, стен и т.п., и определяется, в частности, коэффициентами отражения ρ, или, в общем случае, индикатрисами рассеивания.	Создается световыми потоками на небосвод (или, в общем случае, в верхнюю полусферу) и не реализовавшими никакой "задачи", кроме (нередко, спорной) эстетической функции; иногда фактическая причина создания подобных ОУ – неутоленное честолюбие архитектора (не желающего думать о "цене" (и цене – тоже) таких решений).
Энергетическая оценка затрат \ потерь	
Здесь данные о потерях (точнее, затратах) энергии имеют значение только как справочная информация – ввиду принципиальной невозможности их избежать (являются побочным, сопряженным (органически присущим, неустранимым) эффектом освещения).	Подобные траты световой (реально –материально – электрической) энергии необходимо полностью устранять либо, по возможности, уменьшать (выбором типа ИС, кривой силы света и других характеристик СП, его размещения и т.п.). Ниже для 3 примеров ОУ с "Шарами" на торшерах даны доли "потерянной" энергии δ,%, и мощности ΔP, кВт (тонированы).

Таблица 3. Примеры ОУ с "Шарами" на торшерах

Световой прибор, местоположение ОУ	δ,%	ΔP, кВт
1. Шм ограждения на пр.Ленина (рис.4, а)	~57 (39/67)	1,5
2. Шм на территории Драматического Театра	~58 (39/67)	4,5
3. Шм (по 4 на опоре) в "горловине"пр.Ленина*	~57 (51/90)	2,5

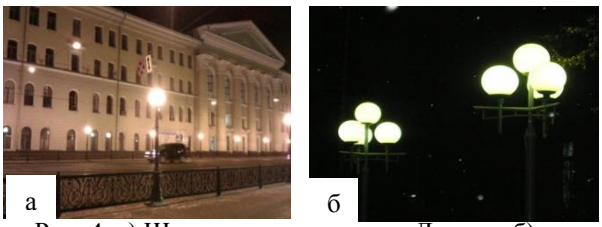


Рис. 4. а) Шм ограждения на пр. Ленина, б) в форме тетраэдра в "горловине" пр. Ленина

Список литературы

1. Мешков В. В., Епанешников М. М. Осветительные установки / В.В. Мешков, М.М. Епашников. – М.: Энергия, 1972. – 360 с.

2.Степанова Е.В., Никитин В.Д. Световое загрязнение городов. "Фундаментальные проблемы новых технологий в 3-ем тысячелетии". Материалы 3-ей Всероссийской конференции молодых ученых, Томск : Изд. Института оптики атмосферы СО РАН. – 2006. – С. 504 – 507.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ ИОННОГО ПУЧКА, ФОРМИРУЕМОГО ДИОДОМ С МАГНИТНОЙ САМОИЗОЛЯЦИЕЙ

Хайлов И.П., Исакова Ю.И.
Научный руководитель: Пушкарёв А.И., д. ф.-м. н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: khailov@tpu.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования корреляции полной энергии и плотности энергии ионного пучка гигаватной мощности, формируемого фокусирующим диодом со взрывоэмиссионным катодом в режиме магнитной самоизоляции. Получено, что плотность ионного тока слабо зависит от величины ускоряющего напряжения и других выходных параметров ускорителя, коэффициент детерминации $R < 0.3$. В тоже время полная энергия пучка и плотность энергии однозначно определяются параметрами ускорителя, $R > 0.9$. Полученные результаты обусловлены эффективной перезарядкой ускоренных ионов в процессе упругого взаимодействия с молекулами остаточного газа в анод-катодном зазоре. В этом случае ионный диод формирует комбинированный пучок, состоящий из ускоренных ионов и ускоренных нейтральных атомов, образованных в результате перезарядки части ускоренных ионов.

Планарные диоды со взрывоэмиссионным катодом широко используются для генерации импульсных ионных пучков большой площади с плотностью энергии выше 0.5 Дж/см^2. Наиболее важными параметрами генератора пучка заряженных частиц, определяющие возможность его технологического применения, являются ресурс непрерывной работы и стабильность параметров в серии импульсов. Концентрация ионов в импульсных ионных пучках гигаватной мощности не превышает 10^{12} см$^{-3}$, и основным фактором, определяющим изменение свойств изделия, является тепловое воздействие, а не имплантация ионов. Поэтому для контроля и оптимизации режима обработки изделий важна стабильность плотности энергии пучка в серии импульсов. Для повышения стабильности генерации МИП необходимо определить влияние выходных параметров генератора высоковольтных импульсов на полную энергию и плотность энергии ионного пучка. Цель выполненных исследований – анализ корреляции (с выходными параметрами ускорителя) полной энергии и плотности энергии пучка, формируемого ионным диодом со взрывоэмиссионным катодом, определение основных источников нестабильности энергии пучка в серии импульсов.

1. Экспериментальный стенд

Исследования проведены на ускорителе ТЕМП-4М [1] в режиме формирования двух импульсов – первый (плазмообразующий) отрицательный (400-500 нс, 100-200 кВ) и второй (генерирующий) положительный (150 нс, 250-300 кВ). Плотность энергии пучка 0.5-5 Дж/см^2 (для разных диодов), частота следования импульсов 5–10 имп./мин. Конструкция диодного узла, расположение и калибровка диагностического оборудования ускорителя ТЕМП-4М рассмотрены в наших работах [1, 2]. Диагностику параметров пучка проводили также по тепловизионной методике. Схема диодного узла ускорителя ТЕМП-4М приведена на рисунке 1.

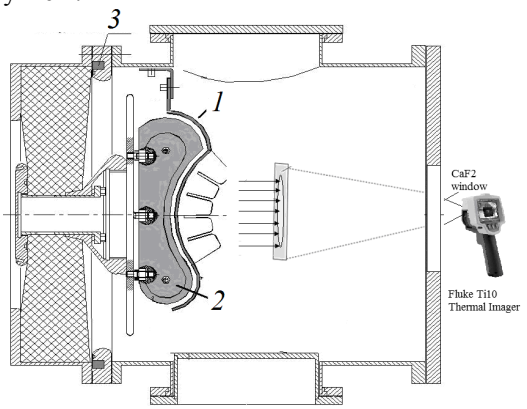


Рис. 1. Схема диодного узла (1-заземленный электрод, 2-потенциальный электрод, 3-пояс Ро-говского).

Основная часть исследований выполнена на полосковом фокусирующем диоде размером 22 см×4.5 см, фокусное расстояние 14 см.

2. Корреляция плотности тока и энергии пучка

Выполненные нами исследования показали, что корреляция амплитуды импульса плотности тока МИП с выходными параметрами ускорителя ТЕМП-4М низкая, коэффициент детерминации не превышает 0.1 (см. рис. 2).

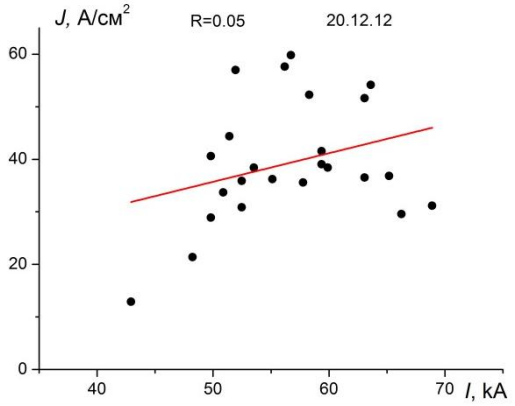


Рис. 2. Зависимость амплитуды импульса плотности ионного тока от полного тока в диоде

Генерация ионного тока идет несинхронно по сечению пучка. Коэффициент детерминации для плотности тока МИП в точках, удаленных друг от друга вдоль поверхности диода на расстояние более 5 см не превышает 0.12 [3]. Это указывает на слабое влияние внешних факторов на стабильность плотности ионного тока в серии импульсов. Но выполненные исследования показали высокую корреляцию плотности энергии пучка с полным током диода. Результаты статистической обработки показаны на рисунке 3.

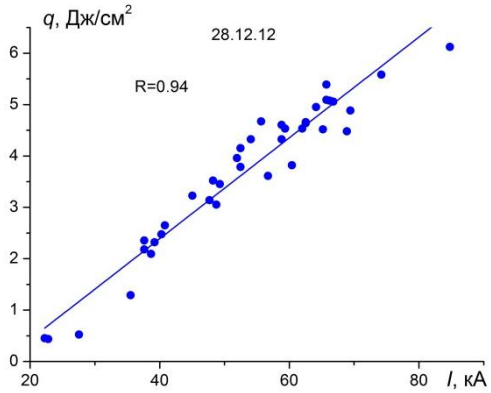


Рис. 3. Зависимость плотности энергии МИП в фокусе от полного тока в диоде

Выполненный анализ баланса энергии в диоде показал, что хорошая корреляция между полной энергией пучка, формируемого диодом в двухимпульсном режиме, и подведенной к диоду энергией характерна не только для полоскового фокусирующего диода, но и для спирального диода [4] и плоского полоскового диода [5]. На рисунке 4 показана зависимость полной энергии ионного пучка от энергии, поступающей от генератора наносекундных импульсов в течение генерации пучка (интеграл произведения тока в диодном узле на ускоряющее напряжение в течение второго импульса).

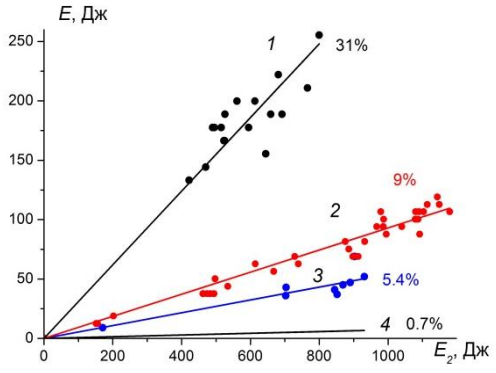


Рис. 4. Зависимость энергии пучка от энергии, подводимой к диоду в спиральном (1), полосковом фокусирующем (2) и плоском (3) диодах.

Коэффициент корреляции для фокусирующего диода и спирального диода составляет 0.95.

Заключение.

Выполненный статистический анализ генерации пучка ионным диодом в двухимпульсном режиме в серии импульсов показал, что плотность ионного тока слабо зависит от величины ускоряющего напряжения и других выходных параметров ускорителя ТЕМП-4М, коэффициент детерминации не превышает 0.3. В тоже время полная энергия пучка и плотность энергии однозначно определяется параметрами ускорителя, коэффициент детерминации превышает 0.9.

Полученные результаты можно объяснить эффективной перезарядкой ускоренных ионов в процессе упругого взаимодействия с молекулами остаточного газа в анод-катодном зазоре. В результате перезарядки ионов формируется поток ускоренных нейтралов с энергией 5-10 кэВ [6]. Наличие длительной паузы между моментом десорбции молекул с поверхности анода и моментом генерации ионов в двухимпульсном режиме увеличивает толщину слоя десорбированных молекул. Это значительно увеличивает число актов перезарядки одного иона в процессе его ускорения в А-К зазоре.

Большой ресурс работы ионных диодов с магнитной самоизоляцией и взрывоэмиссионным катодом (более 10^7 импульсов), высокая стабильность генерации пучка в серии импульсов делает их перспективным для различных технологических применений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-08-31335

Список литературы

1. Pushkarev A.I., Isakova Yu.I. Surface and Coatings Technology 2012. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2012.05.094.

2. Pushkarev A.I., Isakova J.I., Saltimakov M.S. and Sazonov R.V. Investigation of magnetically self-insulated effect in an ion diode with an explosive emission potential electrode // Physics of Plasmas 17, 013104 (2010).

3. Pushkarev A.I., Isakova Yu.I., Khailov I.P. Shot-to-shot reproducibility of a self-magnetically insulated ion diode // Review of Scientific Instruments, Volume 83, Issue 7, Article ID 073309 (2012).

4. Pushkarev A.I., Isakova Yu.I. A spiral self-magnetically insulated ion diode // Laser and Particle Beams, 2012, volume 30, issue 3, pp. 427-433.

5. Pushkarev A.I., Isakova Yu.I., Guselnikov V.I. Limitation of the electron emission in an ion diode with magnetic self-insulation // Phys. Plasmas 18, 083109 (2011).

6. Pointon T. D. Charge exchange effects in ion diodes, J. Appl. Phys. 66, 2879 (1989).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЭУ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Халдаров Ш.К.
Научный руководитель: Манусов В.З., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: haldaroff@mail.ru

В работе рассматриваются методы получения соответствующих нечетких алгоритмов для извлечения максимальной мощности от поступающего потока ветра с изменчивой скоростью. Для этого предполагается осуществить нечеткое логическое регулирование скоростью генератора.

Чтобы быть конкурентно способными на рынке, ветровые установки должны производить электроэнергию, сопоставимую по стоимости с установками, работающими на ископаемом топливе. Поскольку ветер как топливо бесплатен, основная стоимость ветровой энергии есть начальные затраты на саму установки. Поэтому технологические улучшения, которые сокращают начальную стоимость турбины или позволяют ей захватить больше энергии в процессе работы, приводят к снижению себестоимости энергии. Значит, наиболее сложной задачей, имеющей первостепенное значение, остаётся разработка дешёвых и эффективных ветроэнергетических установок, способных надёжно работать в автоматическом режиме в течение многих лет и обеспечивать бесперебойную эксплуатацию при минимальном периодическом обслуживании.

Данная проблема может быть решена при помощи высокоточного автоматического регулирования ветрогенераторов, а так же заменой традиционных регуляторов нечеткими логическими контроллерами (НЛК). Кроме этого, применение регуляторов нечеткого типа позволяет исключить из структуры САУ значительное количество датчиков, что влечет за собою повышение надежности и снижение стоимости установок в целом.

Исследования показали, что нечеткий контроллер более приспособлен для управления линейными процессами, так как является более высокой формой регулятора по отношению к линейному контроллеру в случае управления нелинейными процессами. Это оправдывает его использование в условиях, когда скорость ветра часто изменчива. А значит, он может заменить классический ПИД-регулятор. Нечеткий контроллер используется для оптимизации эффективности и повышения производительности ветроустановки.

Мощность, передаваемая генератору турбиной, при взаимодействии с потоком ветра может быть выражена формулой:

$$P_{TUR} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_{\omega}^{3} \cdot C_P(\lambda)$$

где

ρ – плотность потока ветра; A – площадь, ометаемая лопастями; V_ω – скорость ветра; $Cp(\lambda)$ – коэффициент мощности турбины; $\lambda = \omega_{tur} \cdot R_{tur}/V_\omega$ – коэффициент торможения потока; ω_{tur} – угловая скорость турбины; R_{tur} – радиус турбины

Точная задача нечеткого контроллера хорошо описана кривыми мощностей (Рис.1). Можно заметить, что есть рабочая точка максимальной мощности для каждой скорости ветра. Основной целью контроллера является запуск генератора ветроустановки в этой рабочей точке.

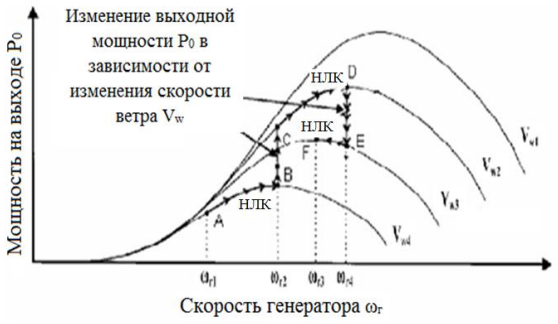


Рис.1. Набор кривых зависимости мощности турбины от скорости генератора при разных скоростях ветра

При скорости ветра V4, изначально рабочая точка выходной мощности находится в точке А при скорости ротора ωr1. Нечеткий контроллер будет изменять скорость ротора до значения ωr2, при котором рабочая точка переместится с точки А в точку В, которая является точкой максимальной выходной мощности при данной скорости ветра. При возрастании скорости ветра до значения V2, выходная мощность переместиться в точку С, а затем при увеличении скорости ротора до значения ωr4 контроллером, она переместиться в точку D, где приобрерает максимальное значения уже для скорости ветра V2. Кривые мощностей показывают зависимость мощности энергосистемы P_0 от скорости генератора ω_t при определенной скорости ветра V_ω.

Нечеткое управление, которое является одним из наиболее активных и перспективных направлений прикладных исследований в задачах управления и принятия решений, создана на базе теории

нечетких множеств, основные идеи которой были представлены американским ученым Л. Заде (L. Zadeh) в 1965 году. Эта теория позволяет описывать качественные, неточные понятия и наши знания об окружающем мире, а также позволяет оперировать этими знаниями с целью получения новой информации.

«Нечеткая логика», на которой основан принцип работы нечеткого регулятора, описывает теорию «неоднородных величин». В науке или в компьютерных программах обычно используется только два значения переменных: TRUE или FALSE, вкл. или выкл.. 1 или 0. Взамен «принадлежности» и « непринадлежности» допускаются также промежуточные стадии.

Формализация знаний эксперта осуществляется с помощью определенных баз правил, представляющиеся в виде структурированного текста:

ПРАВИЛО_i:ЕСЛИ «Условие_i» ТО «Заключение_i» (F_i)

RULE_i:IF Condition_i THEN Conclution_i (F_i)

Здесь F_i - весовые коэффициенты соответствующих правил.

Например, для реакции ветроустановки на скорость ветра необходимо использовать определенное правило, например:

«Если скорость ветра воспринимается как низкая, уменьшить длину лопасти»;

«Если скорость ветра воспринимается как высокая, увеличить длину лопасти»;

«Если сейчас осень и скорость ветра не низкая, держать длину лопастей на максимальной длине»

Правила формируют (нечеткие) значения выходных переменных для определенных (нечетких) входных переменных.

При применении уже предложенных нечетких алгоритмов для получения необходимых выходных переменных, которые являются управляющими переменными процесса управления ВЭУ и составлении определенных баз правил, основанных на знаниях эксперта, мы сможем значительно повысить производительность ветроустановки, используя аппарат нечеткой логики для:

- Поворота гондолы;
- Регулирования угла атаки лопасти;
- Изменения скорости вращения ветроколеса в соответствии с изменением скорости ветра;
- Изменение длины лопасти.

Принцип работы нечеткого логического контроллера скорости может быть описана следующей блок-схемой:

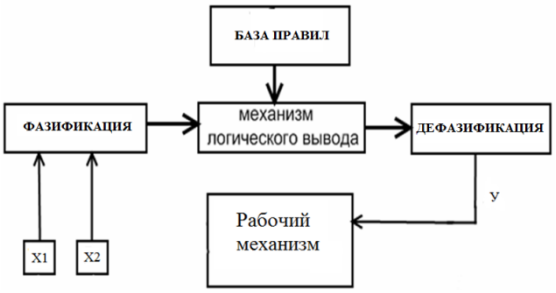


Рис.2. Функциональный блок НЛК

Входными переменными в данном случае являются изменение выходной мощности ΔP_0 и последнее изменение скорости ротора $L\Delta\omega r$, которые преобразуются в блоке «Фазификация», в лингвистические переменные (термы): ВЫСОКАЯ, СРЕДНЯЯ, НИЗКАЯ. Здесь же они описываются определенными функциями принадлежности, то есть им присваивается степень принадлежности и передаются в следующий блок. В блоке нечеткого вывода на основе базы правил, составленных с учетом экспертных знаний и готовых нечетких алгоритмов, эти переменные оцениваются и взвешиваются. Далее нечеткий результат передается в блок под названием «Дефаззификация», где происходит преобразование нечеткой переменной в четкую управляющую переменную процесса управления ВЭУ.

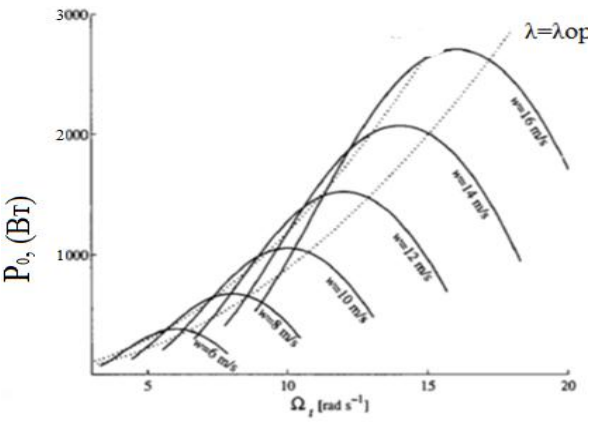


Рис. 3. Зависимость коэффициента мощности от быстроходности

Для оптимального нечеткого логического управление асинхронным генератором требуется контроллер, который будет отслеживать скорость ветра в целях достижения λ_{OPT} и таким образом извлекать максимальную мощность (Рис.3.).

Список литературы

1. Krause, P. C., Wasynczuk, O., Sudhoff S. D., Modern Analysis of Electric Machinery and Drive Systems, John Wiley and Sons, New York, 2002

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГУЛИРУЕМОЙ БАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКИ

З.П. Хошнау
Научный руководитель: Лукутин Б.В., д.т.н., профессор.
Университет Салахадин – Инженерный колледж Хоулер, кафедра электротехники.
E-mail: zanamiran@yahoo.com

Автоматизация эффективного энергоснабжения автономных потребителей является важным напровлением развития комфортности проживаия населения. Стоимость доставки энергоресурса в районы и области децентрализованного электроснабжения часто превышает его себестоимость, заставляя использовать местные энергетические ресурсы – в частности ветровые [2]. Расчеты показали, что наиболее выгодно использовать для электроснабжения автономного потребителя ветро-дизельную электростанцию (ВДЭС).

Однако, в любой системе ВДЭС график выработки ветровой энергии и график нагрузки потребления не совпадают, т.е существуют излишки энергии, даже при наличии аккумуляторных батарей, которые сохраняют часть излишней энергии. Следовательно существует необходимость утилизации излишней энергии.

В автономных системах электроэнергия широко используется в качестве источника тепла, на тепловые нужды производства и быта приходится до 65 – 70% от общего потребления электроэнергии [1].

Предлагается использовать балластную нагрузку (БН) не только для утилизации тепла, но и для обеспечение эффективной эксплуатации дизельного генератора (ДГ) и аккумуляторных батарей (АБ).

На рисунке 1 предлагается алгоритм оптимального режима работы системы ВДЭС с балластной нагрузкой, которая позволяет согласовать режимы работы как ее отдельных частей, таких как аккумуляторы в плане заряда, дизельной электростанции (ДЭС) с оптимальной экономией топлива, так и всей системы в целом.

Известно, что оптимальным режимом работы ДЭС является работа в номинальном режиме при 80% нагрузке. В алгоритме (рис. 1) ДЭС либо работает в номинальном режиме, либо отключается, что существенно увеличивает ресурс ДГ и повышает надежность. Для заданного режима работы, необходимо выполнение следующих условий: $0{,}8\,P_{ДЭС} \geq 0{,}1C_{АБ} + P_{H\_max}$, т.е установленная номинальная мощность рабочих дизель-генераторов электростанции $P_{ДЭС\_ном}$ должна обеспечивать покрытие максимальной нагрузки потребителя $P_{н\_max}$ и заряжать аккумуляторные батареи зарядным током, оптимальная величина которого составляет 10% от полной емкости АБ. В случае отсутствия ветра и в целях экономии дизельного топлива нагрузку потребления обеспечивают аккумуляторные батареи, для этого необходимо выполнение условия:
$0{,}25\,C_{АБ} \geq P_{H\_max}$, т.к. аккумуляторы не могут дать больше 25% своего заряда.

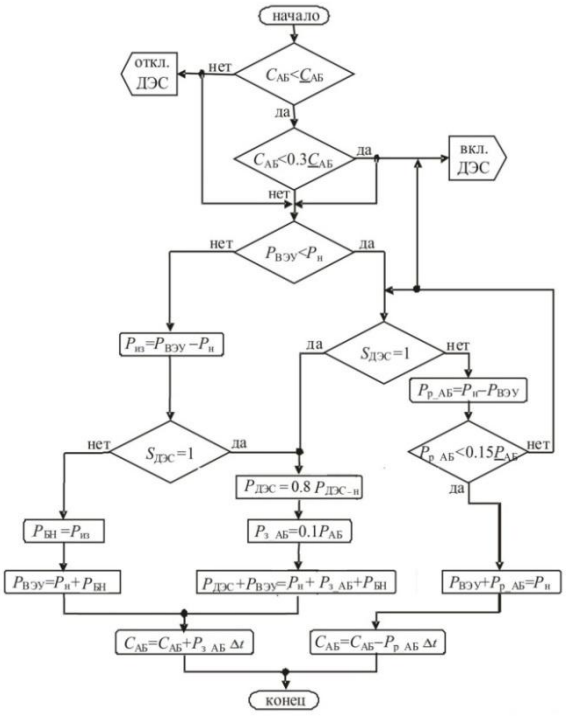


Рис. 1. Алгоритм управления режимами ВДЭС с управляемой балластной нагрузкой

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: $C_{АБ}$, $\underline{C}_{АБ}$ – текущая и номинальная (полная) емкость аккумуляторных батарей, Вт·ч; $P_{ВЭУ}$, $P_{ДЭС}$ – текущие значения мощности, генерируемые ветроэнергетической установкой и дизельной электростанцией, Вт; $P_н$ – текущие значения мощности, потребляемой нагрузкой, Вт; $\underline{P}_{АБ}$, $P_{з\_АБ}$, $P_{р\_АБ}$ – номинальная, зарядная и разрядная мощности аккумуляторных батарей, Вт; $P_{из}$ – избыточная мощность, генерируемая ВЭУ на текущем интервале времени, Вт; $P_{БН}$ – текущие значения мощности, рассеиваемой на балластных сопротивлениях, Вт; Δt – интервал времени, соответствующий текущему рабочему режиму ВДЭС, час; $S_{ДЭС}$ – логическая переменная, характеризующая состояние дизельного двигателя: $S_{ДЭС} = 1$ – дизель

в работе; $S_{ДЭС} = 0$ – дизель остановлен; $P_{ДЭС\_Н}$ – номинальная мощность ДЭС, Вт.

На рисунке 2 представлен график полученный по результатам имитационного математического моделирования по предлагаемому алгоритму с сипользованием балластной нагрузки.
Следует заметить, что для принятия решения о выборе системы с полезной БН (в качестве отопления и горячего водоснабжения), необходимо: рассчитать затраты на монтаж системы отопления (которые могут быть достаточно дорогостоящими). В традиционной системе, как правило, источником тепла является вода. При бесперебойной подаче электроэнергии водяную систему отопления можно заменить прямой электрической.

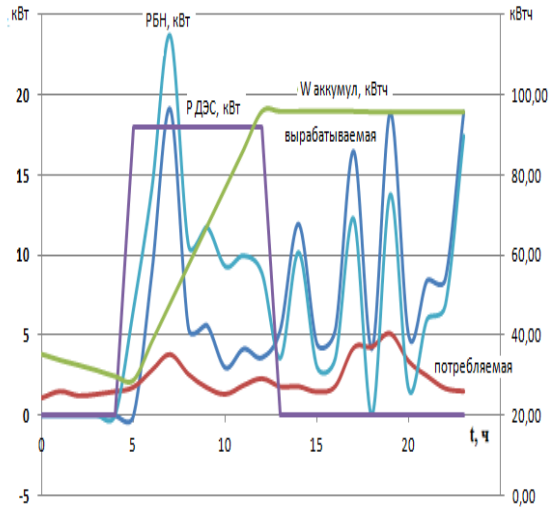


Рис. 2 Оптимизированный суточный рабочий режим ВДЭС с буферным накопителем энергии и балластной нагрузкой

Мощность БН определяется по следующим формулам:

$$P_{БН} = 0{,}7P_{ВЭУ}$$

$$P_{БН} = P_{БН1} + P_{БН2} + P_{БН3} + \cdots + P_{БНn}$$

Таким образом: $0{,}7P_{ВЭУ} = P_{БН1} + P_{БН2} + P_{БН3} + \cdots + P_{БНn}$

где: $P_{БН1}$; $P_{БНn}$ – мощность БН отдельного потребителя.

Как известно расчет потребления теплоэнергии производится исходя из квадратных метров отапливаемой площади, следовательно балластная нагрузка у каждого потребителя будет разной. В данном случае необходимо рассмотреть вопрос о распределении БН для каждого потребителя.

На рисунке 3 представлена схема ВДЭС для автономного электроснабжения с распределенной БН различных потребителей.

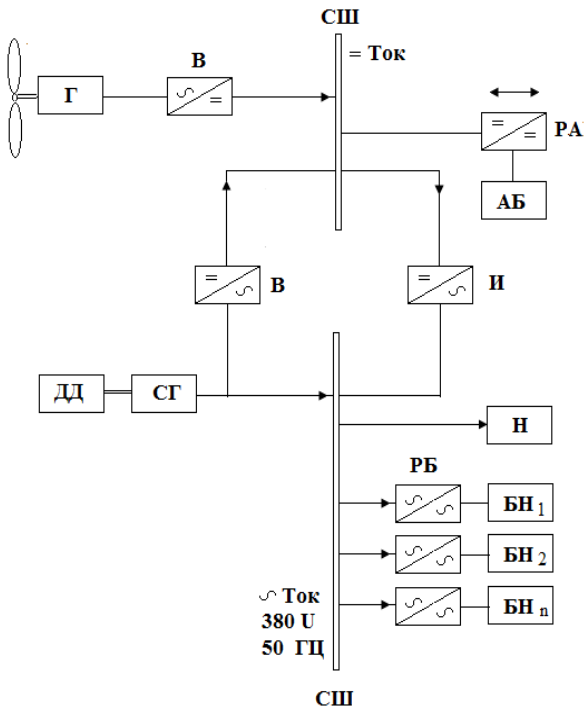


Рис. 3. Система ВДЭС для автономного электроснабжения с распределенной БН отдельных потребителей

Рабочие режимы системы с балластной нагрузкой позволяют задать оптимальный ражим заряда/разряда аккумуляторных батарей, что существенно увеличивает их срок службы, а также оптимизировать режимы работы ДГ, что также увеличивает эксплуатационный ресурс дизельного двигателя, основных компонентов энергетической системы улучшая ее технико-экономические характеристики.

Список литературы:

1. Светотехника и электротехнология. Часть II «Электротехнология»: Электротермия: Курс лекций / А.М. Глушков, И.В. Юдаев; Волгогр. гос. с.-х. акад., Волгоград, 2008.
http://electro-vgsha.narod.ru/Biblioteka/Electrotehnologia_1.pdf
2. Применение ветроэнергетических установок для горячего водоснабжения и отопления. Кудрин Б.И., Грозных В.А. Россия, г. Москва, МЭИ (ТУ)
3. Смирнова Л. Н. Отопление и водоснабжение загородного дома
http://lib.rus.ec/b/278259/read

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЕЙ НА ВЕЛИЧИНУ ЭКВИВАЛЕНТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Шагидуллин А.В., Рыбакова А.В.
Научный руководитель: Грачева Е.И., к.т.н., доцент
Казанский государственный энергетический университет,
420066, Россия, г.Казань, ул.Красносельская, 51
E-mail: shagidullinav@gmail.com

За последние годы рынок, на котором работают электросетевые предприятия, претерпел кардинальные изменения. Если еще в начале 90-х годов электросетевые предприятия находились в ведении муниципалитетов и об эффективном управлении никто не задумывался, то в настоящее время продолжается активный процесс приватизации сетевых и промышленных предприятий. Теперь внимание менеджмента электросетевого бизнеса направлено на грамотное управление средствами, т.е. фокус внимания нацелен на максимизацию прибыли и оптимизацию затрат. При этом для обеспечения качества электроэнергии власти различных стран устанавливают нормы и правила ведения электросетевого бизнеса.

Таким образом, основными вопросами управления электросетевыми и промышленными компаниями являются обеспечение качества энергии и надежности сети. Многие компании направляют усилия на оптимизацию оперативно-диспетчерского управления и сокращение расходов на всем сроке службы всех компонентов сети [1]. Анализ постоянных затрат вследствие износа сетей является важной составляющей этой деятельности.

При управлении активами распределительных сетей особенно низкого напряжения необходимо одновременно обрабатывать и анализировать множество различных данных. Это влияет и на задачи планирования развития сетей, которые становятся все более сложными. Кроме того, при рассмотрении задач по развитию сетей и обеспечению их надежности, необходимо учитывать экономические и экологические аспекты. Таким образом, необходимы современные методики и средства, помогающие управлению электрическими сетями.

При исследовании эксплуатационных режимов необходима различная информация о состоянии элементов низковольтных сетей (например, сопротивление контактных соединений аппаратов). Учет этих параметров уточняет результаты вычислений технических параметров. В качестве одной из характеристик схемы с различным набором аппаратов, используется эквивалентное сопротивление всей цепи. Эквивалентное сопротивление складывается из сопротивлений контактных соединений аппаратов, установленных на линии. Так сопротивление контактов, автоматического выключателя, как показали проведенные исследования, определяется:

$$R(I)=\begin{cases}6.189\cdot e^{-0.009\cdot I}, & I\geq 60\\ 70.354\cdot e^{-0.092\cdot I}, & I<60\end{cases}$$

$R_{эк}$- эквивалентное сопротивление линии, значение которого в каждый момент времени t зависит от фактической температуры жилы провода $\Theta_{пр}$, а также от количества установленных на линии коммутационных аппаратов:

$$R_{эк}=r_{20}\cdot l\left[1+\alpha\left(\Theta_{пр}-20^{\circ}\right)\right]+\sum_{i=1}^{k}r_i, \quad (1)$$

где r_{20}- удельное сопротивление 1м линии при 20°С, мОм/м; l - длина линии, м.

На рисунке 1 показаны зависимости эквивалентного сопротивления участка цеховой сети с различным количеством аппаратов, установленных на линии в функции номинального тока аппарата.

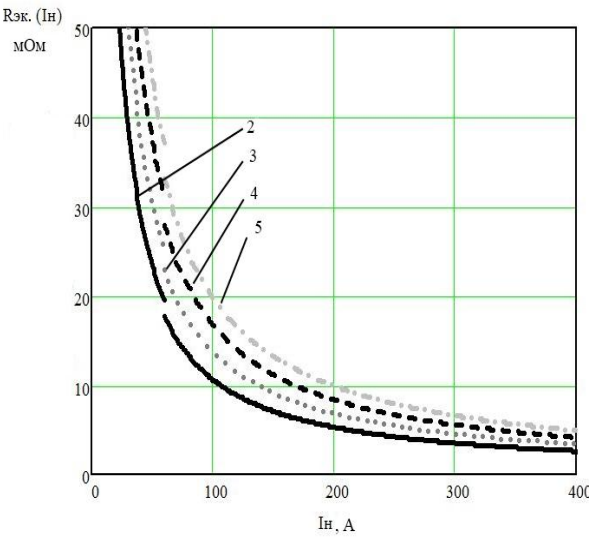


Рис. 1. Зависимости суммарного сопротивления коммутационных аппаратов в функции номинального тока аппарата
(без учета сопротивления проводов)

Соотношения в эквивалентном сопротивлении сопротивления контактов низковольтных аппаратов и сопротивления линий со средней длиной 20м, представлены на рисунках 2 и 3 соответственно для номинальных токов $I_н$ = 10 А и $I_н$ = 100 А.

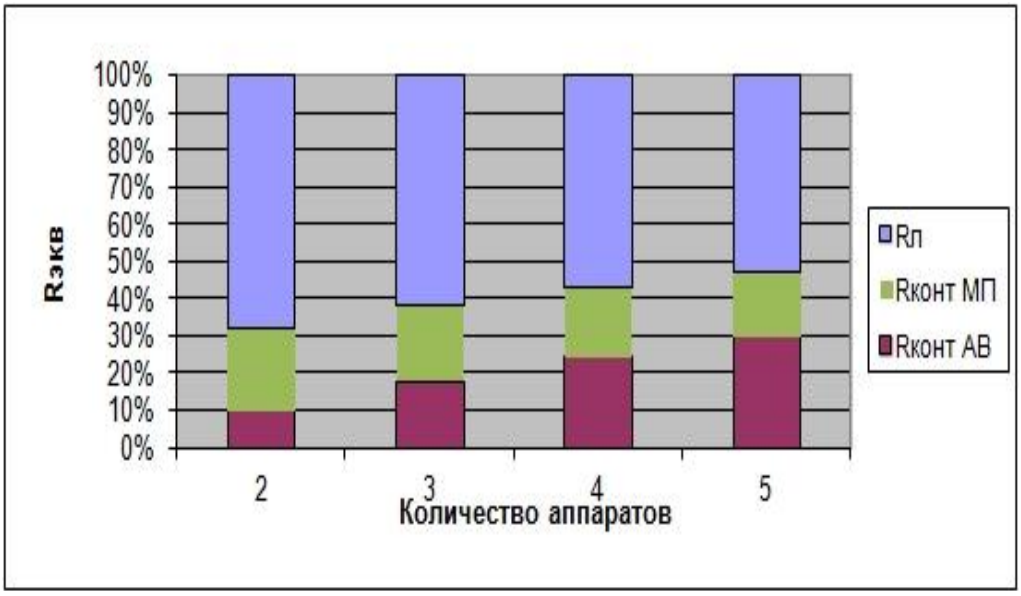


Рис. 2 Соотношение сопротивлений аппаратов и линий в зависимости от количества аппаратов на линии с $I_н$ = 10 А

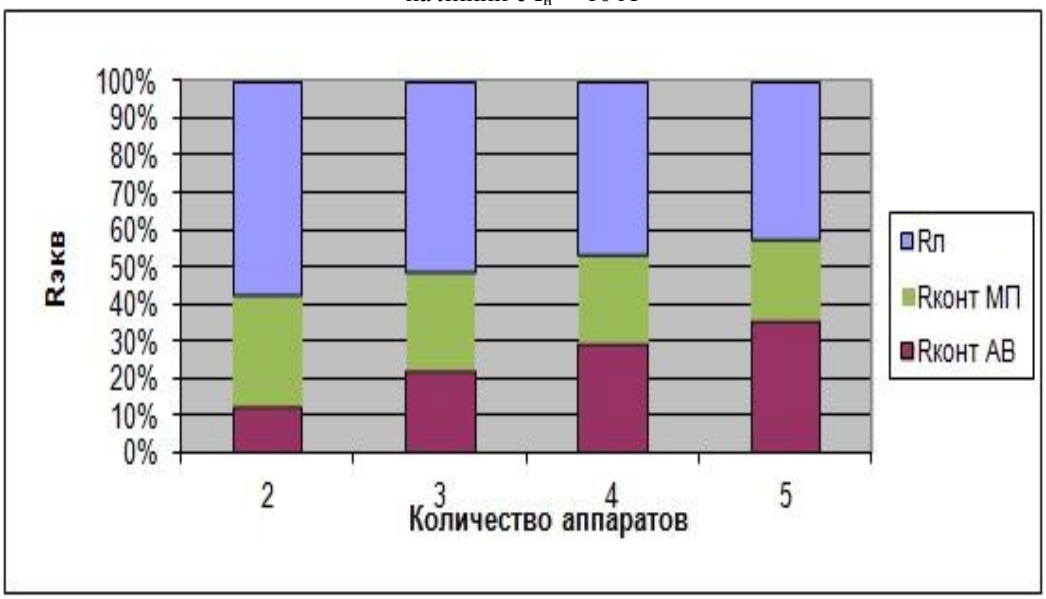


Рис. 3 Соотношение сопротивлений аппаратов и линий в зависимости от количества аппаратов на линии с $I_н$ = 100 А

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о влиянии сопротивления контактных соединений низковольтных аппаратов на эквивалентное сопротивление участка цепи и оценить величину сопротивления контактных соединений при различном количестве и наборе аппаратов.

Список литературы

1. Киселева С.В. Анализ надежности как элемент планирования электрических распределительных сетей. // Электротехнический рынок. 2008, №3.

2. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. Уч. пособие для вузов. – М.: КНОРУС, 2011.

3. Электрические и электронные аппараты: Учебник для вузов / Под. Ред. Ю.К. Розанова. М.: Информэлектро, 2001.

4. Тевлин З.В. Прогнозирование надежности контактов низковольтных коммутационных аппаратов. // Электричество. 1980, №3, с. 24-27.

5. Шевченко В.В., Грачева Е.И. Определение сопротивлений контактных соединений низковольтных коммутационных аппаратов. // Промышленная энергетика. 2002, №1, с. 42-43.

6. Егоров Е.Г. Испытания и исследования низковольтных коммутационных электрических аппаратов. – Чебоксары: Изд. Чувашского ун-та, 2000.

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА С ПОМОЩЬЮ ГРАФИТОПОДОБНЫХ УГЛЕРОД-АЗОТНЫХ СТРУКТУР

Шатрова К.Н.
Научный руководитель: Сивков А.А., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: shatrova.xiusha@yandex.ru

В настоящее время сверхтвердые инструментальные материалы из природных и синтетических алмазов и кубического нитрида бора занимают важнейшее место в технике и производстве. Особенностями этих материалов являются: наивысшая твердость; возможность изготовления сверхострых лезвийных и самозатачивающихся высокоабразивных инструментов; высокие износостойкость, теплопроводность, коррозионная устойчивость. В ближайшие годы конкуренцию этим материалам может составить кристаллический C_3N_4. Возможность его существования теоретически показал M. L. Cohen более 20 лет назад [1] в виде расчетной модели, по которой возможно определение модуля всестороннего сжатия материала в зависимости от длины связей. Многие годы исследователи всего мира предпринимали множество попыток получения этого материала с целью использования его как сырья для обрабатывающего инструмента нового поколения, но, к сожалению, бесспорных свидетельств успешно синтеза сверхтвердого нитрида углерода C_3N_4 отсутствуют [2]. Новый этап развития данного направления в науке возникает в последние годы ввиду появления сообщений о возможности использования соединений углерода и азота в качестве фотокатализаторов в спектре видимого и ультрафиолетового излучения при получении водорода H_2 из воды [3, 4, 5]. К настоящему времени не определены оптимальные условия синтеза и не найдены методы, которые могли бы лечь в основу промышленной технологии получения кристаллического C_3N_4. Поэтому поиск методов синтеза ковалентного C_3N_4 является актуальной задачей. Анализ результатов теоретических и экспериментальных данных показывает, что одним из перспективных путей получения кристаллических фаз дисперсного C_3N_4 является реализация синтеза в газофазовой системе с использованием в качестве прекурсоров углерода и газообразного азота. Требуемые P, t-параметры (P>25 ГПа, t>1500 К) могут быть получены в головном скачке уплотнения ударно-волновой структуры гиперзвуковой импульсной струи углеродной плазмы, истекающей в замкнутое пространство с азотной атмосферой со скоростью до 10 км/с.

В эксперименте такая система взаимодействия реализуется с помощью импульсного (до 500 мкс) сильноточного (порядка 10^5 А) коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) с графитовыми электродами по методике, представленной в работе [6]. Исходный углерод в виде нанодисперсного порошка (сажа) закладывается в зону формирования плазменной структуры сильноточного дугового разряда типа Z-пинч, ускоряемого в коаксиальной системе. Электропитание ускорителя осуществляется от импульсного источника – генератора импульсов тока с максимальной запасаемой энергией до 360 кДж. Плазменный выстрел производится в герметичную камеру-реактор, заполненную технически чистым азотом при нормальных давлении и температуре. Вскрытие камеры и сбор синтезированного порошкообразного продукта производился после естественного охлаждения и полного осаждения взвешенных частиц в азотной атмосфере.

На рисунке 1 представлены результаты электронной просвечивающей микроскопии продукта синтеза. Согласно работе [6] округлые уплощенные частицы со средним размером до 200-300 нм могут содержать в своем составе кристаллическую фазу, близкую по строению к гипотетическому графитоподобному нитриду углерода C_3N_4.

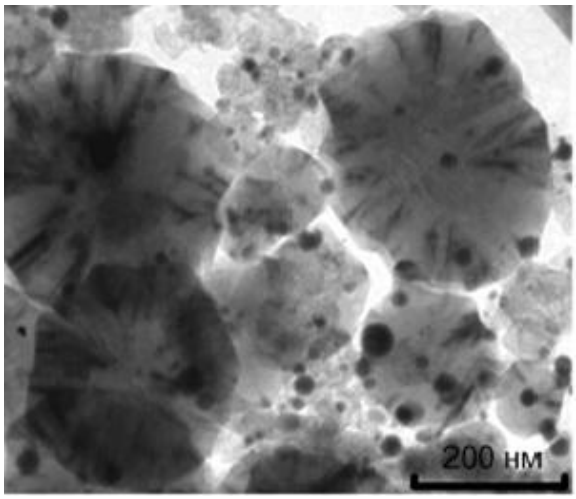


Рис. 1. Светлопольный ТЕМ-снимок продукта

Согласно источникам [3, 4, 5] при помощи графитоподобных углерод-азотных материалов возможно осуществление разложения воды на водород и кислород под действием видимого и ультрафиолетового диапазонов излучения. Для проверки этого утверждения собрана простейшая экспериментальная установка, внешний вид которой приведен на рисунке 2.

Экспериментальная установка состоит из кварцевой колбы (пропускающей ультрафиолетовый диапазон излучения), в которую помещался исследуемый образец вместе с дистиллированной водой, кристаллизатора, заполненного 10% раствором NaCl (для снижения растворимости водо-

рода в воде), S-образной изогнутой стеклянной трубки, которая одним концом герметично закреплялась в кварцевой колбе, другим - помещалась под границей раздела воздух-раствор NaCl. Над свободным концом S-образной трубки помещалась заполненная раствором мерная пробирка вверх дном. На расстоянии 25-30 см от кварцевой колбы помещалась ультрафиолетовая лампа.



Рис. 2. Внешний вид экспериментальной установки для синтеза водорода

В кварцевую колбу была помещена дистиллированная вода объемом 5 мл, а также продукт динамического синтеза системы углерод-азот, полученный в гиперскоростной струе углеродной электроразрядной плазмы, истекающей в азотную атмосферу по методике, описываемой в работе [6]. Масса исследуемого материала составила 90 мг. После герметизации системы включалась ультрафиолетовая лампа.

За 9 часов работы ультрафиолетовой лампы в течение двух дней получено 10 мл газообразного образца, собранного в два медицинских шприца по 5 мл. Непосредственно после сбора проба транспортировалась к аналитическому оборудованию – в данном случае к газовому хроматографу Хроматек Кристалл 5000.1.

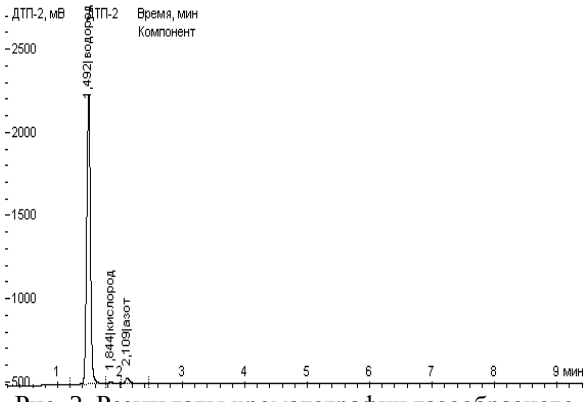


Рис. 3. Результаты хроматографии газообразного образца

На рисунке 3 представлены результаты газовой хроматографии собранного образца, согласно которой в данной пробе обнаружены кислород, азот и водород. Эти данные имеют несколько неоднозначный характер ввиду небольшого количества исследуемого газа: 10 мл, однако позволяют с высокой степенью вероятности судить о возможности получения водорода из воды с помощью материала, синтезированного авторами работы [6]. В дальнейшем требуется изучение процесса с позиции повышения скорости выделения газа, получения большего количества газообразной пробы для анализа и, соответственно, более надежной идентификации его составляющих, количественной интерпретации результатов.

По совокупности представленных данных можно с высокой степенью вероятности судить об успешном получении водорода из воды с использованием синтезированного в струе углеродной электроразрядной плазмы углерод-азотного материала под действием ультрафиолетового излучения. Однако, для установления однозначности в этом вопросе требуются дополнительные исследования синтезируемого газа для набора статистических данных и проверки повторяемости эксперимента, исследования методов управления скоростью процесса и потенциальной производительность системы.

Список литературы

1. M. L. Cohen. Phys. Rev. B, Condens. Matter, 32, 7988, 1985.

2. Graziella Goglio, Denis Foy, Gerard Demazeau. State of Art and recent trends in bulk carbon nitrides synthesis // Materials Science and Engineering R. – 2008. – №58. – P.195-227.

3. C. Pan, J. Xu, Y. Wang, D. Li, Y. F. Zhu. Dramatic activity of $C_3N_4/BiPO_4$ photocatalyst with core/shell structure formed by self-assembly // advanced functional materials, 2012.

4. F. Su, S. C. Mathew, L. Mhlmann, M. Antonietti, X. Wang, S. Blechert. Aerobic oxidative coupling of amines by carbone nitride photocatalysis with visible light// Angew. Chem.. Int. Ed., 2011.

5. X. Xu, G. Liu, C. Randorn, J. T. S. Irvineю g-C_3N_4 coated $SrTiO_3$ as an efficient photocatalyst for H_2 production in aqueous solution under visible light irradiation// International journal of hydrogen energy 36, 2011.

6. А. А. Сивков, А. Я. Пак. О возможности синтеза и кристаллической структуре нанодисперсного нитрида углерода C3N4//Письма в ЖТФ, том 37, вып. 14, 2011.

Автор и ее научный руководитель выражают благодарность д.ф.-м.н. Ильину Александру Петровичу и к.т.н. Балмашнову Михаилу Александровичу за предоставленную возможность проведения эксперимента, помощь в его постановке и обсуждении результатов.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Шевцов Д.Е., Павлюченко Д.А.
Научный руководитель: Павлюченко Д.А.
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
E-mail: dmitriy_shevtsov@mail.ru

В настоящее время в России остро стоит вопрос повышения энергетической эффективности, что подтверждается выходом нормативных документов [1,2].

Одним из капиталоемких, однако, наиболее перспективных современных направлений повышения энергетической эффективности систем электроснабжения является интеллектуализация электрических сетей. Развитие интеллектуальных сетей связано с широким внедрением распределенной автоматизации с наделением каждого отдельно установленного устройства интеллектом, что в сочетании с развитием коммуникационных возможностей позволяет интегрировать отдельные устройства в единую систему.

В качестве одной из технологий интеллектуальных сетей выделяют средства интеллектуального управления реактивной мощностью. В электрических сетях промышленных предприятий компенсация реактивной мощности является наиболее эффективным мероприятием по снижению потерь электрической энергии. Кроме того, использование компенсирующих устройств позволяет действенно решать вопросы повышения пропускной способности линий и улучшения качества электрической энергии.

В настоящее время в электрических сетях промышленных предприятий для компенсации реактивной мощности обычно используют конденсаторные установки. Главным элементом таких установок является регулятор реактивной мощности, от функционального и технического уровня которого зависит эффективность компенсации реактивной мощности.

Одной из важнейших характеристик автоматического регулирования реактивной мощности является выдержка времени коммутации конденсаторных батарей. Для безаварийной и безопасной работы установки необходимо разредить конденсаторы ниже 10% от их номинально напряжения. Конденсаторы разряжаются через разрядное сопротивление – резистор, подключенный параллельно конденсатору. Для конденсаторов достаточным временем разряда является время 45-120 с. С учетом требований о необходимости разряда, конденсатор, отключенный от сети, не может быть включен в работу раньше, чем произойдет его разряд.

Производители регуляторов предлагают конденсаторные установки с минимальной выдержкой времени. С одной стороны такой способ регулирования можно считать выгодным, так как время переключения ступеней минимально, а, следовательно, эффективность компенсации максимальна. Но с другой стороны при реагировании на любые кратковременные изменения нагрузки регулятор заставляет коммутационную аппаратуру установки работать в тяжелом режиме, что приводит к сокращению срока ее эксплуатации и быстрому выходу контакторов из строя. Кроме того, при частых коммутациях увеличивается частота возникновения пусковых токов, что приводит к дополнительному износу изоляции конденсаторов.

Предполагается, что применение нечеткого контроллера в управлении реактивной мощностью окажется эффективней существующих регуляторов, использующих традиционные алгоритмы управления. Предлагаемый регулятор реактивной мощности на основе нечеткой логики будет соответствовать совокупности следующих критериев: максимизация уровней компенсации реактивной мощности, минимизация перекомпенсации, минимизация количества коммутаций ступеней, минимизация неравномерности включения ступеней.

В настоящее время интеллектуальное управление с элементами нечеткой логики имеет прочные позиции во многих сферах науки и техники. Устройства, использующие нечеткое управление, в ряде случаев оказываются предпочтительнее устройств, управляемых традиционными алгоритмами. Это связано с рядом преимуществ нечеткого подхода: возможность работы с нечисловой информацией, относительная простота, легкость реализации и т.д. Особенно хорошо нечеткое управление подходит для случаев, когда объект управления описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений. В этом случае нет необходимости в решении этих уравнений. Погрешность получаемого ответа чаще всего является вполне приемлемой [3,4].

Исходя из опыта применения нечетких систем в различных областях науки и техники в России и за рубежом, ожидается, что применение нечеткого регулирования мощности конденсаторных установок окажется предпочтительней классических способов.

На вход нечеткого регулятора реактивной мощности подаются следующие основные данные: измеренные значения напряжения и тока, температуры. Для обеспечения адаптивности и интеллектуальности управления нечетким алгоритмом используется информация о динамике изменения мощности нагрузки, количестве включенных и недавно отключенных ступенях конденсаторной установки, исполнении конденсаторной установки (ряд мощностей).

Все входные и выходные величины являются четкими значениями, поскольку сняты с реальных датчиков (тока и напряжения, температурного датчика), которые выдают четкие значения измеряемых параметров. В регуляторе эти величины преобразуются в нечеткие величины. После процедуры нечеткого вывода, полученные выходные переменные вновь преобразуются к четкому (нормальному) виду.

Дадим краткую характеристику элементам нечеткого алгоритма (рис. 1).

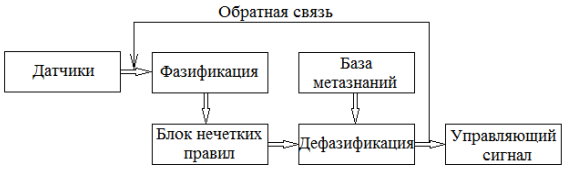


Рис. 1. Блок схема нечеткого алгоритма

Датчики. В каждый момент времени состояние системы характеризуется определенным набором параметров. Значения этих параметров проходят через процедуру фаззификации.

Фаззификация – это процесс перевода точных значений параметров, поступающих с датчика, в значения лингвистической переменной.

Блок нечетких правил. В этом блоке производится нечеткий вывод в рамках концепции нечетких правил если-то.

Дефаззификация. Функции данного блока являются обратными функциям блока фаззификация. Это процесс перевода значений лингвистической переменной в точные значения управляющего сигнала.

База метазнаний. Существуют примеры, в которых использование традиционных методов дефаззификации приводит к неприемлемым результатам. Поэтому необходимы механизмы дефаззификации, основанные на общих знаниях о свойствах выходных параметров системы, которые заложены в блок база метазнаний.

Обратная связь. Позволят использовать дополнительные параметры, которые изменяются в процессе регулирования: количество включенных и недавно отключенных ступенях конденсаторной установки, исполнение конденсаторной установки (ряд мощностей) и т.д.

Управляющий сигнал. Нечеткий контроллер воздействует на систему посредством управляющих сигналов.

Для работы нечеткого регулятора предполагается использовать следующие лингвистические переменные:

cosφ – коэффициент мощности в месте подключения конденсаторной установки (очень низкий, низкий, нормальный, высокий);

Текущая ступень – количество включенных ступеней конденсаторной установки (малое, среднее, высокое);

Динамика – направление изменения коэффициента мощности (отрицательное, нулевое, положительное);

Температура – температура внутри конденсаторной установки (нормальная, повышенная, высокая);

Напряжение – напряжение в точке подключения конденсаторной установки (низкое, пониженное, нормальное, повышенное, высокое);

Направление – направление регулирования ступеней конденсаторной установки (включение, отключение, останов);

Задержка – задержка времени перед переключением (очень малая, малая, средняя, долгая, очень долгая).

На основании выше описанных лингвистических переменных формируются правила нечеткого вывода. В качестве примера представлено одно правило:

Если (cosφ – очень низкий) и (Текущая ступень – малое) и (Динамика – отрицательная) и (Температура – нормальная) и (Напряжение – низкое), то (Направление – включение) и (Задержка – очень малая).

Предлагаемый интеллектуальный алгоритм регулирования включает ступени регулирования оптимальным образом, адаптируя задержку времени срабатывания при переключении ступеней под конкретные условия в сочетании с минимальным числом коммутаций. При этом частота включений распределяется равномерно по всем ступеням.

Список литературы

1. Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г.

2. Энергетическая стратегия на период до 2030 год, утвержденная Распоряжением Правительства РФ № 1715 от 13.11.2009 г.

3. Терехов В.М. Фаззи-логика в электротехнике / В.М. Терехов // Электричество. 2000. №11. С 59-64.

4. Терехов В.М. Алгоритмы фаззи-регуляторов в электротехнических системах / В.М. Терехов // Электричество. 2001. №12. с. 55-63.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЗАЩИТ ОТ ПЕРЕГРУЗОК СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Яворский В.П.
Научный руководитель: Глазырин В.Е., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
E-mail: yavorskyvitaly@gmail.com

Современные микропроцессорные терминалы, используемые для выполнения функций релейной защиты, имеют возможность реализовывать достаточно сложные алгоритмы. Благодаря этому имеются широчайшие возможности по использованию более сложного математического аппарата для реализации алгоритмов защит, в том числе с применением моделирования процессов в защищаемом оборудовании во время опасных для него режимов. Следует также отметить, что с усложнением алгоритма работы защиты может увеличиваться и число настраиваемых параметров, что не всегда удобно для обслуживающего персонала и может приводить к возникновению ошибок.

Большая часть повреждений синхронных генераторов обусловлена нарушением изоляции обмоток статора и ротора. Одним из наиболее существенных факторов, влияющих на износ изоляции, является её перегрев, возникающий при перегрузках синхронной машины.

В процессе эксплуатации электрических машин чрезвычайно сложно выявлять нежелательные (а в ряде случаев и опасные) последствия кратковременных температурных воздействий от допустимых. Значительная часть таких последствий может быть скрыта от обслуживающего персонала, и лишь в некоторых случаях неблагоприятная ситуация обнаруживает себя увеличением вибрации, нарастанием шума, изменением состояния охлаждающей среды и т.п. Использование для этой цели контроля температуры, который достаточно эффективен для длительных режимов работы генераторов, оказывается недостаточным для защиты генераторов в неустановившихся режимах.

Во-первых, применительно к неустановившимся режимам сложно установить нормы допустимого превышения температуры (ориентация на действующие нормы длительно допустимых температур может привести к неоправданным запасам).

Во-вторых, всякое нормирование предполагает эффективный контроль, а его не всегда возможно корректно осуществить в неустановившихся режимах и кроме того, обеспечить реализацию соответствующих воздействия при выявлении недопустимых значений температуры.

Из вышесказанного видно, что в условиях эксплуатации не удаётся регламентировать не только факторы, непосредственно угрожающие жизнеспособности конструкции генератора, но даже и промежуточный параметр таких воздействий – температуру. В случае применения традиционного подхода к построению защиты от перегрузки, когда для получения информации об объекте используются только электрические параметры режима, вопрос о выявлении закономерностей, связывающих эти параметры с изменениями температуры, становится особенно остро. Наличие функциональной связи между электрическими параметрами режима и перегревом узлов генератора позволяет наиболее достоверно оценить состояние оборудования во время анормального режима.

В настоящее время в защитах от перегрузок используется адиабатическая модель нагрева узлов генератора со свойствами высокотеплопроводного тела, охлаждаемого снаружи. Её использование создаёт, с одной стороны, некоторый расчётный запас, но, в то же время, не позволяет учесть некоторые ограничения, возникающие при эксплуатации электрических машин. Например, повышение температуры охлаждающей среды.

Предлагаемый обобщённый принцип защиты от перегрузок показан на рисунке 1.

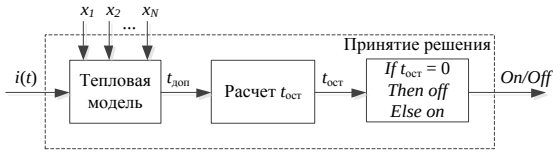


Рис. 1. Принцип построения защиты от перегрузки

Тепловая модель защищаемого генератора может быть реализована двумя способами:

– заданием аналитической зависимости $t_{доп}(I_г)$;

– заданием графической зависимости $t_{доп}(I_г)$.

Первый вариант широко используется в современных защитах. Наиболее прогрессивной модели, на сегодняшний день, соответствует зависимость:

$$t = \frac{K}{I_*^2 - (1 + \alpha)}$$

коэффициент теплоотдачи в окружающую среду, I_*^2 – ток статора, по отношению к номинальному.

Для усовершенствования тепловой модели обратимся к уравнению теплового состояния:

$$dQ_R = dQ_P + dQ_C$$

где dQ_R – Джоулевы потери в проводнике в единицу времени, dQ_P – рассеиваемая теплота в единицу времени, dQ_C – теплота необходимая на повышение температуры проводника на 1^0C [2].

Решение данного уравнения относительно времени выглядит следующим образом:

$$t = \tau \cdot ln\frac{I^2 - I_{да}^2}{I^2 - I_{уст}^2}$$

где I – текущее значение тока перегрузки, $I_{да}$ – ток доаварийного режима, $I_{уст}$ – ток уставки, τ – постоянная времени нагрева защищаемого элемента.

Использование данной модели позволяет охарактеризовать состояние агрегата с учетом предшествующего режима. Сложность определения постоянной времени нагрева ограничивает область применения данной модели.

Второй вариант является предпочтительным, поскольку он достаточно универсален и более просто реализуется программно.

На тепловую модель генератора влияют следующие параметры, учёт которых целесообразен:

– изменение сопротивления проводников вследствие изменения их температуры;

– загрузка генератора в предшествующем режиме;

– скорость изменение нагрузки генератора;

– параметры охлаждающей среды.

Из приведенных факторов следует выбрать наиболее существенные во избежание излишнего усложнения алгоритма защиты.

В соответствии с [3] целесообразно, прежде всего, использовать данные о температуре и давлении охлаждающей среды, поскольку в зависимости от них регламентируются допустимые токи перегрузки генераторов. В [4] и [5] имеются рекомендации по внесению корректировок в работу генератора при отклонении параметров охлаждающей среды от номинальных.

Эффектом, который может быть получен при привлечении дополнительной информации в тепловой модели генератора, является более полное использование перегрузочной способности синхронной машины, а также исключение опасных для машины режимов при неисправностях в системе охлаждения.

Расчёт допустимого времени нахождения генератора в режиме перегрузки достаточно прост для установившегося режима. При переменном характере нагрузки определить допустимое время перегрузки аналитически достаточно сложно, поэтому при разработке алгоритма необходимо выбрать некоторую удобную для использования величину, характеризующую тепловое состояние агрегата. Наиболее удобным для реализации алгоритма микропроцессорными средствами является относительное значение времени перегрузки. Под этой величиной подразумевается сумма отношений времени дискретизации к допустимой длительности его перегрузки при текущем значении контролируемого тока.

$$t_{пер}^{*} = \Delta t \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{t_{доп\ i}}$$

Выводы:

– В результате анализа используемых для реализации алгоритмов защит от перегрузок выявлена необходимость учёта дополнительных параметров, влияющих на величину перегрузочной способности генератора.

– Выявлены дополнительные параметры, которые желательно использовать при совершенствовании алгоритмов защиты генератора от перегрузок.

– Предложен алгоритм учёта параметров охлаждающей среды для усовершенствованной защиты генератора от перегрузок.

Список литературы

1. Гуревич Э.И., Рыбин Ю.Л. Переходные тепловые процессы в электрических машинах. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. –216 с.

2. Qiuling F., Xianggen Y. “Research on overload protection inverse time characteristic for pumped storage generator-motors” IEEE Power Engineering and Automation Conference (PEAM), vol, pp 230-233, 2001.

3. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – СПб: Изд-во ДЕАН, 2004. – 336 с.

4. ГОСТ 533-2000 Машины электрические вращающиеся турбогенераторы.

5. СТО 17330282.27.140.006-2008 Гидрогенераторы. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. – М. 2008. – 74 с.

6. Казовский Е.Я., Данилевич Я.Б., Кашарский Э.Г., Рубисов Г.В Анормальные режимы работы крупных синхронных машин. – Л.: Наука, 1968. – 429 с.

IMPLEMENTATION OF POWER QUALITY ANALYZER IN SIMULINK

Sadyrov M.A.
Scientific Supervisor: Klimova G.N., PhD, Assistant Professor
Sarsikeev E.Zh., Teaching Assistant of Department
Language Advisor: Nizkodubov G.A., PhD, Assistant Professor
Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: sadyrof@mail.ru

A general system diagram for industries is considered for analysis of power quality (Fig.1).

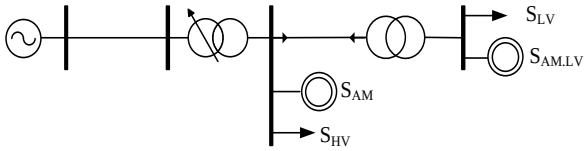


Fig.1. A general system diagram

The model of electricity system was developed in Simulink - a simulation application of MatLab software package (Fig. 2). The model consists of two main parts: power and data.

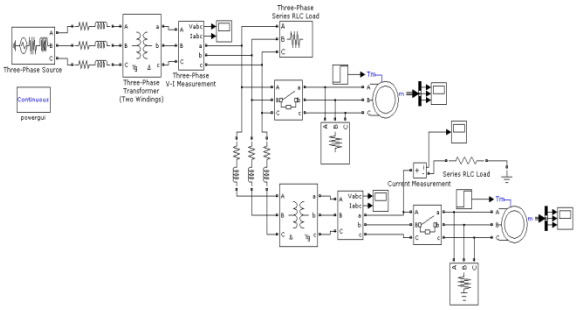


Fig. 2. The electricity system's model in Simulink

Power section consists of a three-phase voltage source, power line, step-down substations, cables, switches, one-and three-phase load and motor load (asynchronous machine). Information section consists of voltage and current measurements, scopes and data bus. The Unified Power Quality Index (UPQI) was calculated in the information section.

According to GOST 13109-97 "Standards of electric power quality within electric power supply systems of general-duty" the UPQI are: steady-state voltage deviation, voltage excursion, flicker indicator, voltage unbalance ratio by negative sequences, voltage unbalance ratio by zero sequences, voltage nonsinusoidality ratio, voltage harmonic component ratio, frequency deviation, voltage depression time, pulsing voltage and temporary overvoltage ratio [1].

Determination of UPQI and optimization of electricity system's model according to GOST 13109-97 are the main objectives of this work.

Manual calculation of UPQI is a difficult task. Therefore, in this work "Power Quality Analyzer" sub model has been developed; it consists of standard blocks from Simulink library (Fig.3).

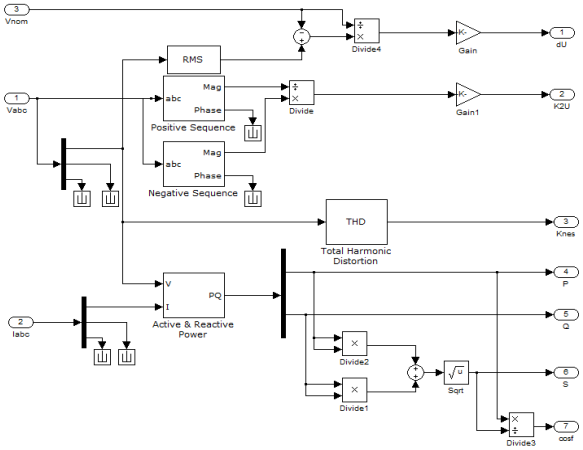


Fig. 3. Structure of "Power Quality Analyzer" sub model

Sub model calculates such UPQI as steady-state voltage deviation δU(%), voltage unbalance ratio by negative sequences K_{2U}(%), voltage nonsinusoidality ratio $K_{n(1)}$(%),active power ratio (cosφ), and also active, reactive and full powers.

A fragment of electrical system is given as an example. It consists of a voltage source, three-phase asymmetric active-inductive load connected to the source, capacitor bank and power quality analyzer (Fig.4).

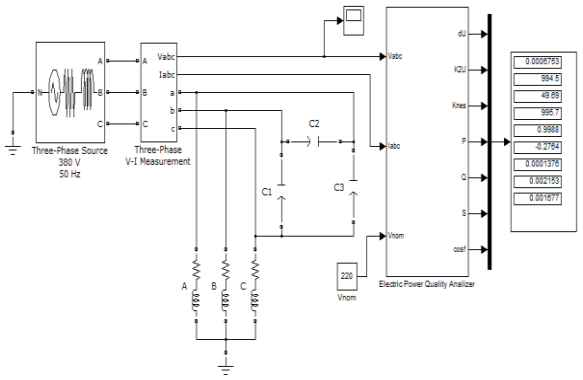


Fig. 4. A fragment of electrical system with a power quality analyzer

Simulation results without using capacity banks, proves that the main UPQI are in acceptable limits (Table 1).

Table 1. Simulation results

UPQI	ΔU, %	K_{2U}, %	$K_{n(1)}$, %	P, W	Q, VAr	S, VA	cosφ
	-0,29	0,345	1,505	999,4	795,5	1277	0,782

Parameters of electricity system's model were optimized by connection capacity banks in order to compare the main UPQI

Table 2 shows simulation results. The step of capacity change is 50 VAr.

Table 2. Simulation results after optimization

UPQI	Q_c=100 VAr	Q_c=150 VAr	Q_c=200 VAr	Q_c=200 VAr
δU, %	-0,28	-0,27	-0,27	-0,27
K_{2U}, %	0,002	0,001	0,001	0,001
$K_{n(1)}$, %	0,018	0,008	0,008	0,018
P, W	994,4	994,5	994,5	994,5
Q, VAr	646,4	497,2	348,1	198,9
S, VA	1186	1112	1054	1014
cosφ	0,838	0,894	0,944	0,981

Conclusion:

According to simulation results, it can be said, that power quality analyzer works correctly. Optimization solution by inclusion of capacity bank providespositive effect as well. According to table 2 inclusion of capacity bank decreases the steady-state voltage deviation, voltage unbalance ratio by negative sequences, and significantly increases the active power ratio.

Thus, this model of power quality analyzer can be used for rapid analysis of UPQI.

References:

1. GOST 13109-97 "Standards of electric power quality within electric power supply systems of general-duty", 1997. – 35 p.

2. V.P.Dyakonov. Simulink 5/6/7: Tutorial. - M.: DMK-Press, 2008. - 784 p.: Ill.

СЕКЦИЯ 2

Приборостроение

SECTION 2

Instrument making

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТ С ЧИПАМИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ[1]

Азин А.В., Марицкий Н.Н., Пономарев С.А.
Научный руководитель: Пономарев С.В., канд. физ.-мат. н., зав. Лаборатории
Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: antonazin@mail.ru

Изделия, предназначенные для функционирования в условиях механических нагрузок, должны быть прочными и устойчивыми при влиянии различных факторов. Испытания электронных плат(ЭП) на все виды воздействий требуют длительного времени, наличие разнообразного дорогостоящего оборудования и, кроме того, ЭП будут повторно проходить этот объем испытаний уже в составе аппаратуры. Поэтому необходим метод, который не задействует сложного оборудования и способный проверить надежность работы разрабатываемой ЭП при эксплуатационных нагрузках.

Существует способ испытания ЭП монотонным изгибом, предлагаемый стандартом IEC-PAS 62137-3 [1]. Для испытаний ЭП ее устанавливают на две опоры поверхностью с монтажом вниз и при помощи индентора (наконечника) производят на нее давление сверху до тех пор, пока паяные соединения не будут нарушены; глубину сгиба фиксируют (Рис.1). Оценка прочности соединений производится сравнением глубины сгиба до и после цикла резких смен температуры

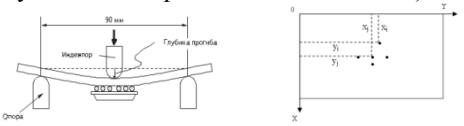
Но испытания согласно этого способа не учитывают условия эксплуатации и реальное нагружение ЭП в составе приборов (не отслеживаются граничные условия закрепления ЭП, вид деформаций при различных механических нагружениях). Кроме того, зона приложения нагрузки ограничена одной точкой, причем необходимо обеспечение линейной зависимости прикладываемой нагрузки от величины прогиба.

В разрабатываемом методе сначала создают подробную конечно-элементную модель ЭП, и проводят анализ прибора на все виды механических нагрузок. Например, для аппаратуры применяемой на космических аппаратах, - это квазистатические (линейные), вибрационные (гармоническая и случайная вибрация) и ударные воздействия. По результатам такого моделирования получают поле перемещений, возникающих в ЭП при эксплуатации в составе прибора. Затем строят огибающую максимальных значений перемещений. Реализация этого поля перемещений с соблюдением соответствующих граничных условий закрепления платы в приборе обеспечит при отработочных испытаниях (испытания проводят на расчетные нагрузки, включающие коэффициенты безопасности) создание напряжений, которые не будут превышены при эксплуатации. Расчетным путем далее выбирают точки приложения нагрузки и точку с максимальным перемещением.

Затем величину нагрузки в каждой из выбранных точек определяют по формуле 1 (Рис.2):

$$\delta_j(x_i, y_i) = G * P_i(x_j, y_j)/D \qquad (1)$$

где $\delta_j(x_i,y_i)$– перемещение в j точке под влиянием нагрузки приложенной в i точке; $P_i(x_j,y_j)$ – нагрузка приложенная в точке i; G – коэффициент пропорциональности связывающий перемещение с усилием и цилиндрической жесткостью платы; $D = E \cdot h^3/12(1-\nu^2)$ – цилиндрическая жесткость платы (E – модуль упругости материала печатной платы, h – толщина печатной платы, ν – коэффициент Пуассона материала печатной платы).



а) б)

Рис. 1. а) схема проведения испытания существующим методом; б) схема расчета предлагаемого метода

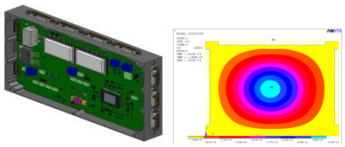
Такой подход (учет перемещений в контролируемой точке от нагрузок, приложенных во всех точках) позволяет получить поле перемещений и контролировать его уже по формуле (2).

$$\delta_{max}(x_j, y_j) \geq \sum_{i=1}^{N} \delta_j(x_i, y_i) + \Delta \qquad (2)$$

где $\delta_{max}(x_j,y_j)$ – максимальное перемещение в точке j; $\sum_{i=1}^{N} \delta_j(x_i, y_i)$ – суммарное перемещение в j точке; N – количество точек приложения нагрузки (N≥1); j – номер точки с максимальным перемещением; i – номер текущей точки с перемещением; Δ – погрешность задания перемещения.

Затем переходят к проведению испытаний, при этом в оснастке для установки ЭП обеспечивают граничные условия, аналогичные условиям закрепления ЭП в составе прибора. Это обеспечивает нагружение ЭП в зоне закрепления, как при работе в составе прибора. Причем нагружение в выбранных точках проводят последовательно, контролируя перемещения в остальных точках, и при необходимости увеличивают перемещение в последующих точках, обеспечивая создание поля перемещений с реальными возможностями оборудования без опасения не нужного перегружения ЭП, при этом напряжения, возникающие в плате, не превышают допустимых значений для материала электронной платы и комплектующих элементов. При созданном таким образом напряженном состоянии ЭП проверяют целостность электрических цепей проходящих через наиболее напряженные контакты.

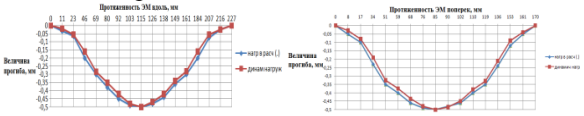
Для подтверждения работы данного метода проведено численное моделирование электронного модуля (ЭМ), состоящего из двух ЭП наклеенных на алюминиевую рамку (Рис.3а). На рис.3б показано поле перемещений поверхности ЭМ, возникающее при инерционной нагрузке с ускорением 20g.



а) б)

Рис. 3. Электронный модуль:а) общий вид, б) изолинии прогибов платы при динамических испытаниях электронного модуля

С использованием формул (1) и (2), рассчитаны точки приложения локальных нагрузок и величины этих нагрузок. Затем проведены испытания с граничными условиями в оснастке для установки ЭМ аналогичными условиям закрепления ЭМ в составе прибора. Рассчитанные нагрузки прикладывались в выбранных точках, в результате получен определенный прогиб, который соответствует прогибу поверхности ЭМ при динамическом нагружение. Сравнение профилей прогиба вдоль и поперек ЭМ при двух способах нагружения представлено на рис.4а и 4б.



а) б)

Рис. 4. Профили прогиба поверхности ЭМ: а) вдоль ЭМ, б) поперек ЭМ

Из графиков видно, что прогибы совпадают. Поэтому можно заключить, что представленный метод учитывает условия эксплуатации и реальное нагружение ЭП в составе прибора, а, следовательно, позволяет проводить более качественный анализ надежности работы ЭП[2].

Разработано устройство (стенд), с помощью которого выше описанный метод можно было осуществить. На рисунке 5 представлена конструкция испытательного стенда для механических испытаний электронных модулей, состоящая из нажимного механизма, кондуктора и крепежной системы с нутромером.

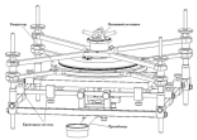


Рис. 5. Конструкция измерительного стенда

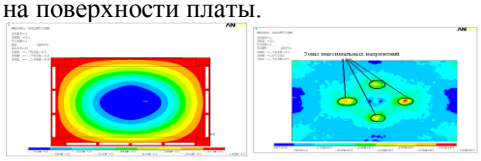
Принцип работы устройства заключается в следующем: ЭМ устанавливается на опоры стенда (существует модификация опор для закрепления ЭП, не имеющих жесткой рамки) таким образом, чтобы центральная ось стенда проходила через точку максимального прогиба модуля. Присоединяется прибор проверки функциональности ЭМ.

В кондуктор устанавливаются инденторы, за счет них осуществляется нагружение ЭМ. Количество и расположение инденторов на поверхности ЭП определяется из расчетов описанного метода.

К нижней стороне ЭМ подводится подвижный стержень нутромера. Нажимной механизм осуществляет нагрузку на инденторы, поверхность ЭМ прогибается и индикатор нутромера показывает величину прогиба.

В инженерном пакете ANSYS промоделировано нагружение ЭМ, установленного на четырех опорах, пятью инденторами. В результате приложенной нагрузки поверхность модуля ЭМ прогибается так, как показано на Рис. 6а (профиль прогиба поверхности ЭМ представлен на рис.4).

На рис. 6б представлены напряжения (выделены зоны максимальных напряжений), возникающие на поверхности платы.



а) б)

Рис. 6. Испытание ЭМ: а) прогиб поверхности ЭМ под нагрузкой; б) напряжения на плате от приложенной нагрузки

Максимальные напряжения на поверхности платы возникают в зонах контакта с инденторами, за счет которых проводится нагружение ЭМ. При этом максимальная интенсивность напряжений не превосходит $0.729 \cdot 10^7$ Н/м^2, тогда как прочность защитного слоя платы составляет $0.2 \cdot 10^8$ Н/м^2 , следовательно защитная поверхность платы не будет повреждена. То есть испытания работы ЭМ можно провести с помощью данного метода и стенда, без опасения внесения повреждений ЭП от инденторов стенда.

Приведенные результаты показывают, что разработанный метод нагружения и устройство позволяют реализовать рекомендации стандарта IEC-PAS 62137-3 при тестовых испытаниях ЭМ и расширить его возможности применения[1].

Список литературы

1. Стандарт IEC-PAS 62137-3. Технология электронного монтажа. Приложение D// Технологии в электронной промышленности [Текст] - 2009, №1,с.42.

2. Пономарев С.В., Азин А.В., Марицкий Н.Н. и др. Способ испытаний электронных плат на механические воздействия. Заявка на патент №2012123246.05.06.2012

[1] Работа выполнена в рамках реализации постановления Правительства РФ от 09.04.2010г. № 218, контракт №13.G25.31.0017.

РАЗРАБОТКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА КОРИОЛИСОВОГО РАСХОДОМЕРА

Баландин Е.А., Баландина Т.Н.
Научный руководитель: Гурин Л.Б. к.т.н. профессор
Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail:balaniva@sibmail.com

Значение счетчиков и, особенно расходомеров жидкости, газа и пара очень велико. Раньше основное применение имели счетчики воды и газа преимущественно в коммунальном хозяйстве городов. Но с развитием промышленности все большее значение приобрели расходомеры жидкости, газа и пара.

Расходомеры необходимы прежде всего для управления производством. Без них нельзя обеспечить оптимальный режим технологических процессов в энергетике, металлургии, в химической, нефтяной, целлюлозно-бумажной и многих других отраслях промышленности. Эти приборы требуются также для автоматизации производства и достижения при этом максимальной его эффективности.

Целью данного проекта является разработка конструкции кориолисова массового расходомера с прямой трубкой, составление технологического процесса сборки.

В основе принципа измерения расходомеров лежит эффект Кориолиса.

Массовый расход определяется путем измерения временной задержки между сигналами детекторов, которая пропорциональна массовому расходу. При отсутствии потока измеряемой среды изгиба трубки не происходит, и выходной сигнал отсутствует.

Резонансная частота трубки зависит от ее геометрии, материала, конструкции и массы. Масса состоит из двух частей: массы самой трубки и массы измеряемой среды в трубке. Масса трубок постоянна для данного датчика. Поскольку масса среды в трубке равна произведению плотности среды и внутреннего объема трубки, а объем трубки является константой для данного типоразмера датчика, то резонансная частота колебаний трубки может быть привязана к плотности среды и определена путем измерения резонансной частоты колебаний, периода колебаний трубки и температуры (изменение модуля упругости материала трубки при изменении температуры учитывает температурный сенсор).

Основными элементами датчика расхода являются две трубки: опорная и расходомерная, на которых монтируются:

- соединительная коробка с силовой электромагнитной (задающей) катушкой возбуждения и магнитом;
- два тензодатчика с магнитами и электромагнитными катушками;
- терморезистор.

Элементы датчика закрыты защитным кожухом, на котором нанесен указатель направления потока.

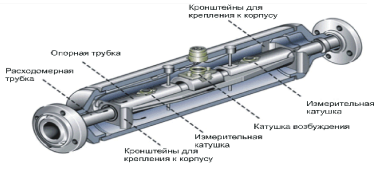


Рис. 1. Устройство Кориолисового расходомера

Расходомерная трубка внутри корпуса датчика колеблется с собственной частотой.

Привод заставляет трубку вибрировать. Электромагнитный привод состоит из катушки, соединенной с опорной трубкой, и из магнита, соединенного с расходомерной трубкой. На катушку подается переменный ток, который заставляет магнит периодически то притягиваться, то отталкиваться.

В ходе данной работы был выбран материал для изготовления трубки расходомера - титановый сплав ВТ16. Титан ВТ16 относится к высокопрочным одной системы с титаном марки ВТ14, но отличается от последнего меньшим содержанием алюминия. В связи с этим сплав ВТ16 хорошо деформируется не только в горячем, но и в холодном состоянии. Расчеты параметров трубки были произведены по СА 03-003-07 Стандарт ассоциации. Расчеты на прочность и вибрацию стальных технологических трубопроводов.

Для трубопровода, рассматриваемого как стержень с постоянным поперечным сечением на двух опорах, собственная частота fj, соответствующая j-той форме собственных колебаний (в данном случае $j = 1$):

$$f_j = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{K_j^2}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot 3.14} \cdot \frac{1.76^2}{0.4^2} \sqrt{\frac{19 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 \cdot 0.00182}{0.103}} = 13{,}53(Гц)$$

$$f_2 = \frac{1}{2 \cdot 3.14} \cdot \frac{1.76^2}{0.4^2} \sqrt{\frac{19 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 \cdot 0.00215}{0.122}} = 13{,}51(Гц)$$

где, K_j - j-тый корень частотного уравнения, для данной формы труб он равен 1.76 ;

L - длинна трубы, равна 0.46 (м);

E - модуль упругости равен 11 · 10^{-4} (МПа) при 20 °С.

I - момент инерции, для труб расходомера момент инерции с плотностью жидкости $\rho_o = 0.5 \cdot 10^3 (кг/м^3)$, равен $0.00182 (кг \cdot м^2)$; Для труб расходомера момент инерции с плотностью жидкости $\rho_o = 1.5 \cdot 10^3 кг/м^3$, равен $0.00215 (кг \cdot м^2)$

m - масса трубы, для жидкости с плотностью жидкости $\rho_o = 0.5 \cdot 10^3 (кг/м^3)$, равна 0.103 (кг), с плотностью жидкости $\rho_o = 1.5 \cdot 10^3 (кг/м^3)$ 0.122 (кг).

Кориолисов датчик с прямой трубкой состоит из следующих частей:

Расходомерная Трубка: бесшовная холоднодеформированная труба из сплава на основе титана ГОСТ 22897-86.

Опорная трубка: на работает как вторая расходомерная трубка и служит местом установки катушки возбуждения и измерительных катушек. Когда расходомерная трубка отклоняется вниз, опорная трубка поднимается вверх.

Материал должен быть не магнитным, тогда возьмем: Сталь А2 (08Х18Н10) ГОСТ 7350-77.

Кронштейны для крепления к корпусу: фиксируют измерительную систему (расходомерную трубку и опорную трубку) на корпусе[2]. Материал: Сталь 30 ГОСТ 2591-71.

Катушка возбуждения и магнит:



Рис. 2. Катушка возбуждения и магнит

Катушка возбуждения вместе с магнитом используется для генерирования колебаний опорной и расходомерной трубок датчика. Катушка возбуждается для поддержания вибрации трубок с их собственной частотой.

Измерительная катушка и магнит: В конструкцию кориолисовых датчиков с прямой трубкой входят измерительные катушки, расположенные на опорной трубке, и магниты, расположенные на расходомерной трубке. Эти электромагнитные детекторы вырабатывают сигнал, отражающий скорость и положение в данной точке на вибрирующей трубке. Массовый расход определяется расчетом разности фаз этих сигналов.

Терморезистор: Терморезистор соединен непосредственно с расходомерной трубкой, и измеряет температуру технологической текучей среды, проходящей через расходомерную трубку. Этот терморезистор корректирует разницу температур между корпусом и расходомерной трубкой. Такой измерительный контур обеспечивает точное измерение потока и плотности в условиях меняющейся температуры.

Технологическое соединение: фланцевое ГОСТ 9399-81.

Корпус: Корпус или оболочка защищает электронику и электрические схемы от внешней коррозии, обеспечивая дополнительную (вторичную) защиту от технологической текучей среды. Некоторые корпуса могут иметь устройства для прочистки, в соответствии с особыми требованиями при специальных применениях прибора.

В качестве материала для корпуса используется Сталь 30 ГОСТ 2591-71.

Принципиальная схема расходомера с прямой и изогнутой трубками идентичны и представлена на рис.3

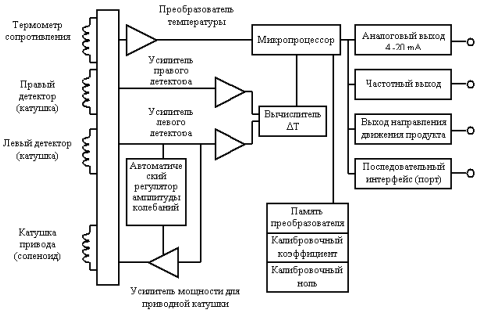


Рис. 3. Принципиальная схема расходомера

Сигналы с измерительных катушек и терморезисторов поступают на усилители, затем на преобразователь сигналов и контроллер. Преобразователь преобразует низкоуровневый сигнал в аналоговый сигнал 4-20 mA и частотный в выходные сигналы.

В данной работе был спроектирован кориолисовый расходомер с прямой трубкой. Было рассчитаны размеры расходомерной трубки, собственная частота колебаний трубки с жидкостью. Была произведена разработка конструкции расходомера.

Список литературы

1. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики: Учеб. пособие для втузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1999. – 718 с.: ил.

2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2/Под общ. Ред. Е.А. Шорникова.-5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004.-412 с: ил.

3. Савельев И. В. Курс общей физики, т. 1. Механика. Молекулярная физика: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 432 с.

4. Стандарт ассоциации. Расчеты на прочность и вибрацию Стальных технологических трубопроводов; Москва 2007.

АНАЛИЗ ОСЛАБЛЕНИЯ СИНФАЗНОГО СИГНАЛА В ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

Баранов П. Ф.
Научный руководитель: Бориков В.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bpf@tpu.ru

Введение

Разработка новых синхронных усилителей с дифференциальным входом (СУДВ) требует проведения анализа функциональных блоков структуры выпускаемых СУДВ с целью выявления источников ошибок, и синтеза новых схемотехнических и алгоритмических решений для их минимизации или компенсации.

В современных СУДВ для сравнения двух сигналов и выделения дифференциального сигнала используются схемы на основе операционных усилителей (ОУ) [1-4].

На рис. 1 приведена макромодель ОУ.

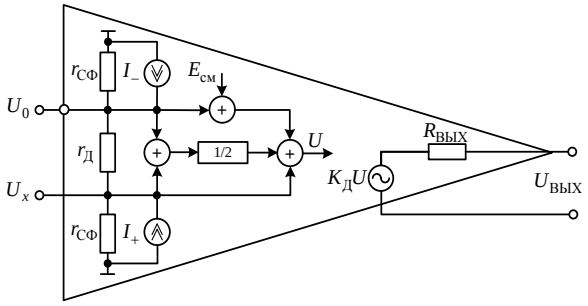


Рис. 1. Макромодель ОУ

В макромодели ОУ напряжение U, формирующее значение ЭДС выходного генератора, содержит несколько составляющих. Если не учитывать прохождение на выход составляющих от входных токов I_+ и I_- усилителя и напряжения смещения $E_{СМ}$, то напряжение на выходе ОУ является функцией дифференциального $U_Д$ и синфазного $U_С$ сигналов на его выходах:

$$U_{вых} = f\left(U_Д, U_С\right) = K_Д U_Д + K_С U_С, \quad (1)$$

где $K_Д$ – коэффициент усиления дифференциального сигнала;

$K_С$ – коэффициент усиления синфазного сигнала.

Решая уравнение (1) относительно дифференциального сигнала $U_Д$ получим:

$$U_Д = \frac{U_{вых}}{K_Д} - \frac{U_С}{K_{ОСС}} = \begin{cases} U_{вых} / K_Д \text{ при } U_С = 0 \\ -U_С / K_{ОСС} \text{ при } U_{вых} = 0 \end{cases},$$

где $K_{ОСС} = K_Д/K_С$ – коэффициент ослабления синфазного сигнала.

$K_{ОСС}$ в схемах сравнения на основе ОУ зависит от точности соотношения сопротивлений в сигнальных цепях и внутренней структуры конкретного ОУ.

Проведем оценку $K_{ОСС}$ схемы сравнения сигналов инструментального ОУ. Анализ работы схемы будем проводить на постоянном токе и принимая что внутренний $K_{ОСС} = \infty$.

Схема вычитания на инструментальном ОУ

Инструментальный усилитель (ИУ) – это прецизионный усилительный блок с дифференциальным входом и замкнутой обратной связью. ИУ обеспечивают усиление разности между напряжениями двух входных сигналов, ослабляя любые сигналы, которые являются общими для обоих входов.

Наибольше распространение получила схема ИУ состоящая из трех ОУ – рис. 2.

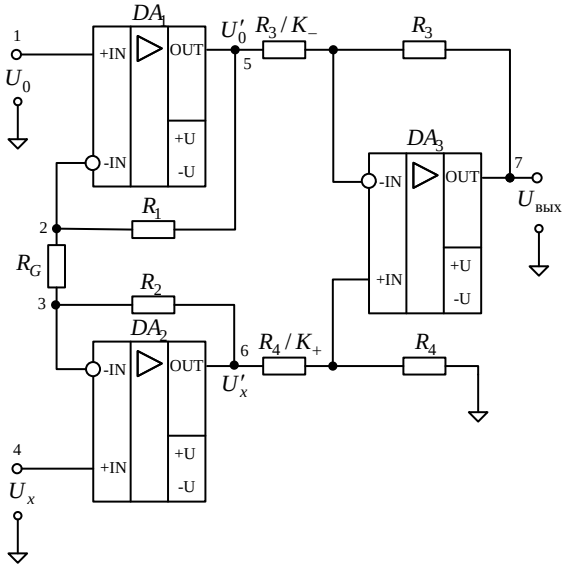


Рис. 2. Схема ИУ на трех ОУ

Первый каскад, состоящий из ОУ DA_1, DA_2 и сопротивлений R_1, R_2, R_G, имеет симметричный вход и высокое входное сопротивление. Второй каскад, состоящий из ОУ DA_3 и сопротивлений R_3, R_4, R_5, R_6, образует схему вычитания на одном ОУ

Используя теорию графов, построим сигнальный граф для ИУ на трех ОУ – рис. 3.

Примем за условие, что усилители DA_1 и DA_2 – идеальны. Тогда на основе эквипотенциальности их входов напряжение U_0 действует одновременно в первом и во втором узлах графа, а напряжение U_x действует одновременно в третьем и четвертом узлах.

Используя принцип наложения, получим, что напряжение U'_0 в пятом узле графа образуется за

счет неинвертирующей передачи напряжения U_0 из первого узла и инвертирующей передачи напряжения U_x из третьего узла схемы (2)

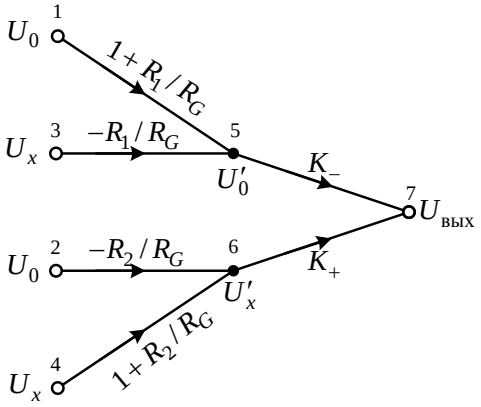


Рис. 3. Сигнальный граф ИУ на трех ОУ

$$U_0' = \left(1+\frac{R_1}{R_G}\right)U_0 - \frac{R_1}{R_G}U_x \qquad (2)$$

Аналогично получим выражения для напряжения U'_x:

$$U_x' = \left(1+\frac{R_2}{R_G}\right)U_x - \frac{R_2}{R_G}U_0 \qquad (3)$$

Напряжение на выходе второго каскада и соответственно на выходе ИУ равняется:

$$U_{вых} = \frac{(1+K_-)}{(1+K_+)}\cdot K_+ U_x' - K_- U_0' \qquad (4)$$

При условии равенства K_+ и K- напряжение на выходе ИУ:

$$U_{вых} = \left(U_x - U_0\right)K_{Д1} = \left(U_x - U_0\right)\left[1+\frac{(R_1+R_2)}{R_G}\right],$$

Где $K_{Д1}$ – коэффициент усиления дифференциального сигнала первым каскадом.

Для оценки $K_{ОСС}$ представим входные сигналы как сумму синфазного и дифференциального напряжений действующих на входах ОУ DA_2:

$$U_x = U_С + \frac{U_Д}{2} \text{ и } U_0 = U_С - \frac{U_Д}{2}, \qquad (5)$$

и подставим (5) в (4) с учетом выражений (2-3):

$$U_{вых} = \frac{\left(K_+ - K_-\right)}{\left(1+K_+\right)}U_С + \frac{\left(K_+ + K_- + 2K_+K_-\right)R_G}{2R_G\left(1+K_+\right)}U_Д + \frac{2\left[K_+R_2 + K_-R_1 + K_+K_-\left(R_1+R_2\right)\right]}{2R_G\left(1+K_+\right)}U_Д \qquad (6)$$

Из уравнения (6) получаем коэффициент ослабления синфазного сигнала:

$$K_{ОСС} = \frac{\left(K_+ + K_- + 2K_+K_-\right)R_G}{2R_G\left(K_+ - K_-\right)} + \frac{2\left[K_+R_2 + K_-R_1 + K_+K_-\left(R_1+R_2\right)\right]}{2R_G\left(K_+ - K_-\right)} \qquad (7)$$

Если сопротивления R_4/K_+ и R_3/K_- отличаются на величину $\Delta K_Д$, а сопротивления R_1 и R_2 на величину ΔR то:

$$K_{ОСС} = \frac{1}{2}\left[\frac{\left(K_Д + K_Д^2 - \Delta K_Д^2\right)\cdot\left(R_G + 2R\right)}{\Delta K_Д R_G} + \frac{2\Delta R}{R_G}\right] \qquad (8)$$

Вывод

Из выражения (6) видно, что коэффициент усиления синфазного сигнала в первом каскаде равен 1. Следовательно, $K_{ОСС}$ будет увеличиваться пропорционально усилению дифференциального сигнала первого каскада.

$K_{ОСС}$ не зависит от выходных сопротивлений источников сравниваемых сигналов, а зависит только от сопротивлений первого и второго каскадов ИУ.

Усиление в ИУ устанавливается посредством изменения сопротивления резистора R_G (рис. 2). Если резистор внешний, то его точность и температурный коэффициент непосредственно влияют на точность и величину дрейфа дифференциального коэффициента усиления, а также уменьшают $K_{ОСС}$ (8). Целесообразно выбирать ИУ с программируемым коэффициентом усиления, так как в таких микросхемах резистор R_G согласован с остальными элементами по номинальному сопротивлению и температурным коэффициентам, что обеспечивает максимальную точность и линейность усиления в полосе рабочих частот при сравнение двух сигналов.

Список литературы

1. Callegaro L, D'Elia V. Guarded Vector Voltmeter for AC Ratio Standard Calibration//IEEE Trans. on Instrum. and Meas. -2002. -Vol. 51, N 4. -P. 632-635.(первая глава)

2. L. E. Bengtsson A microcontroller-based lock-in amplifier for sub-milliohm resistance measurements// Review of Scientific Instruments. -2012. -Vol. 83, N 7 -P. 1263-1271.

3. S. Joshi, V. Thaker, A. Amaravati, M. Shojaei-Baghini Low-power low-noise analog signal conditioning chip with on-chip drivers for healthcare applications// Microelectronics Journal. -2012. -N 43 -P. 828–837

4 M. Min, O. Martens, T. Parve Lock-in measurement of bio-impedance variations//Measurement - 2000 N 27-P. 21–28

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР

Барбин Е.С., Коледа А.Н.
Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., к.т.н., доцент.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bar_es@mail.ru

Создание микроэлектромеханических систем (МЭМС) за последние несколько лет выросло в наиболее быстро развивающуюся и большую отрасль электронной промышленности. Рынок технологий и устройств МЭМС приносит миллиардные прибыли и является одним из самых перспективных рынков XXI века.

Многокомпонентные МЭМС представляют собой модули, объединяющие в одном корпусе несколько измерительных микромеханических устройств. Большое распространение среди различных МЭМС имеют датчики движения – гироскопы и акселерометры, использующиеся в системах ориентации и навигации. В работе рассматривается многокомпонентная микросистема, схема которой приведена на рис. 1.

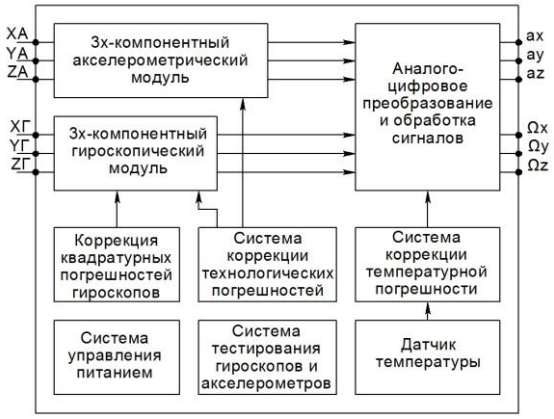


Рис. 1. Структурная схема многокомпонентной микросистемы

Микросистема включает в себя микромеханические измерительные датчики и программно-аппаратную электронную часть, которая осуществляет управление питанием микросистемы, алгоритмическую коррекцию температурных, технологических погрешностей датчиков. Микромеханическими датчиками являются акселерометры, гироскопы и микрорезонатор, выполняющий функцию измерителя температуры для системы коррекции температурных погрешностей.

В условиях жёсткой конкуренции между производителями МЭМС сроки и стоимость этапов разработки новых изделий имеют определяющее значение. Макромоделирование МЭМС на системном уровне позволяет в кратчайшие сроки успешно решать проблемы, связанные с их разработкой. Макромоделирование многокомпонентной системы производится на основе метода модальных суперпозиций [1, 2].

Входящие в микросистему датчики можно представить в виде микрорезонаторов с силами электростатического взаимодействия [3]. В датчике температуры и в канале первичных колебаний гироскопов электростатические силы возбуждают колебания инерционных масс. В акселерометре и в гироскопе по осям информативных колебаний силы электростатического взаимодействия возникают в системе съёма информации. Поэтому общие принципы макромоделирования всех датчиков микросистемы можно рассмотреть на примере микрорезонатора, а затем провести разработку макромоделей для каждого типа датчиков.

Обобщённая схема микрорезонатора представлена на рис. 2.

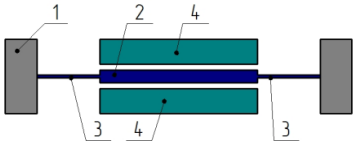


Рис. 2. Обобщенная схема микромеханического резонатора

Микромеханический резонатор состоит из неподвижных электродов 4, на которые подается переменный управляющий сигнал, и подвижной резонирующей части 2, установленной в корпусе 1 на упругих элементах 3. При этом резонирующая часть и неподвижные электроды образуют емкостные зазоры.

Математическая модель микрорезонатора имеет вид

$$m\ddot{y} + \mu_y \dot{y} + ky = F_{эл} - ma_y,$$

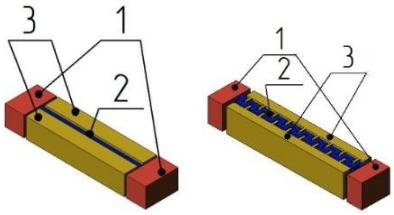
где m – масса резонатора, μ_y – коэффициент сил вязкого трения, k – жесткость подвеса резонатора, $F_{эл}$ – электростатическая сила, a_y – ускорение поступательного движения объекта.

Основным параметром резонатора является его собственная частота, которая зависит от свойств материала структуры, ее геометрии и температуры. Поэтому целью работы является анализ влияния температуры на характеристики резонатора.

ΩМЭМС резонаторы, обладая повышенной устойчивостью к внешним механическим воздействиям, могут также применяться вместо кварцевых в качестве задающего элемента для формирования колебаний со стабильной частотой (генератора), но здесь влияние температуры на собственной частоты выбранной моды колебаний должно быть наименьшим [4].

В соответствии с принципом создания макромоделей на первом этапе для оценки динамического поведения резонатора применяется модальный и температурный анализы. Рассматриваются три типа микрорезонаторов различных форм (рис.

3, 4). Резонаторы изготавливаются из монокристаллического кремния. Исследования проводились с использованием метода конечных элементов в программном комплексе инженерного анализа ANSYS. Разработка конструкции микрорезонаторов производилась в T-Flex CAD.



а) первый тип б) второй тип
1 – корпус, 2 – подвижная масса,
3 - электростатический вибропривод
Рис. 3. Микрорезонаторы

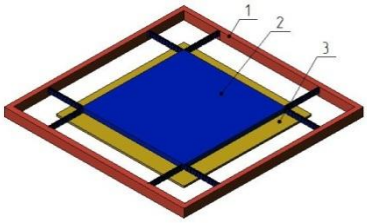


Рис. 4. Микрорезонатор третьего типа

На рис. 5 представлены результаты температурного анализа микрорезонаторов – относительные изменения собственной частоты для каждой моды колебаний.

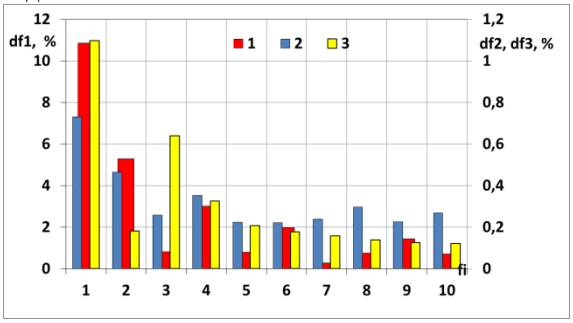
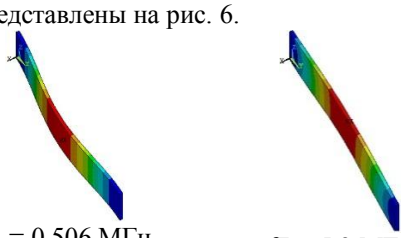


Рис. 5. Относительные изменения собственных частот для микрорезонаторов

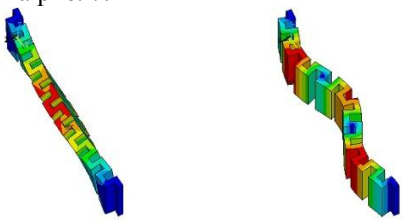
Наибольшей чувствительностью к температуре (10,86 %) обладает первая мода колебаний микрорезонатора первого типа (рис.5), следовательно, его можно использовать в качестве датчика температуры. Седьмая мода колебаний резонатора имеет минимальную чувствительность к температуре (0,28 %) и может использоваться как рабочая в генераторах. Соответствующие им формы колебаний представлены на рис. 6.



f1 = 0,506 МГц f7 = 5,3 МГц

Рис. 6. Формы собственных колебаний резонатора первого типа

Для резонатора второго типа наименьшей чувствительностью по температуре (рис. 5) обладают пятая (0,22 %) и четвертая мода колебаний (0,35 %.). Соответствующие им формы колебаний представлены на рис. 7.



f5 = 2,58 МГц f4 = 2,42 МГц

Рис. 7. Формы собственных колебаний резонатора второго типа

Следовательно, данный тип резонатора предпочтительно использовать в генераторе.

На рис. 8 приведена первая форма колебаний резонатора третьего типа, выполняющего роль внутренней рамки гироскопа. Остальные формы не представляют интереса.

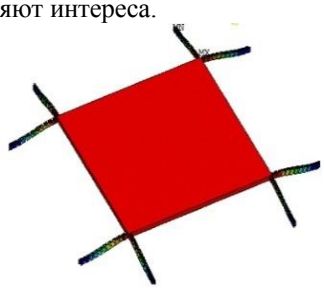


Рис. 8. Первая форма собственной частоты резонатора третьего типа (f1=6,18 кГц).

Рассмотренные в статье конструкции резонаторов показывают их возможность применения в качестве датчика температуры для первого типа, генератора для второго типа и внутренней рамки гироскопа для третьего типа.

Список литературы

1 Kolchuzhin, V.A. A parametric multilevel MEMS simulation methodology using finite element method and mesh morphing // International Conference Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE). – 2012. – Vol.4.

2 Kolchuzhin V.A., “Methods and Tools for Parametric Modeling and Simulation of Microsystems based on Finite Element Methods and Order Reduction Technologies”, Dissertation, Technische Universitat Chemnitz, 2010

3 Распопов В. Я. Микромеханические приборы: учебное пособие. - М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.

4 Колпаков Ф.Ф., Борзяк Н.Г., Кортунов В.И. Микроэлектромеханические устройства в радиотехнике и системах телекоммуникаций – Учеб. пособие. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет «Харьковский авиационный институт», 2006. – 82 с.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОАКСИАЛЬНЫХ ШУНТОВ

Бедарева Е.В.
Научный руководитель Муравьев С.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bedareva@tpu.ru

Введение

Для измерений формы и параметров больших импульсных и кратковременных токов [1-2], при исследовании переходных режимов короткого замыкания во время испытаний энергетического оборудования используются резистивные преобразователи тока – токовые шунты различной конструкции [3-5]. Для измерений больших токов в широком диапазоне частот предпочтение отдается коаксиальной конструкции шунта [6]. Таким образом, проблема проектирования коаксиальных шунтов переменного тока с высокими метрологическими характеристиками весьма актуальна.

На метрологические характеристики шунтов переменного тока влияют следующие факторы: конструкция резистивного элемента; геометрические и электрические параметры; место подключения и способ расположения цепи напряжения [7].

Исходя из влияющих факторов, сформулируем основные требования к функционированию шунтов переменного тока:

– малые значения остаточных магнитного и электрического полей резистивного элемента;

– малое влияние поверхностного эффекта на динамические характеристики;

– минимальное влияние электромагнитной связи между цепями напряжения и тока.

В связи с этим качественная регистрация больших переменных токов является одной из важнейших задач в технике испытаний.

Целью работы является описание динамических характеристик коаксиальных шунтов в аналитическом виде. Результаты исследований будут использованы для нахождения способов улучшения характеристик шунтов с использованием электрических цепей.

Расчет полных динамических характеристик шунтов

Расчету полных динамических характеристик (ДХ) посвящено большое количество работ, опубликованных как несколько десятилетий назад, так и сравнительно недавно, например, [3,6,7].

В упомянутых выше работах выводится выражение для полного сопротивления шунта трубчатой конструкции на основе решения дифференциального уравнения, выраженного в цилиндрической системе координат, с применением функций Бесселя. Это уравнение имеет стандартный вид [7]:

$$\frac{d^2\dot{\delta}_m}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{d\dot{\delta}_m}{dr}-j\omega\mu\sigma\dot{\delta}_m=0, \qquad (1)$$

где $\dot{\delta}_m$ – комплексная амплитуда плотности тока; r – внутренний радиус резистивного элемента; σ – электрическая проводимость материала резистивного элемента; μ – магнитная проницаемость материала резистивного элемента.

Для ослабления поверхностного эффекта толщина стенки шунта Δ выбирается значительно меньшей его внутреннего радиуса r. В этом случае дифференциальное уравнение имеет вид:

$$\dot{\delta}_m=\dot{\delta}_{0m}\frac{(1+j)m\Delta}{\mathrm{sh}[(1+j)m\Delta]}\mathrm{ch}[(1+j)mx], \qquad (2)$$

где $m=\sqrt{\frac{\omega\mu}{2\rho}}$ – величина, обратная эквивалентной глубине проникновения волны, м$^{-1}$; ω – круговая частота, рад/с; ρ – удельное сопротивление материала резистивного элемента, Ом·м; Δ– толщина резистивного элемента, м; x – положение элементарного слоя цилиндра, к которому подключены потенциальные выводы.

Выражение (2) показывает, что ДХ зависят от места и способа подключения потенциальных выводов, а также от поверхностного эффекта (скин-эффект). Оно позволяет получить выражение для полного сопротивления коаксиального шунта при подключении потенциальной цепи к любому элементарному слою цилиндра:

$$\dot{Z}=R(1+j)m\Delta\frac{\mathrm{ch}[(1+j)mx]}{\mathrm{sh}[(1+j)m\Delta]}, \qquad (3)$$

где R – сопротивление шунта при постоянном токе.

Из формулы (3) получаются выражения для амплитудной $K(\omega)$ и фазовой $\varphi(\omega)$ характеристик трубчатого и коаксиального шунтов:

$$K(\omega)=m\Delta\sqrt{2\frac{[\mathrm{ch}(mx)\cos(mx)]^2+[\mathrm{sh}(mx)\sin(mx)]^2}{[\mathrm{sh}(m\Delta)\cos(m\Delta)]^2+[\mathrm{ch}(m\Delta)\sin(m\Delta)]^2}}, \qquad (4)$$

$$\varphi(\omega)=\frac{\pi}{4}-\mathrm{arctg}\frac{\mathrm{tg}(m\Delta)}{\mathrm{th}(m\Delta)}+\mathrm{arctg}\frac{\mathrm{tg}(mx)}{\mathrm{cth}(mx)}. \qquad (5)$$

На практике, чаще всего, используются два способа подключения потенциальных выводов, приведенные на рис. 1:

– к внешней поверхности резистивной трубки (выводы 1 и 1');

– к внутренней поверхности резистивной трубки (выводы 2 и 2').

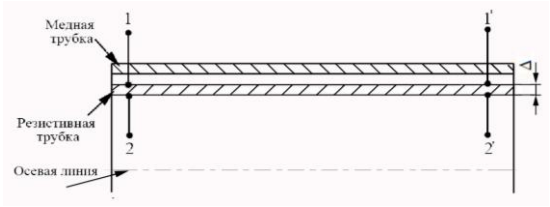


Рис. 1. Способы подключения потенциальных выводов

При подключении потенциальных выводов к внешней поверхности резистивного элемента (выводы 1 и 1') на его полное сопротивление на переменном токе влияют поверхностный эффект и магнитное поле. Тогда полное сопротивление определяется по следующей формуле:

$$\dot{Z}_{(x=\Delta)} = R(1+j)m\Delta\,\mathrm{cth}(1+j)m\Delta\,. \qquad (6)$$

Амплитудная и фазовая характеристики тогда приобретают вид:

$$K(\omega) = m\Delta\sqrt{2\frac{[\mathrm{ch}(m\Delta)\cos(m\Delta)]^2+[\mathrm{sh}(m\Delta)\sin(m\Delta)]^2}{[\mathrm{sh}(m\Delta)\cos(m\Delta)]^2+[\mathrm{ch}(m\Delta)\sin(m\Delta)]^2}}\,, \qquad (7)$$

$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{4} - \mathrm{arctg}\frac{\mathrm{tg}(m\Delta)}{\mathrm{th}(m\Delta)} + \mathrm{arctg}\frac{\mathrm{tg}(m\Delta)}{\mathrm{cth}(m\Delta)}\,. \qquad (8)$$

При подключении потенциальных выводов к внутренней поверхности резистивного элемента (выводы 2 и 2') на его полное сопротивление на переменном токе оказывает существенное влияние поверхностный эффект. Тогда полное сопротивление определяется по следующей формуле:

$$\dot{Z}_{(x=0)} = \frac{R(1+j)m\Delta}{\mathrm{sh}[(1+j)m\Delta]}\,, \qquad (9)$$

а амплитудная и фазовая характеристики имеют вид:

$$K(\omega) = m\Delta\sqrt{\frac{2}{[\mathrm{sh}(m\Delta)\cos(m\Delta)]^2+[\mathrm{ch}(m\Delta)\sin(m\Delta)]^2}}\,, \qquad (10)$$

$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{4} - \mathrm{arctg}\frac{\mathrm{tg}(m\Delta)}{\mathrm{th}(m\Delta)}\,. \qquad (11)$$

Из выражений (3 – 11) следует, что от способа подключения потенциальных выводов зависит верхняя граничная частота коаксиального шунта. Этот факт позволяет создавать шунты с заданными характеристиками. Кроме того, важным преимуществом коаксиальных шунтов является высокая помехоустойчивость, обусловленная конструктивными особенностями: симметричностью потенциального контура и экранирующим действием двух цилиндров.

Программное обеспечение для расчета динамических характеристик коаксиальных шунтов

Для автоматизации процесса определения динамических характеристик коаксиальных шунтов в среде графического программирования LabVIEW 2009 разработано специализированное программное обеспечение (ПО), рис.2.

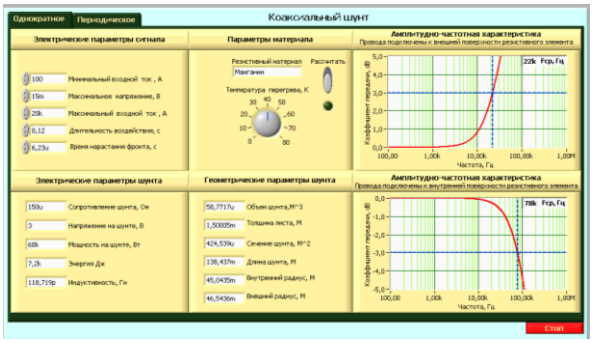


Рис. 2. Лицевая панель ПО

На рис. 2 представлены амплитудно-частотные характеристики при рассмотренных способах подключения шунта. Видно, что при подключении потенциальных выводов к внутренней поверхности резистивного элемента получаем более широкую полосу пропускания шунта.

Заключение

Проведенные теоретические исследования и расчеты динамических характеристик разрабатываемого коаксиального шунта показывают, что верхняя граничная частота зависит от способа подключения потенциальных выводов и поверхностного эффекта.

В дальнейшем с учетом проведенных исследований предполагается увеличить полосу пропускания или повысить точность коэффициент преобразования с помощью электрических компенсирующих цепей.

Список литературы

1 Muravyov S.V., Borikov V.N., Natalinova N.M. A Computer System: Measurement of Welding Surge Current // Measurement and Control. – 2009. – V. 42 – №. 2. – P. 44-47.

2 Бориков В. Н., Баранов П. Ф., Мамаев А. И. Программно-аппаратный комплекс для исследования микроплазменных процессов в растворах // Приборы. – 2011. – №. 12. - С. 53-58.

3 Kawamura T., Haginomori E., Goda Y., Nakamoto T. Recent Developments on High Current Measurement Using Current Shunt // Transactions on electrical and electronic engineering. – 2007. – V. 2. – No. 5. – P. 516-522.

4 Заревич А. И., Муравьев С. В., Бедарева Е. В., Величко О. Н. Цифровая обработка импульсных сигналов для определения частотных характеристик преобразователей тока // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – №. 5. – С. 116-120.

5 Malek Z.B.A. Design and construction of a new coaxial high voltage fast impulse current transducer // Research Report N 71586, Malaysia University of Technology, 2003.

6 Johnson C.M., Palmer P.R. Current measurement using compensated coaxial shunts // IEE Proceedings – Science, Measurement and Technology. – V.141. – №. 6. – 1994. – P. 471 – 480.

7 Векслер М.С., Теплинский А.М. Шунты переменного тока. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 120 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ МАССОВО-ЭНЕРГИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТИП D, ОТ УКАЗАННЫХ В СТАНДАРТЕ ASTM A956, НА ПОКАЗАНИЯ ТВЕРДОМЕРОВ

Бизяев В.О., Сясько В.А.
Научный руководитель: Потапов А.И., д.т.н. профессор
ЗАО «Константа» 198095 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, дом 29, лит. "О"
E-mail: bv@constanta.ru

Проблема гарантированного обеспечения жёсткости, износоустойчивости, прочности, в том числе циклической, с учетом возрастающих требований к массо–экономической отдаче становится все более актуальной. Одним из путей решения этой проблемы является повышение эффективности контроля твёрдости изделий из конструкционных сталей, а также цветных металлов в машиностроительной области с применением метода динамического ударного нагружения, при обеспечении заданных нормативной документацией погрешности и достоверности результатов измерений в процессе производства и эксплуатации (мониторинга).

Метод измерения твёрдости динамическим ударным нагружением (метод Лейба) регламентирован стандартом ASTM A956. В данном стандарте достаточно строго регламентированы основные массово-энергитические параметры первичных измерителей. Несмотря на широкий спектр производителей динамических твердомеров, продукция лишь не многих фирм полностью соответствует требованиям норматива. Основным несоответствием является большее отклонение массы и скорости полёта бойка, чем допустимо по, указанному выше стандарту. Достоверность показаний таких приборов по шкалам твёрдости Бринелля, Виккерса, Роквелла и др. достигается индивидуальной градуировкой каждого преобразователя. Однако, под сомнение ставится достоверность измерений по шкале Лейба, так как градуировки по данной шкале не представляется возможной. Так же, следует отметить, что существуют таблицы соответствия значений твёрдости по шкале Лейба и других шкал (таблицы Proceq-1989), применение которых, возможно только при достоверных результатах измерений по шкале Лейба.

Было проведено исследование влияния отклонений массы и скорости полёта бойка на показания твердомера с преобразователем типа D, как наиболее широко применимого. Для преобразователей тип D стандарт ASTM A956 устанавливает массу бойка: 5,45±0,05 г, скорость полёта бойка: 2,05±1% м/с.

Все испытания проводились на одних и тех же мерах твёрдости, предназначенных специально для динамических твердомеров, изготовленных в Чехии (Medet) и там же поверенных в метрологическом центре №2263. Использовался один и тот же твердомер (Константа ТД), с одним и тем же преобразователем, с бойками разной массы и разной настройкой скорости полёта бойков. Все измерения проводились в одном пространственном положении преобразователя (вертикальное, удар сверху-вниз), что исключает возможную дополнительную погрешность, вызванную корректировкой показаний от угла наклона преобразователя. Все полученные данные являются осреднением пяти измерений.

В ходе испытаний были получены следующие данные:

Таблица 1. Показания твердомера «Константа ТД» при разных массах бойков, при скорости полёта бойка 2,05 м/с

Масса бойка, г	Твёрдость меры, HLD				
	376	540	674	728	813
5,70	368	536	665	717	803
5,62	366	538	665	720	809
5,50	369	539	667	721	812
5,45	371	541	670	720	807
5,40	368	537	665	720	812

Таблица 2. Показания твердомера «Константа ТД» при разных скоростях полёта бойков, при массе бойка 5,45 г

Скорость полёта бойка, м/с	Твёрдость меры, HLD				
	376	540	674	728	813
2,33	365	531	656	709	797
2,18	368	533	664	715	809
2,10	366	539	667	720	805
2,05	371	541	670	720	807
2,00	374	543	670	725	812
1,88	375	559	678	727	816
1,70	380	553	686	732	820

В общем случае, можно выявить следующую зависимость: при увеличении массы бойка или увеличении скорости его полёта (т.е. при увеличении энергии удара), показания изменяются в сторону уменьшения, при уменьшении массы бойка или уменьшении скорости его полёта (т.е. при уменьшении энергии удара), показания изменяются в сторону увеличения.

Для удобства восприятия отклонений показаний, составлены следующие таблицы, где вычислены отклонения экспериментальных данных, от показаний при массе бойка: 5,45 г, скорости полёта бойка: 2,05 м/с (значения твёрдости переведены в шкалу Виккерса, по таблицам Proceq-1989):

Таблица 3. Отклонение показаний твердомера «Константа ТД» относительно показаний при массе бойка 5,45г, скорости его полёта 2,05м/с

Масса бойка, г	Отклонение показаний, HV				
5,70	-2	-5	-7	-5	-10
5,62	-4	-3	-7	0	5
5,50	-1	-2	-4	2	12
5,45	0	0	0	0	0
5,40	-2	-4	-7	0	12

Таблица 4. Отклонение показаний твердомера «Константа ТД» относительно показаний при массе бойка 5,45г, скорости его полёта 2,05м/с

Скорость полёта бойка, м/с	Отклонение показаний, HV				
2,33	-4	-10	-20	-19	-25
2,18	-2	-8	-9	-9	5
2,10	-4	-2	-4	0	-5
2,05	0	0	0	0	0
2,00	2	2	0	9	12
1,88	3	20	12	13	22
1,70	6	13	25	21	32

Из полученных данных следует, что при соблюдении требований стандарта ASTM A956 отклонения не превышают 12HV. Однако, необходимо отметить, что испытания проводились только при изменении одной характеристики, исключая наихудшие возможные варианты, когда и масса и скорость имеют минимально или максимально допустимые значения одновременно. В первом приближении возможно считать, что при небольших отклонениях массово-энергитических параметров преобразователей отклонения показаний складываются. Таким образом, максимальное отклонение показаний может достигать 24HV, что достаточно велико. У большинства динамических твердомеров заявленная допустимая погрешность не превышает ±25HV. Отсюда следует, что соблюдение стандарта ASTM A956 является обязательным, а, возможно, недостаточным условием для получения достоверных показаний по шкале Лейба.

На практике, изготовление бойков с разбросом масс менее ±0,05 г является достаточно сложной задачей. Более простым способом повышения достоверности измерений по шкале Лейба является применение конструктивных решений, позволяющих проводить тонкую настройку скорости полёта бойка.

Отдельным вопросом для рассмотрения является конструкция бойка: его жёсткость и распределение масс. Влияние конструкции бойка на показания твердомеров объясняется возникновением вибраций в самом бойке в момент удара об объект контроля. Наиболее наглядно это выявляется на примере преобразователей тип G.

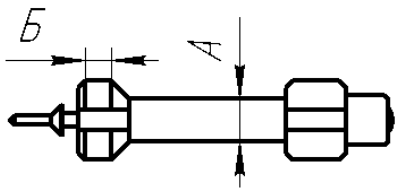


Рис. 1 Эскиз бойка для преобразователей тип G

Было проведено исследование влияния конструкции бойка на показания твердомера Константа ТД, способом, аналогичным описанным выше (масса и скорость полёта бойков соответствуют требованиям стандарта ASTM A956 20г, 2,98м/с). Бойки отличались друг от друга разными величинами размеров А и Б, подобранными так, что массы бойков были одинаковыми (20г).

По результатам испытаний построены следующие графики, где по оси абсцисс отложены номинальные значения твёрдости мер по шкале Лейба (HLG), по оси ординат отложены отклонения показаний твердомера от номинальных значений мер твёрдости.

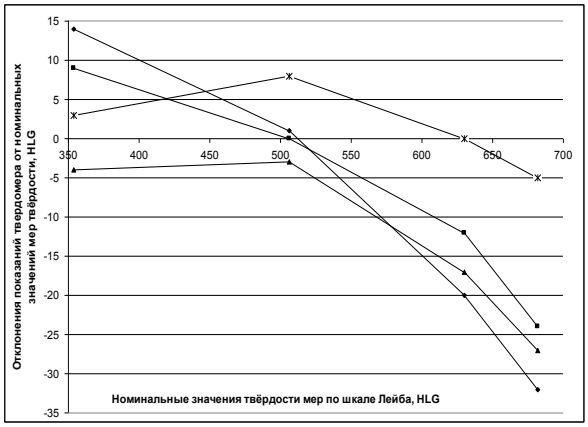


Рис. 2 Графики отклонений показаний твердомера в зависимости от конструкции бойка

Таким образом, выявлено, что конструкция бойка может оказывать значительное влияние на показания твердомера, особенно в области высокой твёрдости. Этот факт не отражён и не регламентируется в существующих стандартах по динамическим твердомерам, что вызывает необходимость введения дополнительных требований по разработке и производству динамических твердомеров.

Список литературы:

1. ASTM A956 Standard test method of Leeb hardness testing of steel products [Текст].- Введ. 2002-01-01 US.

2. MĀPAN [Текст]: Dynamic Hardness Measurements /M.Kompatscher Proceq SA.- 2005 январь – март. New Delhi: Alpha Printers - ISSN 0970 — 3950.

СПЕКТРОМЕТР ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ПОЗИТРОНОВ

Бордулёв Ю.С., Лаптев Р.С.
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Лидер А.М.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bordulev@gmail.com

Методы электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА) зарекомендовали себя как эффективные лабораторные методики для прецизионных исследований электронной и дефектной структуры материалов в физике твердого тела и материаловедении [1].

В настоящее время спектрометрия времени жизни позитронов (СВЖП) является одним из самых чувствительных (10^{-7} вакансий/атом) инструментов дефектоскопии. Спектрометры времени жизни позитронов используются для определения размеров нанообъектов (вакансий, вакансионных кластеров), свободных объемов пор, полостей, пустот, их концентраций в пористых системах и некоторых дефектных материалах, наноматериалах и полупроводниках [2].

Схема созданного в данной работе спектрометра представлена на рис. 1. Установка состоит из традиционной «быстрой» цепи [1], включающей в себя быстрый интегральный и дифференциальный дискриминаторы постоянной составляющей (ДПС) [3], время-амплитудный преобразователь (ВАП), блок многоканального анализатора импульсов (МАИ) и аналого-цифрового преобразователя для набора спектра.

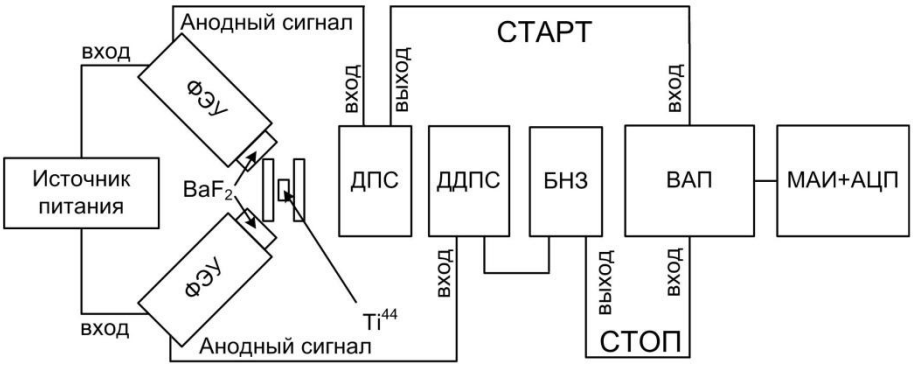


Рис. 1. Схема спектрометра для измерения времени жизни позитронов в материалах

В качестве источника позитронов применен радиоактивный изотоп $^{44}Ti(\beta^+,\gamma)$ активностью 24,5 мкКи и максимальной энергией позитронов 1,467 МэВ [4]. В процессе β-распада ^{44}Ti, практически одновременно с рождением позитрона испускается γ-квант с энергией 1,157 МэВ. Источник позитронов располагается между двумя образцами материала, образуя, так называемую, «сэндвич-геометрию». Основное преимущество этой геометрии в том, что позитроны эмитируемые источником непосредственно проникают в образец, что позволяет проводить измерения на воздухе. События, соответствующие появлению ядерного γ - кванта регистрируются детектором и являются сигналами «старт». После попадания в вещество, позитрон теряет кинетическую энергию в процессах упругого и неупругого рассеяния [5] и аннигилирует с электронным окружением вещества с образованием двух аннигиляционных γ - квантов с энергией 0,511 МэВ, один из которых регистрируется другим детектором и является сигналом «стоп». Регистрация γ - квантов осуществляется двумя сцинтилляционными детекторами на основе сцинтилляторов BaF_2 [6] и фотоэлектронных умножителей (ФЭУ).

Питание детекторов, осуществляется двухканальным высоковольтным источником питания (ВИП). Импульсы с детекторов поступают на дискриминаторы, где осуществляется их амплитудная селекция и точная временная привязка к фронту. Сигнал с анода от детектора «старт» подается на ДПС, на котором установлен порог дискриминации таким образом, чтобы не захватывать область аннигиляционного пика 0,511 МэВ. С анода от детектора «стоп» импульсы передаются на дифференциальный дискриминатор. Пороги на нем устанавливается так, чтобы произвести отбор импульсов, соответствующих аннигиляционным γ - квантам с энергией 0,511 МэВ.

С дискриминатора «старт» импульсы непосредственно подаются на стартовый вход ВАП. А с дискриминатора «стоп» импульсы через блок нано-секундной задержки (БНЗ) подаются на стоповый вход ВАП. Таким образом осуществляется измерение промежутка времени между реперным (1,157 МэВ) и аннигиляционным (0,511 МэВ) γ-квантами.

Для апробации спектрометра была подготовлена серия калибровочных образцов железа, титана, циркония и меди. Скорость счета спектрометра составила примерно 220 отсчетов/сек. Для набора необходимой статистики (3-5 млн. событий) потребовалось около 6 часов на один спектр. Было набрано по 8 спектров для каждого материала.

Обработка и разложение спектров осуществлялась с помощью бесплатного программного обеспечения LT 9 [8].

При обработке, экспериментальный спектр раскладывался на 4 компоненты, имеющие различные значения времени жизни, соответствующие процессам аннигиляции позитронов: в материале (τ_1), в соли источника позитронов (τ_2), в титановой капсуле источника (τ_3), и аннигиляции долгоживущего ортопозитрония (τ_4). Экспериментальный спектр образцов титана ВТ1-0 раскладывался на 3 компоненты: τ_1+ τ_2 (данные компоненты имеют одно значение времени жизни), τ_3 и τ_4.

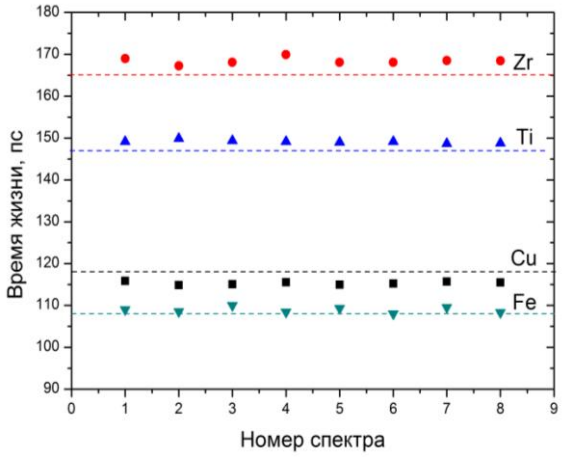


Рис. 2. Результаты обработки экспериментальных спектров аннигиляции позитронов в железе, меди, титане и цирконии. Расчет теоретических значений (пунктирные линии) производился с использованием модели LDA (the local density approximation) описанной в [7]

Экспериментальные и расчётные значения времени жизни позитронов в объеме материалов для калибровочных образцов (Fe, Ti, Zr, Cu) представлены на Рис.2.

Среднее рабочее разрешение спектрометра для данного источника позитронов составило 240 пс. Вклад источника составил 33-34 %. К компонентам источника были отнесены τ_2, τ_3 и τ_4. В случае с титановыми образцами, вклад источника уменьшается до значения 6 %. Это можно объяснить тем, что материал капсулы источника, вносящей значительный вклад спектр времени жизни (>25%) в данном случае совпадает с материалом исследуемого образца, и разделить их во время обработки не представляется возможным. В остальном, основные параметры коррелируют с результатами обработки образцов железа, циркония и меди.

Основные выводы

Разработанный в данной работе спектрометр времени жизни позитронов предназначен для исследования электронной и дефектной структуры материалов. Разрешение спектрометра составляет 240 пс. Данный спектрометр отличается от существующих аналогов простотой схемы спектрометрического тракта, что отражается в относительной простоте настройки спектрометра и низкой стоимости. Используемый в данной работе источник позитронов ^{44}Ti имеет также ряд преимуществ по сравнению со стандартным ^{22}Na [9]:

- высокий выход позитронов (около 98 %);
- больший срок службы источника, за счет большего периода полураспада (47,4 лет);
- большая энергия позитронов позволяет исследовать вещество на глубинах в 3 раза превышающих глубины проникновения позитронов ^{22}Na;
- повышенная механическая прочность источника за счет наличия защитной титановой капсулы.

Работа была выполнена по гос. заданию «Наука», тема No. 0.1146.2013.

Список литературы

1. R. Krause-Rehberg, H. S. Leipner, Positron Annihilation in Semiconductors, Springer, Heidelberg, 1999;

2. V.I. Grafutin, E. P. Prokop'ev, Positron annihilation spectroscopy in materials structure studies. Phys. Usp. 45 59–74, 2002;

3. D. A. Gedcke, W. J. McDonald, Design of the constant fraction of pulse height trigger for optimum time resolution. Nuclear Research Center, Physics Department, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada. Nucl. Instr. and Meth. 58(2): 253, 1968;

4. R.A. Sharp, R.M. Diamond, A new titanium nuclide: Ti44, Phys. Rev. 93, 358, 1954;

5. В.И. Беспалов, Взаимодействее ионизирующих излучений с веществом. -изд.2-е, перераб. и доп. - Томск. - 368 с. - 2006;

6. M. Laval, M. Moszyński, R. Allemand, E. Cormoreche, P. Guinet, R. Odru, J. Vacher, Barium fluoride – Inorganic scintillator for subnanosecond timing. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 206, 1983;

7. R.M. Nieminen, Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi", Course CXXV, Ed. A. Dupasquier, A. P. Mills, IOS Press, Varenna, p. 4434

8. J.Kansy, Microcomputer program for analysis of positron annihilation lifetime spectra. Nucl. Instrum. Methods A, 374, 235-244, 1996;

9. O.R. Frisch, Induced radioactivity of fluorine and calcium, Nature 136, 220, Copenhagen Denmark, 1935.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПО МЕТОДУ SAFT

Буй Ван Донг
Научный руководитель: Солдатов А.И., д.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ddsval@yahoo.com

Метод синтезированной фокусированной апертуры (Synthetic aperture focusing technique, SAFT) - эхо-метод, основанный на создании сфокусированного акустического поля в заданных областях объекта контроля путем сканирования его преобразователем с широкой диаграммой направленности и когерентной обработки принятых сигналов[1].

В настоящее время метод SAFT широко применяется для реконструкций объектов контроля в виде двухмерных и трехмерных картин. Существуют многие современные дефектоскопы, созданные на основе метода SAFT, имеющие интегрированные средства визуализации: двухмерная (УД4-76 - ЧАО «Ассоциация ОКО»; А1550 - IntroVisor» - компания «Акустические Контрольные Системы»…) или трехмерная с невысокой степени адекватности изображения, полученная путем соединения нескольких слоев.

Цель данной статьи заключается в разработке алгоритма и программы для реконструкции объекта контроля (ОК) в трехмерном виде с высоком качеством. Для этого нужно выполнить следующие этапы: Сканирование ОК и получение данных; обработка данных и построения изображения.

Сканирование ОК и получение данных

Сканирование производится новым ультразвуковым методом «Тактированной фазированной решетки» (Sampling Phased Array, или сокращенно SPA). Метод основан на поочередном возбуждении каждого преобразователя решетки. Ультразвук распространяется во всех направлениях. Прием отраженных сигналов осуществляется всеми преобразователями одновременно. Формируется матрица временных данных, которая затем используется в получении изображения (рис. 1).

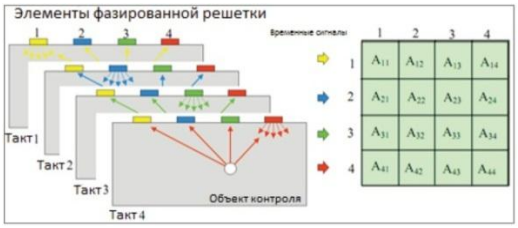


Рис. 1. Сканирование методом SPA и матрица данных для 4-х элементного датчика

Данный метод обеспечивает высокую скорость сканирования: необходимо всего лишь 4 такта «передачи–приема» ультразвука (для 4-х элементной фазированной решетки), чтобы просканировать область под датчиком. Это позволяет провести оперативное сканирование ОК большой площади.[2]

Сканирование методом SPA выполняется с использованием стационарной системы ультразвукового контроля IDealSystem3D компании «IDeal-Technologies». Система состоит из: двух осевого манипулятора для сканирования, решетки с установленным на ней 16 ультразвуковыми датчиками, водяной ванны для введения ультразвука в ОК и персонального компьютера. При сканировании решетка движется по двум **перпендикулярным** осям с заданным шагом. После сканирования полученные данные сохраняются в бинарные файлы.

Обработка данных и построение трехмерного изображения

Данные обрабатываются методом расчета во временной области (time domain technique). Этот метод использует эхосигналы, полученные с различных направлений прозвучивания. Акустическое изображение рассчитывается следующим образом [3]

$$A(x,y,z)=\left|\sum_{x_b=x_{b1}}^{x_{b2}}\sum_{x_e=x_{e1}}^{x_{e2}}P_c(t_{be})\right|$$

Величина $A(x,y,z)$ дает прозрачность изображения в пространстве координат x,y,z. Суммированию подвергаются высокочастотные эхосигналы $P_c(t_{be})$, Индекс «с» здесь отмечает пару преобразователей - излучатель и приемник, от которых получен эхосигнал. Временной отсчет эхосигнала t_{be} сопоставляется с точкой изображения (координаты x,y,z) исходя из геометрического расположения ультразвуковых преобразователей

$$t_{be}=(r_b+r_e)/C_l,$$

$$r_b=\sqrt{(x_b-x)^2+(y_b-y)^2+z^2},\quad r_c=\sqrt{(x_e-x)^2+(y_e-y)^2+z^2}$$

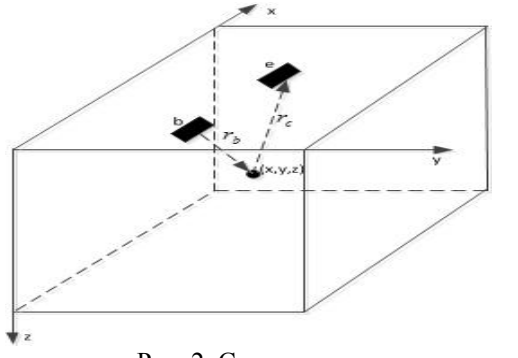


Рис. 2. Схема расчета акустического изображения

Где индекс «b» обозначает номер излучателя, и индекс «c» номер приемника. Соответственно, x_b, x_e, y_b, y_e - координаты излучателя и приемника, координата z для всех преобразователей равна нулю, r_b - расстояние от излучателя до точки отчета, r_e - расстояние от приемника до точки отчета, C_l - скорость продольных волн.(Рис. 2.)

Пространство под преобразователем разбивается на конечные элементы, считающиеся точками. Для каждого элемента M рассчитывается $A_i(x, y, z)$ для всех положений решетки, затем суммируются все полученные результаты:

$$A_M(x, y, z) = \sum_{i=1}^{n} A_i(x, y, z)$$

Для расчета данных и построения 3D изображения по полученным данным была создана программа на языке Delphi с использованием библиотеки OpenGl(Рис. 3.), которая позволяет строить объемный объект с заданной прозрачностью. Вводятся данные полученные в результате сканирования, параметры сканирования и программа автоматически обрабатывает данные и строит 3D изображение (A-на Рис. 3.) и его срезы по всем трем осям (C-на Рис. 3.). Также программа позволяет менять угол и направление наблюдения, и плоскости резания (B на Рис. 3.)

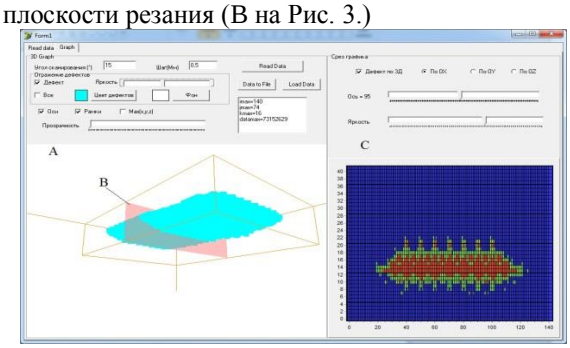


Рис. 3. Программа обработки данных

Проведение экспериментов

Эксперименты были проведены таким образом, расположили объект в ванне системы ультразвукового контроля IDealSystem3D, наполненной водой, и сканировали по поверхности воды по двум осям, затем вводили полученные данные в программу обработки.

Первоначально был исследован простой случай, когда в ванне на тонкой нити был закреплен маленький шарик. Полученное 3D изображение показано на Рис. 4.

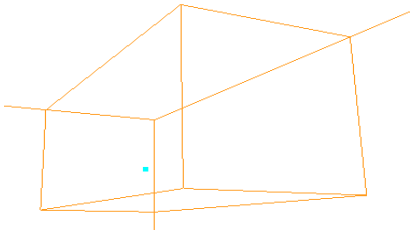


Рис. 4. 3D изображение шарика в ванне

При втором эксперименте в ванне была расположена металлическая деталь со сложной геометрией. Полученное 3D изображение показано на Рис. 5, а его томографические срезы показаны на Рис. 6.

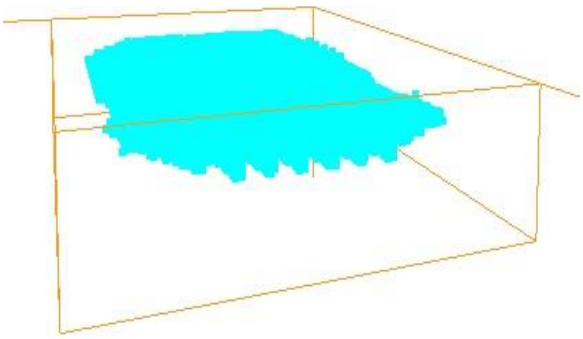


Рис. 5. 3D изображение детали со сложной геометрией

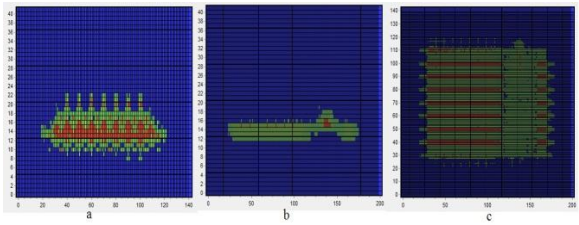


Рис. 6.Томографические изображения детали: a- по оси Ox, b- по оси Oy, c- по оси Oz.

Из проведенных экспериментов можно сделать вывод, что алгоритм и программа, созданные на основе метода SAFT работает и позволяет реконструировать 3D изображение и его срезы по данным сканирования. Программа дает высокое качественное изображения с определенным шагом сканирования, это позволяет не только определить положение дефектов, но и его форму и размеры.

Список литературы

1. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения. Справочное пособие. Серия 28. Неразрушающий контроль. Выпуск 4. Москва 2003. Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России».

2. 3D-визуализация в ультразвуковой. дефектоскопии. С.В. Зыков. Вестник науки Сибири 2012 №4, с. 95-100

3. Бархатов В.А. Развитие методов ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений // Дефектоскопия. –2003.№1, с.28-55

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Бурганова С.Я, Барбин Е.С., Коледа А.Н.
Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет,634050,Россия, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: sufiya@inbox.ru

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) - это множество микроустройств самых разнообразных конструкций и назначения, производимых сходными методами с использованием модифицированных групповых технологических приемов микроэлектроники.

Это могут быть:

- миниатюрные детали: гидравлические и пневмо клапаны, струйные сопла принтера, пружины для подвески головки винчестера;
- микроинструменты: скальпели и пинцеты для работы с объектами микронных размеров;
- микромашины: моторы, насосы, турбины величиной с горошину;
- микророботы;
- микродатчики и исполнительные устройства;
- гироскопы и акселерометры.

Микромеханические датчики обладают сверхмалыми габаритами, малой массой и энергопотреблением, имеют как цифровые, так и аналоговые выходы [1].

Целью данной работы является создание простых моделей емкостных датчиков двухкомпонентного микромеханического гироскопа (ММГ) LL-типа.

Рассмотрим блок-схему ММГ, представленную на рисунке 1 [2].

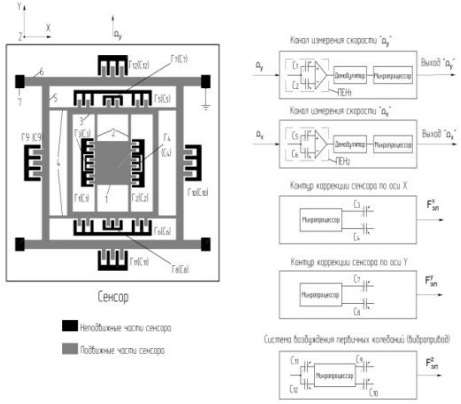


Рис.1. Схема микромеханического гироскопа

Гироскоп состоит из механической части и электронных блоков. Механическая часть представляет собой активную кремниевую структуру, которая содержит инерционное тело 1, установленное во внутренней рамке 3 при помощи упругого подвеса 2, обеспечивающего возможность перемещения тела 1 вдоль оси X. Рама 3 установлена в наружной раме 5 при помощи упругого подвеса 4, который обеспечивает возможность перемещения рамы 3 вместе с телом вдоль оси Y.

Рама 5 установлена в корпусе 7 при помощи упругого подвеса 6, который обеспечивает возможность перемещения рамы 5 вместе с рамой 3 и телом 1 вдоль оси Z.

Электронная часть содержит канал измерения угловой скорости вокруг оси X; канал измерения угловой скорости вокруг оси Y; систему возбуждения первичных колебаний (вибропривод); контур коррекции по оси X; контур коррекции по оси Y.

Электродные структуры в микромеханическом гироскопе являются основным связующим звеном между его механической и электрической частями, выполняя роль датчиков перемещений, вибропривода и корректирующих устройств, создающих силовое воздействие на сенсор с целью коррекции его характеристик. При проектировании гироскопа важно определить начальные ёмкости электродных структур и их изменения при перемещениях подвижных частей сенсора (рис. 2).

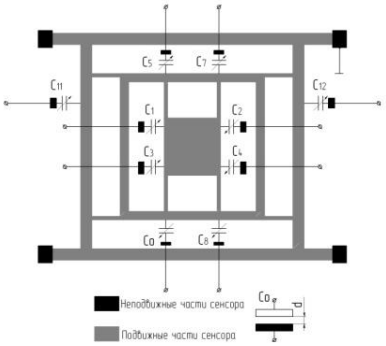


Рис. 2. Электродные структуры

Электродные структуры, независимо от выполняемой роли, могут быть представлены в виде конденсаторов с изменяемой в зависимости от перемещения обкладок ёмкостью.

В каждой гребенчатой структуре ёмкости соединены между собой параллельно, поэтому будем рассматривать суммарные ёмкости, образованные гребёнками.

При расчёте емкостей используем модель, представляющую собой два плоских параллельных проводящих электрода.

Без учёта краевых эффектов распределение зарядов по пластинам считается равномерным, а электрическое поле между пластинами однородным. В этом случае ёмкость идеального плоского конденсатора рассчитывается по формуле

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot a \cdot b}{d},$$

где ε_0 – электрическая постоянная; ε – относительная диэлектрическая постоянная среды между

электродами; *d* – зазор между электродами; *a, b* – размеры электродов.

С учётом краевых эффектов ёмкость может быть определена выражением [3]

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 ab}{d}\left(1 + \frac{d}{\pi b} + \frac{d}{\pi b}\ell n 2\pi\left(\frac{b}{d} + \frac{3}{4}\frac{(b+a)}{a}\right) + \frac{d}{\pi a} + \frac{d}{\pi a}\ell n 2\pi\left(\frac{a}{d} + \frac{3}{4}\frac{(a+b)}{b}\right)\right)$$

Для более точного определения емкостей необходимо учесть, что ёмкость создают не только боковые поверхности гребёнок, но также их торцевые поверхности, где Cs – ёмкость, зависящая от площади перекрытия электродов; C_d – торцевая ёмкость, создаваемая торцевыми поверхностями электродов.

Суммарная ёмкость гребенчатой структуры по каждой оси определяется выражением C= Cs + C_d.

Имея геометрические размеры электродов, рассчитываются начальные значения емкостей сенсора и строятся графики зависимостей емкостей от перемещений. На рисунке 3 представлены зависимости ёмкости по оси Z от амплитуды первичных колебаний.

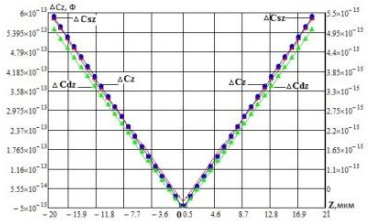


Рис. 3. Зависимость изменения ёмкости C_z от перемещения электродов вдоль оси Z

Наличие первичных колебаний приводит к относительному перемещению электродов и изменению ёмкости C_Z, причём зависимости ёмкостей C_{SZ} и C_{dZ} от перемещения Z имеют линейный характер. В то же время торцевая ёмкость C_{dZ} на несколько порядков меньше основной ёмкости C_{SZ} и величина суммарной ёмкости C_Z практически определяется ёмкостью C_{SZ} и имеет линейную зависимость от перемещения.

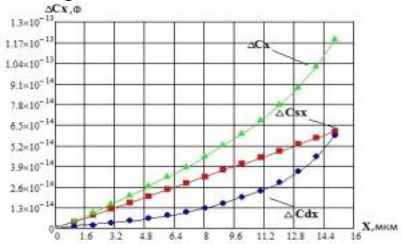
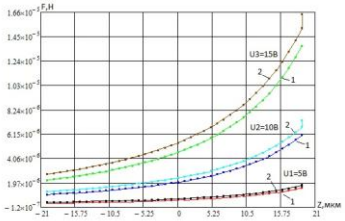


Рис. 4. Зависимость ёмкости C_x, от перемещения электродов вдоль оси X.

При относительном перемещении электродов гребенчатых структур вдоль осей X и Y, которое обусловлено вторичными информативными колебаниями гироскопа, ёмкости C_1, C_2, C_3, C_4 изменяются (рис. 4). Зависимости ёмкостей C_{sx}, C_{sy} от перемещений имеют линейный характер, торцевые ёмкости C_{dx}, C_{dy} при этом изменяются нелинейным образом.

Ёмкости C_0 образуют планарный вибропривод, который прикладывает силу к подвижной части сенсора для создания его гармонических первичных колебаний. Графики зависимости электростатической силы вибропривода от перемещения электродов и напряжения на них представлены на рисунке 5.

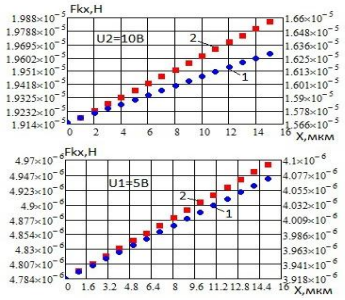


1 – без учёта краевого эффекта;
2 – с учётом краевого эффекта.

Рис. 5. Электростатическая сила вибропривода

Из рисунков видно, что зависимость электростатической силы планарного вибропривода носит нелинейный характер, так как зазор между электродами при первичных колебаниях изменяется. При определении расчётных значений электростатической силы также необходимо учитывать наличие краевого эффекта, что следует из графиков 1 и 2.

Ёмкости C_3, C_4 и C_7, C_8 используются в качестве корректирующих устройств, создающих силы, воздействующие на сенсор, зависимости которых от прикладываемого напряжения и перемещения представлены на рисунке 6.



1 – без краевого эффекта; 2 – с краевым эффектом

Рис. 6. Зависимость силы по оси X

Графики показывают, что зависимости электростатических корректирующих сил от перемещений электродов носят линейный характер, а также при расчёте необходимо учитывать краевой эффект.

Список использованной литературы

1. http://www.nanometer.ru/2010/09/30/mems_218368.html.

2. Нестеренко Т.Г., Пересветов М.В. Влияние типовых дефектов на динамические характеристики микромеханического гироскопа LL-типа // Авиакосмическое приборостроение. – 2012. – № 4. – С. 3–10.

3. Влияние формы упругого элемента на характеристики микроэлектромеханических систем / В. П. Драгунов // Микросистемная техника. –2004. - №1. –С.20-26.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

Бурков М.В.
Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н., профессор.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634021, Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4
E-mail: burkovispms@mail.ru

Введение.

Волокнистые углекомпозиты являются перспективным конструкционным материалом для различных отраслей промышленности, прежде всего, авиации. Высокая степень неоднородности структуры, заложенная на этапе их создания, также может осложняться дефектами, возникающими на этапе эксплуатации. В этой связи актуальным является разработка методов и средств контроля их состояния и изучение особенностей деформационного поведения при различных схемах нагружения. Помимо выбора методов исследования деформации актуальным является вопрос выбора информативных параметров, адекватно характеризующих развитие процессов деформации и разрушения.

Активные исследования по совмещенному изучению деформационного поведения и разрушения конструкционных материалов проводятся в СибНИА им. Чаплыгина (г. Новосибирск) [1], где совместно применяются приборы для регистрации АЭ и тензометрии.

Отметим, что подобную постановку задачи исследований использовали в наших предыдущих работах [2,3,4]. Для испытаний в условиях приложения статических нагрузок использовали одновременную регистрацию данных акустической эмиссии и метода корреляции цифровых изображений (DIC). Были показаны характерные стадии изменения информативных параметров, а также характерные отличия для разных in situ методов исследования деформации.

Материал и методика исследований.

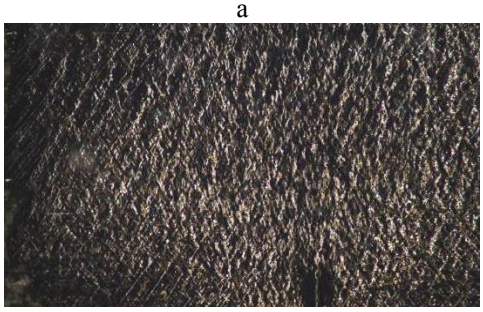
В работе для анализа усталостного деформирования углекомпозиционного материала применяли датчик деформации интегрального типа (ДДИТ). Этот метод основан на оптической регистрации поверхности наклеенной на испытуемый материал фольги (датчика), на которой по мере усталостного нагружения на фольге формируется деформационный рельеф. Дальнейшая обработка изображений позволяет получить данные о степени деформации материала. Так в работе [5], проведенной в Курганском государственном университете, для анализа деформации ДДИТ использовали методику, основанную на бинаризации изображения и расчете количества темных пятен (деформационных складок). Также анализ литературы по данному вопросу позволяет сделать вывод, что ДДИТ применяли для исследования деформации только металлических материалов.

В этой работе для анализа данных полученных при усталостных испытаниях углеродного композита рассчитывали параметры фрактальной размерности (ФР), дисперсии и энергии Фурье-спектра.

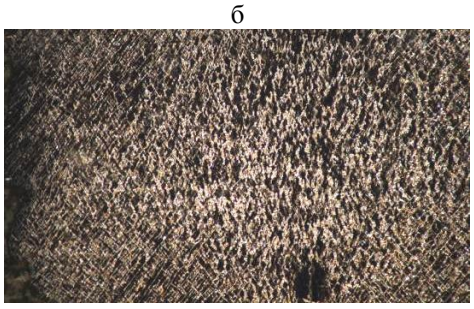
Исследуемый материал представляет собой псевдоизотропный композит системы углеродное волокно/эпоксидное связующее, с формулой выкладки $[0°, 90°, 45°, -45°]_S$. Из плиток толщиной 3 мм были вырезаны образцы 12х70 мм, в середине которых были прорезаны 2 надпила шириной 1,5 мм на глубину 1,5 мм.



а



б



в

Рис. 1. Фотографии фольги для разных этапов усталостного нагружения
а) начало испытания, N=0 циклов;
б) N=10 000 циклов; в) N=50 000 циклов.

Усталостные испытания проводили на сервогидравлической машине UTM Biss-00-201, по схеме одноосного циклического растяжения с посто-

янной цикла R=0,1. Изображения датчика (Рис. 1) регистрировали с помощью микроскопа МБС-9, оборудованного цифровой фотокамерой Canon EOS 550D.

Фотографирование осуществляли по следующей схеме:

с шагом 100 циклов да наработки 2000 циклов;

с шагом 200 от 2000 до 10000;

с шагом 500 от 10000 до 30000;

с шагом 1000 от 30000 до разрушения.

Для фотографирования программа управления осуществляла остановку циклического нагружения, и производилось фотографирование в точках верхней и нижней нагрузки цикла.

Результаты экспериментов.

На рис. 2 изображен комбинированный график зависимости фрактальной размерности и удлинения образца в зависимости от наработки.

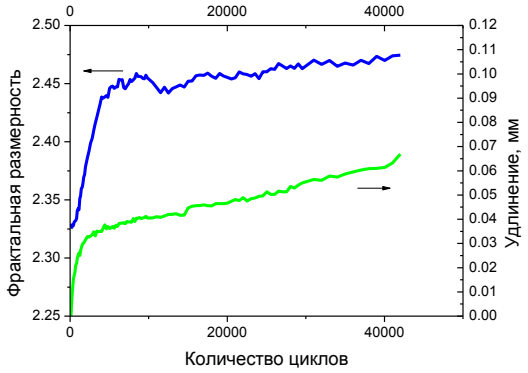


Рис. 2. Зависимости фрактальной размерности и удлинения от наработки, N_{max}=42000 циклов.

На рис.3 изображены графики зависимости фрактальной размерности для образцов, разрушившихся на следующих циклах наработки:

1 – 42000 циклов;

2 – 75000 циклов;

3 – 150000 циклов.

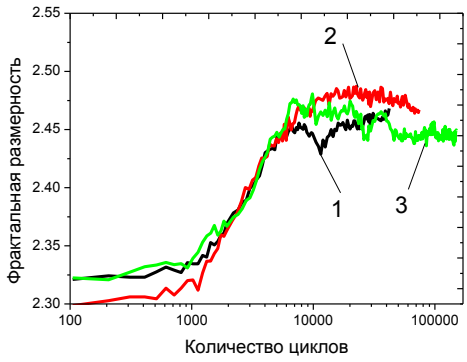


Рис. 3. Графики фрактальной размерности в зависимости от наработки.

Из вышеприведенных графиков видно, что на графике присутствуют 3 стадии:

- первая стадия от начала испытания до 1000 циклов, ФР постоянна;

- вторая от 1000 до 10000 циклов, ФР растет;

- третья от 10000 до разрушения, ФР остается практически постоянной.

При сравнении результатов работы с результатами [5], можно сделать вывод, что при использовании алюминиевой фольги в качестве ДДИТ на углепластиках диапазон, в котором деформационный рельеф претерпевает изменения, ограничивается наработкой 10-15 тыс. циклов. Наиболее вероятно это связано с большими относительными удлинениями углепластика, в отличие от стали при усталостном нагружении.

Выводы.

Предложенный подхода для анализа деформации углепластиков является перспективным и взаимодополняющим методом исследования УУКМ, однако необходимы дальнейшие исследования по выбору материала для ДДИТ, клея и методов обработки цифровых изображений.

Список литературы

1. Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Тихонравов А.Б. и др. Использование метода акустической эмиссии и тензометрии при проверке остаточной прочности самолета. – Дефектоскопия, 2008, №2, С. 28-35.

2. Панин С.В., Бурков М.В., Бяков А.В., Любутин П.С., Хижняк С.А., Стадийность локализованной деформации при растяжении образцов из углерод-углеродного композиционного материала с отверстиями различного диаметра по данным акусто-эмиссии, картирования деформации на поверхности и тензометрии. // Дефектоскопия – 2012, №10, С. 57-70.

3. Панин С.В., Бурков М.В., Бяков А.В., Любутин П.С., Хижняк С.А. Стадийность деформации и разрушения при испытании на срез образцов углерод-углеродного композиционного материала по данным акустической эмиссии, корреляции цифровых изображений и тензометрии. // Известия высших учебных заведений. Физика – 2012, Т. 55, №5/2, С. 228-233.

4. Panin S.V., Burkov M.V., Byakov A.V., Lyubutin P.S., Multiscale technique for localized strain investigation in aluminum alloy and carbon fiber reinforced composite based on data of strain gauging, digital image correlation and acoustic emission, Proceedings of IFOST-2012, The 7th International Forum on Strategic Technology , September 17-21, 2012 Tomsk Polytechnic University, V.2, p. 293-297.

5. Т.Р. Змызгова, Экспериментальная методика регистрирования и оценки накопленного усталостного повреждения в материале нефтегазового трубопроводного оборудования с помощью датчиков деформации интегрального типа // Экспозиция Нефть Газ - № 7 (25) декабрь 2012 г.

СТУДЕНЧЕСКИЙ МАЛЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ

Васильев Е.Н.
Научный руководитель: Дмитриев В.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: egor_vassilyev@bk.ru

Прогресс современных науки и технологий достиг такого уровня, что выпускаемая аппаратура становиться все более миниатюрной и компактной, не теряя при этом функционального назначения. В связи с этим начало XXI века ознаменовалось активным развитием отрасли производства малых космических аппаратов (МКА).

Уменьшение габаритов и массы, является большим преимуществом в области космического приборостроения, поскольку это влечет за собой существенное снижение финансовых затрат на проектирование и вывод КА на орбиту.

Относительная дешевизна создания малых космических аппаратов привлекает внимание малых предприятий и ВУЗов многих стран.

На сегодняшний день вокруг Земли кружит огромное количество малых спутников, созданных в ведущих ВУЗах мира.

В ТПУ на кафедре точного приборостроения создается конструкторское бюро, которое будет заниматься вопросами создания студенческого спутника. Цель проектируемого спутника – дистанционное зондирование Земли, т.е. наблюдение или мониторинг.

Результаты зондирования можно использовать в интересах экономики Томской области, а именно для предотвращения крупномасштабных лесных пожаров, определение сокращения площади лесных массивов, вопросы экологии и т.д.

Наиболее перспективным направлением является создание серии КА на базе унифицированной космической платформы (УКП) рисунок 4.

УКП – это платформа, имеющая на борту служебные системы для обеспечения питания, жизнедеятельности и ориентации КА на орбите. Все эти системы относятся к служебным модулям МКА. А также предусматривается наращиваемый модуль полезной нагрузки, для обеспечения функционального назначения спутника.

Проектирование такой платформы является основной задачей конструкторского бюро кафедры точного приборостроения ТПУ.

Проектируемая платформа имеет в своем составе фотокамеру (полезная нагрузка) для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), поэтому платформа носит статус полноценного функционального КА. Помимо фотокамеры, на борту УКП расположены следующие функциональные системы: система ориентации (датчики, исполнительные органы); система электропитания; фотокамера; антенны; многофункциональный компьютер; панели солнечных батарей.

Объектами непосредственного проектирования являются системы ориентации, силовой каркас и система электропитания (расчет суммарной потребляемой мощности).

1 Система ориентации МКА

В ходе проведения расчетов, наиболее рациональным решением стало применение комбинированной системы ориентации, т.е. совмещение активных и пассивных исполнительных органов (соответственно электромеханические ИО и гравитационная штанга) (рисунок 1).

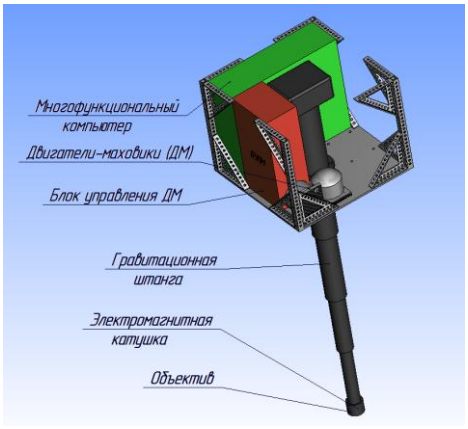


Рис. 1. Система ориентации МКА

ИО (двигатели-маховики) обеспечивают необходимое заданное положение объекта на орбите и непосредственную стабилизацию его относительно Земли.

Роль пассивной системы ориентации играет гравитационная штанга, которая выполняет двойную функцию, являясь одновременно объективом фотокамеры. На конце штанги располагается электромагнитная катушка, которая, взаимодействуя с магнитным полем Земли, обеспечивает дополнительную ориентацию объектива на центр Земли (рис. 1).

2 Корпус МКА

Силовой каркас корпуса, изготовленный из магниевого сплава, представлен в виде цельной площадки с четырьмя стойками. Для повышения жесткости конструкции, стойки и площадка дополнительно скрепляются ребрами жесткости, выполненными в виде уголков. Уголки и каркас имеют монтажные отверстия диаметром 6 мм, которые облегчают массу корпуса МКА (рис. 2).

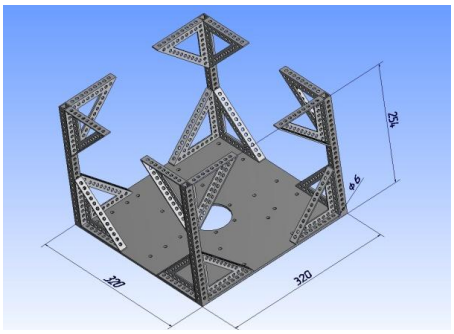


Рис. 2. Силовой каркас

Результаты частотного анализа показывают величины собственных резонансных частот каркасного каркаса (табл. 1, рис. 3).

Таблица 1. Частотные характеристики

Резонансная частота	Значение, Гц
Форма 1	409,3
Форма 2	410,6
Форма 3	569,6
Форма 4	983,9

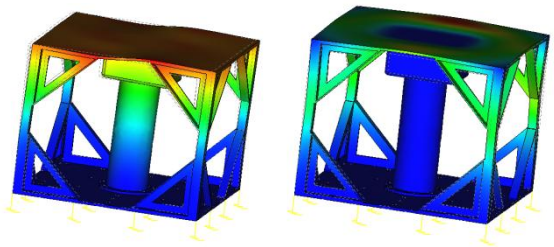


Рис. 3. Частотный анализ.
Относительные деформации

Корпус МКА в сборе представляет еще более надежную конструкцию, поскольку все блоки, заполняя свободное пространство, дополнительно делают ее более прочной и устойчивой к воздействию механических воздействий. Соответственно величины собственных резонансных частот возрастают.

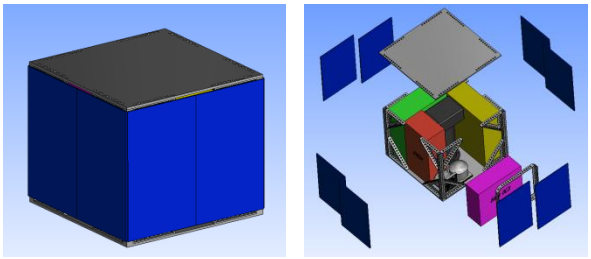
3 Система электропитания

Конструкция МКА предусматривает разворачивание панелей солнечных батарей на орбите для генерации большей мощности системы электропитания. Суммарная мощность снимаемая с панелей СБ, в развернутом виде, составляет 36Вт. В таблице 2 представлена сводка потребляемой мощности для каждой системы.

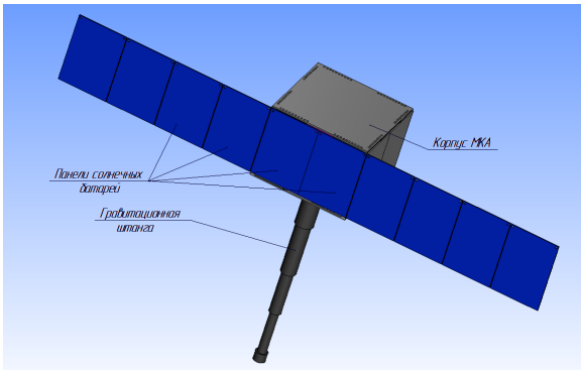
Таблица 2. Потребляемая мощность систем

Название	Мощность, Вт
Система электропитания	-12
ИО и блок управления ИО	-8
Фотокамера	-3
Антенны	-1,5
БЦВМ	-10
Суммарная мощность всех систем МКА	-34,5
Энергия от панелей солнечных батарей	+36

На рис. 4 представлена трехмерная модель малого космического аппарата.



а) б)



в)

Рис. 4. 3D-модель МКА: а) в собранном виде; б) в разобранном виде; в) рабочее положение на орбите

Создание малых космических аппаратов является одним из перспективных направлений в области космонавтики. Постепенный переход к малым габаритам (соответственно к дешевизне), открывает горизонты для освоения и изучения комического пространства научными образовательными центрами и высшими учебными заведениями.

Список литературы

1. Малые космические аппараты. В 3 кн. Кн. 3. Миниспутники. Унифицированные космические платформы для малых космических аппаратов: справоч. пособие / В. Н. Блинов, Н. Н. Иванов, Ю. Н. Сеченов, В. В. Шалай. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 348 с.

2. Малые космические аппараты – новые средства дистанционного зондирования Земли из космоса. Горбунов А.В. Изд-во Научно-производственное предприятие ВНИИЭМ с заводом им. А.Г. Иосифьяна. – 2001. – 18-41 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕТЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО И СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗОВ

Васина А. Н., Кукушкин В. М., Никифоров И. В.
Научный руководитель: Залётин В. М., д.т.н., профессор.
Международный университет природы, общества и человека «Дубна»,
141980, Россия, Московская обл, г. Дубна, ул. Университетская, 19.
E-mail: anutavasin@gmail.com

Введение

Алмаз не является новым материалом, о его уникальных свойствах знали еще с незапамятных времен. Природный алмаз привлекает исследователей тем, что он обладает наибольшей теплопроводностью (почти в 5 раз выше, чем у меди), высокой радиационной стойкостью (выше 1-2 порядка, чем у известных полупроводниковых материалов Ge, Si и др), химически инертен в водных растворах солей, кислот и щелочей [1, 2].

Сочетание таких свойств делает природный алмаз объектом, перспективным для использования в самых разнообразных областях науки и техники, в том числе и в твердотельной электронике [3].

В настоящей работе проведено исследование электрофизических свойств чувствительных элементов (ЧЭ) на основе природного и синтетического алмазов (СА) при различных дозах облучения, представлены вольт-амперные характеристики темновых токов данных образцов.

Методика эксперимента

Для создания детекторных ЧЭ использовались природные алмазы типа II-a (n–тип проводимости) и синтетические алмазы, выращенные методом HPHT (high pressure/ high temperature) в Институте минералогии и петрографии Сибирского отделения РАН (Новосибирск). ЧЭ алмазных структур представляют собой структуру типа Au−C−Au, толщина алмазной пластины ~ 400мкм, диаметр ~ 3мм.

Напыление золотых контактов проводилось на алмазные пластины предварительно прошедшие химическую обработку на установке ВУП-4 при вакууме 10^{-5} мм. рт. ст. Толщина золотых контактов не превышала 300Å.

У детектирующих структур измерялся темновой ток при смещении +10В, затем ионизационный ток при лучевой нагрузке от источника гамма-излучения Cs-137 (E = 662 кэВ). Для измерения использовался специальный стенд, включающий блок БГИ-14, блок сопряжения и универсальный электрометр «PTW UNIDOS E». Электрометр подключался по интерфейсу PS-232 к персональному компьютеру.

Детектирующая структура (ДС) помещалась в специальный держатель. Напряжение смещения подавалось через прижимные контакты. Измерения проводились в атмосфере воздуха, поэтому держатель оснащался охранным кольцом. Опыт измерения электрофизических характеристик алмазных ДС показал, что при измерении тока через образец поверхностные токи значительно меньше чем объемные, поэтому на алмазных ДС охранные кольца не формировались. Держатель помещался в шток, которым регулировалось расстояние от источников до ДС с помощью дистанцеров. Измерения проводились при комнатной температуре. Таким образом, все ДС измерялись при одних и тех же условиях.

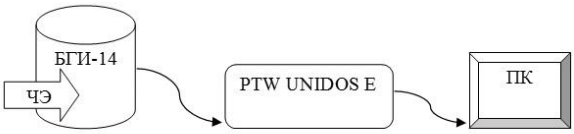


Рис. 1. Схема изменения токовых характеристик

Полученные результаты

В результате проведенных исследований показано, что ЧЭ на основе синтетического алмаза, значительно отличается по характеристикам от ЧЭ на основе природного алмаза (чувствительность к гамма-излучению выше на 2 порядка; рост тока наблюдается уже при низком напряжении смещения). Как правило, резкий рост тока связан с возникновением люминесценции в измеряемых ЧЭ. Этот эффект может, в определенной степени, служить показателем качества используемого материала. Физический механизм появления ФЛ в алмазных детекторных структурах находится в стадии исследования.

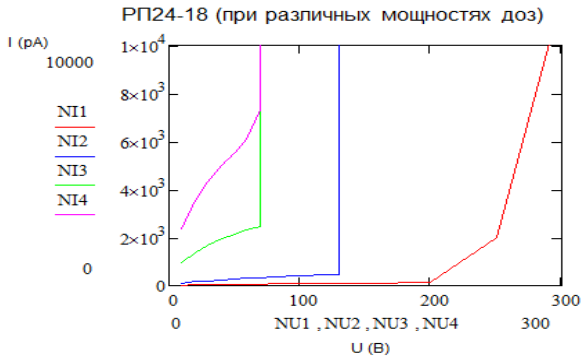


Рис. 2. Изменение тока при различных мощностях доз (N1<N2<N3<N4). Образец природного алмаза № РП24-18

Образец природного алмаза РП24-18 был исследован на чувствительность изменения тока при разных мощностях доз облучения. Из графика следует, что один и тот же образец имеет разную чувствительность в зависимости от мощности дозы облучения. Резкий рост тока также говорит о появлении люминесценции.

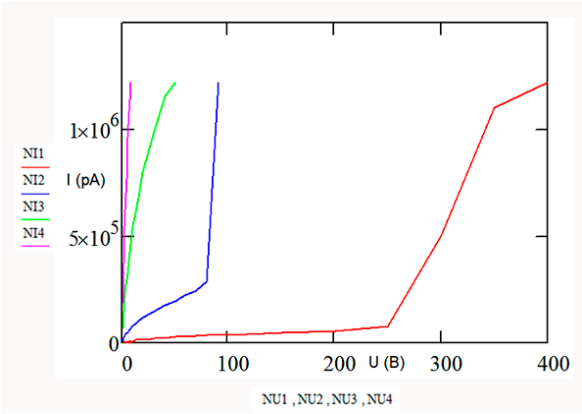


Рис. 3. Изменение тока при различных мощностях доз (N1<N2<N3<N4). Образец синтетического алмаза № 3.

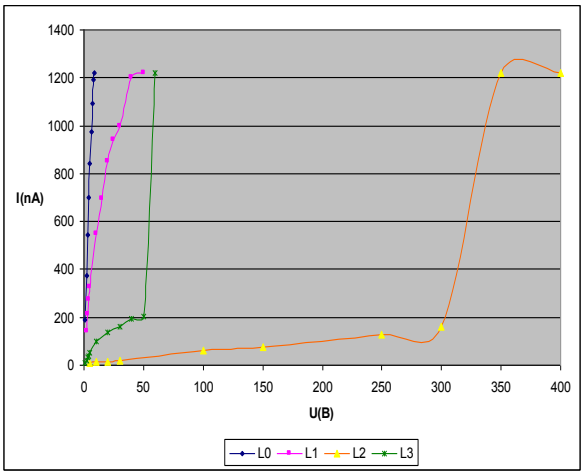


Рис. 4. Детекторные характеристики ЧЭ на основе синтетического алмаза № 3 (при различных мощностях доз, сГр/сек. L0=5,606, L1=2,901, L2=0,263, L3=0,0445)

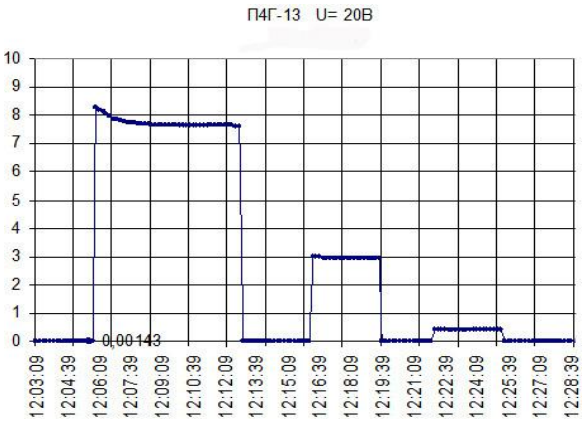


Рис. 5. Детекторные характеристики ЧЭ на основе природного алмаза. Образец ЧЭ №П 4Г- 13.

Заключение

Сравнение электрофизических свойств ЧЭ на основе природного и синтетического алмазов «детекторного» качества показывает физическую идентичность происходящих в них процессов. Появление ФЛ (в диапазоне длин волн 400-520нм) при резких скачках тока наблюдается в кристаллах как природных, так и синтетических алмазов.

Полученные результаты свидетельствуют об определенном прогрессе в технологии получения СА. При этом научно-практический интерес вызывает явление ФЛ в СА, с точки зрения его использования в светоизлучающих структурах.

Выражаю благодарность Кукушкину В.М за предоставление алмазных пластин и за помощь в проведении эксперимента.

Список литературы

1. Козлов С.Ф. Алмазные детекторы ядерных излучений. Алмаз в электронной технике//отв. ред. В.Б. Кваскoв. – М.:Энергоатомиздат,1990.–248 с.
2. The Properties of Natural and Synthetic Diamond / Ex. By J.E. Field London: Oxford, 1992.
3. Вавилов В.С. Алмаз в твердотельной электронике // Успехи физических наук.–1997.–№1. – С.17-22.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ГЕНЕРАТОР СТАБИЛЬНОГО ТОКА ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ

Видякин С.И., Аристова В.А.
Научный руководитель: С.С. Гончаров, главный конструктор ООО «УЛКАД»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская, 5
E-mail: bmsturl@gmail.com

Освоение массового производства высокоэффективных светодиодов (далее LED) ставит задачу питания этих излучателей света. Применяемые в настоящее время схемы питания для гирляндного включения - это токозадающий резистор или балластный конденсатор (1 – 2) МкФ, при питании от сети 220 В и токе через LED (20 – 40) мА, не обеспечивают стабильного светового потока, но просты в изготовлении и обеспечивают достаточный теплоотвод, за счет большего количества LED. Для сильноточных LED (это ток через излучатель 0.1 - 1.5 А) требуется специальные источники вторичного питания с токовым выходом, а так же радиаторы охлаждения.

Существует два типа микросхем для питания светодиодов от бытовой сети 220в. Первый тип – квазирезонансные схемы, работающие без прерывания тока. Они имею высокий КПД и стабильность тока, но стоимость микросхемы очень дорога (более 100р без учета обвязки). Второй тип обеспечивает очень хорошие показатели по стабильности, но с плохим КПД, и очень критичны к

выбору индуктивности, для обеспечения нормальной работы схемы. Это связано с принципом работы данной микросхемы, где ключ работает на прерывание тока, что приводит к большим потерям из – за сквозного тока, чем и объясняется низкий КПД. Второй тип микросхем так же не дешёвый (50-100р без учета обвязки).

В связи с отсутствием «достойной» схемы питания, была поставлена, и реализована следующая задача: создание простой, дешевой универсальной схемы питания светодиодной лампы с высоким КПД (> 95 %) на широко доступной элементной базе, обеспечивающей высокую стабильность светодиодного потока при значительных колебаниях питающего напряжения (150 - 250 В) и перепаде окружающей температуры до 100°С.

Разработанная схема является квазирезонансной, и работает без прерывания тока. Схема выполнена на дешёвых дискретных элементах, без применения микросхем, что позволяет добиться себестоимости по компонентам порядка десяти рублей.

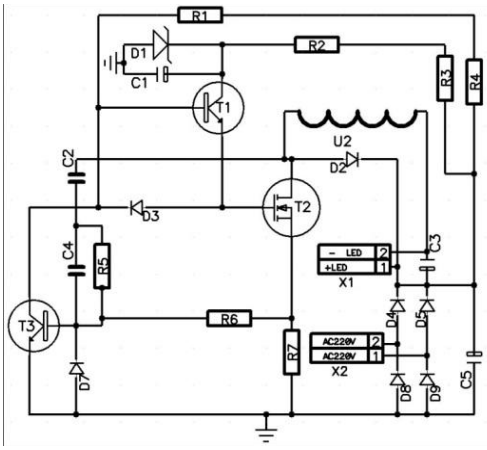


Рис 1. Принципиальная схема генератора

Рассмотрим работу принципиальной схемы автогенератора стабильного тока (рис. 1). Переменное входное напряжение поступает на диодный мост D4, D5, D8, D9, а далее, будучи выпрямленным поступает на накопительную емкость C5 (сглаживание пульсаций). Далее через резисторы R2 и R3 на D1 фиксируется потенциал 12 В, и соответственно ток через резисторы R1 и R4 усиленный в β раз транзистором T1 (β ≥ 500) заряжает входную емкость полевого транзистора T2. При достижении порога открывания полевого транзистора – это > 5 В, начинается заряд током индуктивности U2.

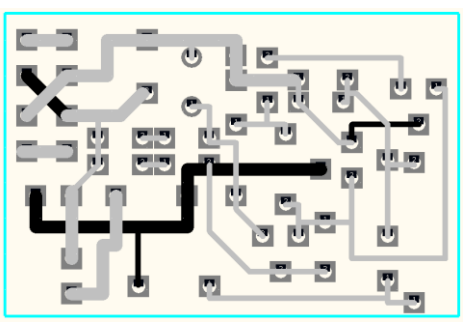


Рис 2. Разведенная печатная плата

– слой TOP, – слой BOTTOM

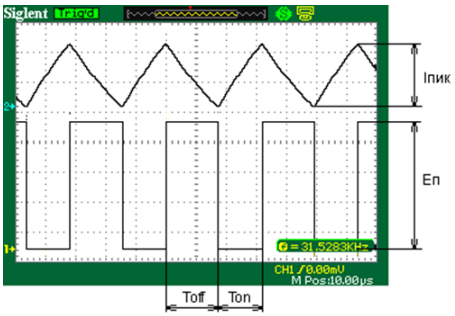


Рис. 3 Осциллограмма токов и напряжений генератора. 1 – *E*(стока), 2 - *I*(*L*)

При достижении пикового значения тока, напряжение на резисторе R7 становится достаточным, чтобы через резистор R6 открыть транзистор T3, который в свою очередь закроет транзистор T1 и как следствие T2. По цепи положительной обратной связи C2; R5 – C4 удерживается в закрытом состоянии до тех пор, пока индуктивность не отдаст накопленный ток через диод D2 в LED.

Средний ток светодиодов

$$I_{ср\,Led} = \frac{I_{пик}}{2}. \qquad (1)$$

Средний ток в индуктивности:

$$I_{Lпик} = \frac{(E_п - E_{Led}) * \tau_{on}}{L}.$$

Баланс энергии (равенство В*С)

$$(E_п - E_{Led}) * \tau_{on} = E_{Led} * \tau_{off}.$$

Частота работы

$$f_{пер} = \frac{1}{\tau_{on} - \tau_{off}}.$$

Ток открывания транзистора

$$I_{пик} \sim \frac{0.6}{R_{дт}}.$$

Где Еп – напряжение питания, ELed – суммарное падение напряжения на светодиодах, τon – время заряда индуктивности, τoff – время разряда индуктивности, fпер – рабочая частота, Iпик – ток открывания транзистора, Rдт – токозадающее сопротивления (датчик тока), Iср Led – средний ток светодиодов.

Список литературы

1. Б.Ю. Семенов. Силовая электроника от простого к сложному. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.

2. Березин О., Костиков В., Шахов В. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. М.: «Три Л». 2000.

3. Источники электропитания – 2006. «Александр Электрик». Информационный компакт – диск.

4. Эраносян С. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. Л.: Энергоатомиздат. 1991

ИСТОЧНИКИ НАКАЛА ДЛЯ ТИРАТРОНА В СХЕМАХ НАКАЧКИ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРОВ

Власов В.В., Тригуб М.В.
Научный руководитель: Тригуб М.В., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Институт оптики атмосферы СО РАН, 634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
E-mail: wasjan@vtomske.ru

В настоящие время в качестве коммутационных элементов все чаще используются полупроводниковые ключи. Однако в диапазонах высоких мощностей остается актуальным использование газонаполненных коммутатор, позволяющие коммутировать десятки киловольт и сотни ампер. Такие ключевые элементы используются для накачки импульсных газовых лазеров, например, на парах металлов. Для эффективной накачки необходимо коммутация больших мощностей с высокой скоростью нарастания напряжения. Подобный режим могут обеспечить газонаполненные коммутаторы – тиратроны [1].

Однако тиратрон имеет ряд недостатков: высокую стоимость и очень ограниченный период работы, по сравнению, например, с твердотельными коммутаторами. Для увеличения его срока службы и стабильности работы необходимо, во-первых, обеспечить время релаксации. Известно, что восстановление разрядного промежутка (закрытие коммутатора) происходит быстрее, если анод тиратрона находится под нулевым потенциалом в течении некоторого промежутка времени. Во-вторых, стабильное напряжение накала тиратрона с возможностью его регулировки, так же обеспечивает стабильность работы.

Время релаксации обеспечивается использованием схемы с импульсным зарядом накопительной емкости [2]. Для стабилизации накала целесообразно использование DC/DC конверторов с системой стабилизации выходного напряжения. Наибольшее распространение получили ШИМ регуляторы с различным законом управления: П, ПИ, ПИД. В общем виде передаточная функция регулятора может быть записана в виде уравнения 1, где $К_п$, $Т_и$, $Т_д$ соответственно коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих.

$$W(p) = K_П + \frac{1}{T_и p} + T_д p \qquad (1)$$

В зависимости от требований к системе целесообразно применение того или иного способа. Пропорциональная составляющая определяется из разницы между текущем и необходимым значением выходной величины т.е. чем больше разница, тем больше коэффициент. Интегральная часть пропорциональна интегралу от отклонения регулируемой величины. Её используют для устранения статической ошибки. Необходимо помнить, что интегральная цепочка может приводить к автоколебаниям [3].

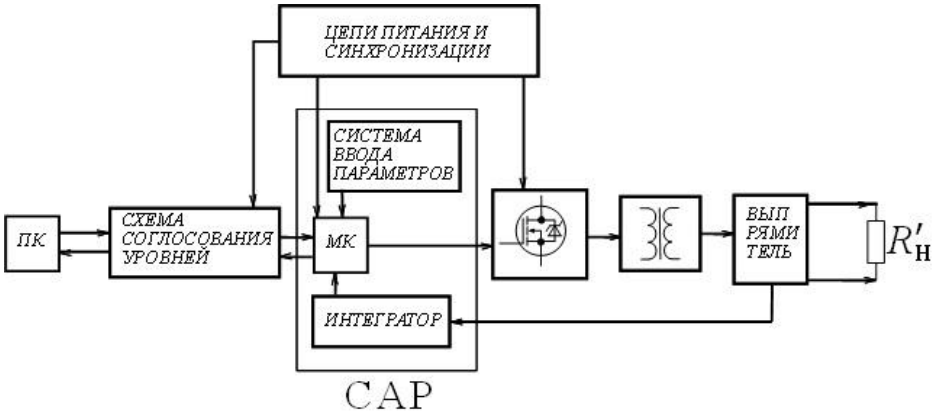


Рис. 1. Структурная схема источника для накала водорода

Дифференциальная составляющая зависит от темпа изменения отклонения регулируемой величины и предназначена для противодействия отклонениям от целевого значения, которые прогнозируются в будущем т.е. стабилизация величины при каких-то временных возмущениях.

При реализации на практике, как правило, используются схемы, выполненные на аналоговых элементах.

В данной работе представлен источник накала для тиратрона с системой автоматического управления.

Сложность заключается в динамическом изменении нагрузки и наличии помех различного спектра. На рисунке 1 показана структурная схема разрабатываемого источника. Источник собран по схеме «косого» моста с Г-образным LC-фильтром в нагрузке [4].

Для формирования управляющего сигнала с широтно-импульсной модуляцией используется микроконтроллер, что дает схеме некоторую гибкость в управлении и позволяет изменять управление. В качестве контроллера выбран распространенный Atmega8, который обеспечивает связь с ПК, обработку информации с систем ввода для изменения выходного напряжения.

Режимы, в которых может работать система управления:

-ручное. Изменение длительности происходит переменным резистором и АЦП контроллера. Длительность управляющего импульса фиксирована, обратная связь отсутствует.

-пропорциональное. Обратная связь обеспечивается с помощью оптрона, а управляющий сигнал формируется либо с переменной длительностью, либо с пропусканием импульса. Изменение напряжения осуществляется переменным резистором.

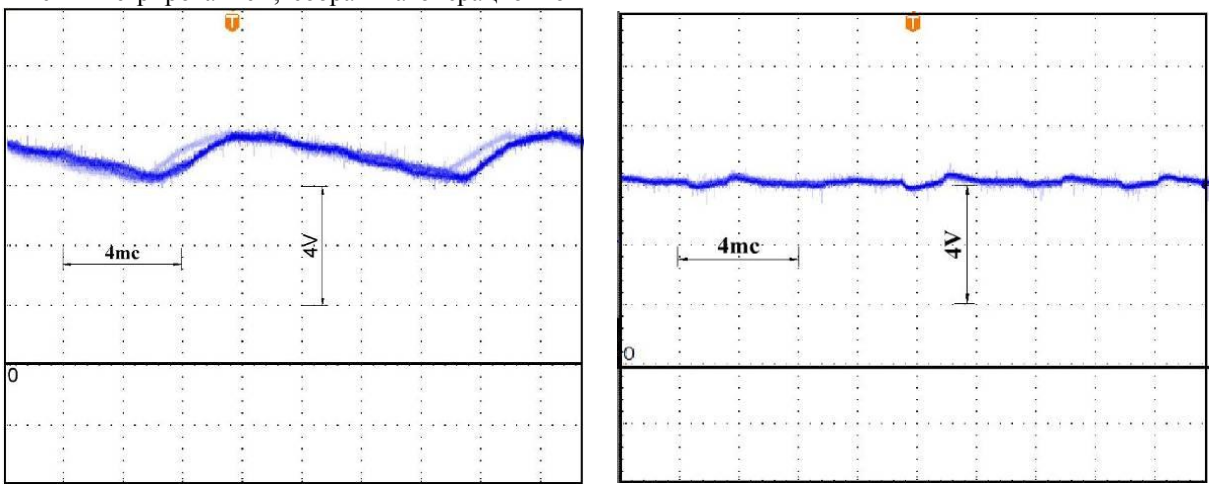
-пропорционально-интегральное. Так же полностью автоматическая система. Усилитель ошибки с интегрированием, собран на операционном усилителе LM393, дает возможность избавиться от пульсаций входного напряжения.

-ручное с ОС. Аналогично ручному, за исключением наличия обратной связи с интегральной составляющей

Для исследования систем управления собран макет источника накал тиратрона ТГИ1-100/8, мощностью 50 Вт. На рисунке 2 (а) показана осциллограмма выходного напряжения при отсутствии ОС, и с использование ПИ регулятора (рис 2 б). В первом случае на выходном напряжении присутствует пульсация, вызванная пульсацией сети. Второй метод «отработал» ее.

Спроектированная система на основе микроконтроллера является «открытой», т.е. существует возможность дальнейшего расширения и использования ресурсов микроконтроллера, что позволит создавать сложные алгоритмы обработки и управления.

В дальнейшем рассматривается возможность использования новых недорогих контроллеров STM различной разрядности, что позволит увеличить скорость отработки, а также реализовать популярный USB-интерфейс для связи с ПК. В работе приведено описание элементов схемы, что полностью раскрывает принцип работы устройств.



а) б)

Рис. 2 Диаграмма стабилизированного напряжения на нагрузке

Список литературы

1. Евтушенко Г.С., Паршина Н.В., Татур В.В., Суханов В.Б. и др. CuBr-лазер с транзисторным коммутатором // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13. – № 3. – С. 265 – 266.

2. Димаки В.А., Андриенко О.С., Троицкий В.О. и др. Лазер на парах бромида меди малой мощности // Оптика атмосферы и океана. – Т.17. – №11. – 2004г. – С.890-894.

3. Денисенко В. ПИД_регуляторы: принципы построения и модификации. //СТА- №4. – 2006г. – С.66-74.

4. Петров С. Однотактный прямоходовой конвертер: области применения и развитие схемотехники//Силовая Электроника.– №5. – 2009г. – С.74-81

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АГРЕГИРОВАНИЯ ПРЕДПОЧТЕНИЙ В МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Воробьева Н. В., Маринушкина И.А.
Научный руководитель: Муравьев С. В., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: natav25@mail.ru

Аннотация

Метод агрегирования предпочтений, применяемый для обработки результатов измерений межлабораторных сравнительных испытаний, может приводить к неоднозначности решений. Но корректный выбор количества альтернатив *n* позволяет свести её появление к минимуму. В статье представлена реализация экспериментальной проверки работоспособности метода агрегирования предпочтений на множестве результатов измерений, предоставляемых лабораториями, полученных методом Монте-Карло.

Введение

Как показала международная и российская практика, проверка квалификации испытательных лабораторий посредством межлабораторных сравнительных испытаний (далее МСИ) является надёжным инструментом оценивания компетентности испытательных лабораторий (далее ИЛ) в определенных областях испытаний и измерений.

Для реализации программы проверки квалификации ИЛ координатор МСИ осуществляет рассылку образцов для испытаний лабораториям, участвующим в МСИ. ИЛ проводят испытания и высылают координатору протоколы результатов, в которых представляют значение измеренной величины и ее стандартную неопределенность. После получения результатов испытаний координатор проводит их обработку, на основе которой готовит заключение для каждой лаборатории-участницы.

В статьях [1, 2] был предложен метод обработки результатов измерений при проведении МСИ на основе агрегирования предпочтений. Он заключается в агрегировании предпочтений, построенных на интервалах неопределенности, которые предоставляют ИЛ в ходе проведения МСИ. При этом определяется оптимальное отношение консенсуса с использованием медианы Кемени, что позволяет получить опорное значение измеряемой величины и оценить способность ИЛ предоставлять надежные результаты. Для проверки работоспособности данного метода и проведения экспериментальных исследований результаты измерений ИЛ были смоделированы методом Монте-Карло.

Генерация исходных данных

Генерация исходных данных для проведения экспериментальных исследований метода агрегирования предпочтений проведена в программной среде Visual C++. Полученные данные являются максимально приближенными к реальным результатам проведения испытаний ИЛ.

Блок-схемы алгоритма генерации исходных данных представлены на рисунке 1.

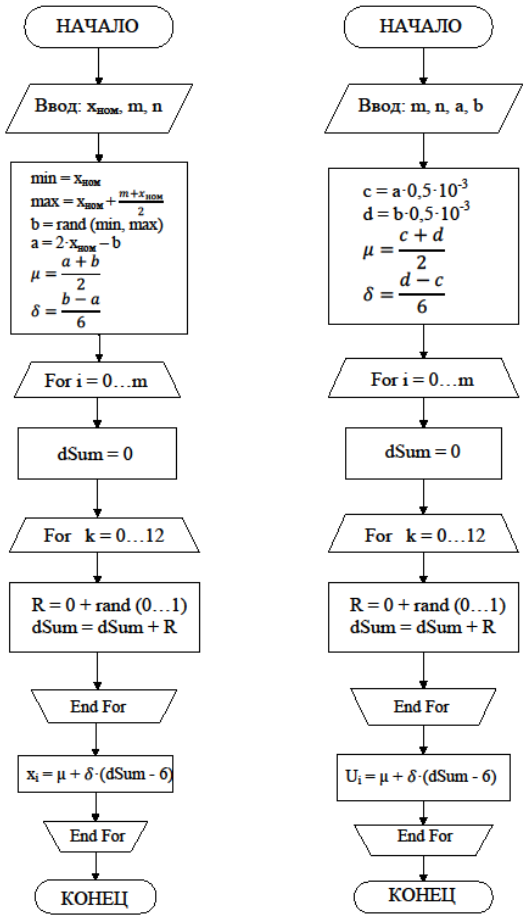


Рис. 1. Блок-схемы алгоритма генерации исходных данных

Генерирование случайных данных было произведено по нормальному закону распределения.

На входе программы пользователь задает необходимые параметры: номинальное значение измеряемой величины $x_{ном}$, количество участвующих в МСИ ИЛ *m*, и количество альтернатив *n*.

Выбор значений *m* и *n* играет важную роль в получении качественных результатов при реализации метода агрегирования предпочтений. Поэтому существует необходимость в проведении большого числа экспериментов, при которых значения *m* и *n* будут варьироваться. Количество ИЛ, и альтернатив должно быть ограничено следующим образом: *m*(4;10), *n*(7;15). В противном случае возрастает вероятность появления неоднозначности решений.

Пример сгенерированных данных представлен в таблице 1. В первом столбце указан номер ИЛ, во втором столбце – значения измеряемой величины x, в третьем столбце соответствующая стандартная неопределенность $U(x)$.

Таблица 1. Сгенерированные данные

ИЛ	x	U(x)
1	32,95	7,19
2	27,93	7,46
3	23,34	7,10
4	22,45	5,48
5	25,93	8,40
6	19,09	8,31
7	16,68	6,95
8	18,42	7,94
9	26,75	6,65
10	16,91	9,35

Предложенный способ формирования исходных данных очень удобен при проведении многократных экспериментов. Он позволяет сгенерировать данные в любых диапазонах и с разными значениями неопределенности.

Обработка результатов методом агрегирования предпочтений

Для полученных данных применим метод агрегирования предпочтений [1, 2]. Определим диапазон опорных значений измеряемой величины как алгебраическое объединение интервалов неопределенностей, полученных каждой лабораторией:

$$U = \bigcup_{i=1}^{N} [-u(x_i), u(x_i)] = \bigcup_{i=1}^{N} I_i$$

Разобьем этот диапазон на n-1 равных поддиапазонов и получим n значений измеряемой величины $A=\{a_1, a_2, \ldots a_n\}$, соответствующих границам поддиапазонов.

Для имеющихся данных применим метод ветвей и границ и получим оптимальное отношение консенсуса: $\beta=\{a_5 \sim a_6 \succ a_4 \succ a_7 \succ a_8 \succ a_3 \succ a_2 \succ a_1 \sim a_9\}$.

Результаты представлены на рисунке 2.

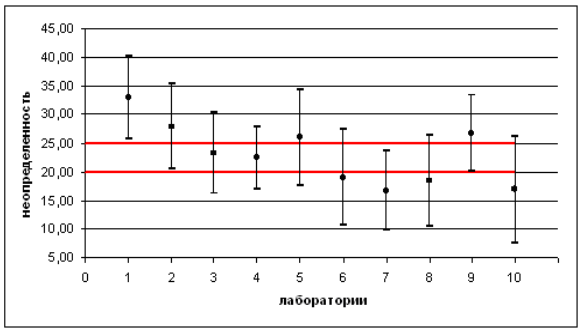


Рис. 2. Результаты обработки измерений

Получили, что победителем является альтернатива a_5, которая принимает значение равное 25 и альтернатива a_6 со значением 20. То есть получили неоднозначное решение, которое не позволяет сделать выводы и определить опорное значение измеряемой величины. При проведении данного эксперимента весь диапазон опорных значений разбивали на 8 поддиапазонов, при этом получили 9 альтернатив. Попробуем разбить весь диапазон на большее число поддиапазонов. Тогда получим 11 альтернатив, для которых применим метод агрегирования предпочтений. Получили следующее оптимальное отношение консенсуса:

$\beta=\{a_7 \succ a_6 \succ a_8 \succ a_5 \succ a_4 \sim a_9 \succ a_3 \sim a_{10} \succ a_1 \sim a_2 \sim a_{11}\}$.

Результаты представлены на рисунке 3.

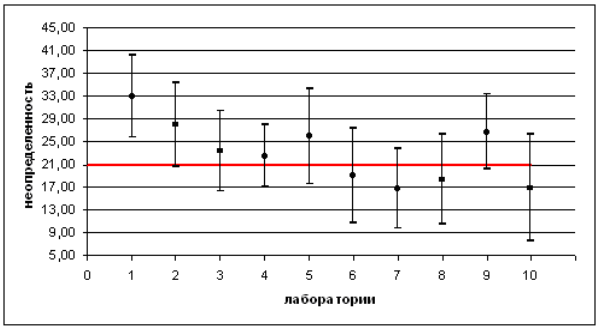


Рис. 3. Итоговые результаты обработки измерений

Получили однозначное решение. Альтернатива a_7 является победителем, значит опорное значение равно 21. Полученное опорное значение не входит в интервал неопределенности только у первой лаборатории. Значит девять лабораторий прошли МСИ успешно, и только первая лаборатория предоставила ненадежный результат.

Вывод

На неоднозначность решений влияет выбор количества поддиапазонов n-1, на которые разбивается весь диапазон опорных значений (количество альтернатив n). То есть, необходимо задать число альтернатив минимальное и достаточное для получения однозначного решения, учитывая, что найденное единственное опорное значение должно захватить как можно больше лабораторий.

Как показала практика, это значение находится в пределах от 7 до 15. Уменьшение или увеличение альтернатив является не целесообразным. Так как при количестве альтернатив меньше чем 7 алгоритм ветвей и границ, применяемый в методе агрегирования предпочтений, теряет свой смысл. При увеличении количества альтернатив появление неоднозначности решений более вероятно.

Список литературы

1 S.V. Muravyov, I.A. Marinushkina, "Largest consistent subsets in interlaboratory comperisons: preference aggregation approach", Joint International IMEKO TC1+ TC7+ TC13 Symposium, August 31 - September 2, 2011, Jena, Germany

2 Н.В. Воробьева, И.А. Маринушкина, "Предварительные результаты применения алгоритма нахождения отношения консенсуса в межлабораторных сравнительных испытаниях", Сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Том 1, 2012, с. 179-180.

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Вторушин С.Е.
Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-Mail: vtorushin1991@mail.ru

Основным этапом проектирования микромеханических гироскопов (ММГ) является построение и расчет компьютерной модели. Данная работа посвящена разработке конструкции ММГ LL-типа (с поступательным движением инерционного тела).

В таких гироскопах при наличии переносной угловой скорости основания, энергия первичных колебаний инерционной массы преобразуется в энергию вторичных колебаний, которые содержат информацию об измеряемой угловой скорости [1]. Существенным недостатком такого вида гироскопов является влияние линейных ускорений на точность ММГ. Основным критерием обеспечения высокой точности гироскопов является резонансный режим работы, т.е. режим работы с совмещенными частотами по всем осям подвеса чувствительного элемента (ЧЭ). Резонансная настройка колебаний инерционного тела требует точной подстройки собственных частот по трем осям ММГ. Погрешность в определении частот приводит к необходимости компенсирования изменения частот с использованием электрической системы подстройки частоты. Собственную частоту системы в общем виде можно представить как [1]:

$$\omega_0 = \sqrt{G/m} \qquad (1)$$

где G- жесткость подвеса, m-масса системы.

В силу наличия погрешностей на этапах проектирования и производства собственные частоты могут сильно отличаться от заданных. Для компенсации этих погрешностей предусмотрена система электрической автоподстройки частоты для поддержания постоянного равенства частот. Такая система создает отрицательную жесткость и снижает частоту колебаний. Поэтому при проектировании необходимо обеспечить соотношения собственных частот по трем осям подвеса таким образом, чтобы собственные частоты ММГ по осям вторичных колебаний были выше, чем по оси первичных[2]. Кроме того следует отметить, что без системы термостатирования диапазон смещения частот вторичных колебаний должен быть увеличен для учета изменения частоты от температуры. Исходя из этого, можно записать ширину диапазона изменения собственных частот: [2].

$$\Delta f = \Delta f_{\text{пр}} + \Delta f_{\text{изг}} + \Delta f_{\text{т}} \qquad (2)$$

где $\Delta f_{\text{пр}}$ – допуск изменения собственных частот при проектировании, $\Delta f_{\text{изг}}$ - допуск изменения собственных частот при изготовлении, $\Delta f_{\text{т}}$ - допуск изменения собственных частот от влияния температуры

На основании требований, предъявляемых к конструкции, можно сформулировать общие требования к параметрам упругого подвеса ММГ.

1. Максимальное сближение собственных частот подвеса по всем осям. Как было сказано выше, предпочтительной является работа ММГ в режиме совмещенных частот, так как при этом достигается максимальная величина масштабного коэффициента.

2. Собственные частоты выше границ частот вибраций. Рабочие частоты системы необходимо задавать по величине выше частот действующих вибраций при эксплуатации, но не кратные им [1].

3. Требования к частотам прочих форм колебаний. Прочие собственные частоты конструкции должны быть выше собственных частот первичных и вторичных колебаний как минимум в 1.5 раза [2].

4. Требования к свойствам материала. Анизотропия свойств монокристаллического кремния требует обязательного учета при проектировании.

5. Требования к технологическим допускам. Конструкция должна обеспечивать близкое изменение собственных частот конструкции при изменении геометрических размеров конструкции.

6. Минимальное напряжение при рабочих и ударных нагрузках. Для обеспечения гарантированного запаса по прочности напряжения в конструкции не должны превышать 500 МПа[2].

7. Требование к стабильности масштабного коэффициента. Это требование должно обеспечиваться поддержанием стабильного соотношения собственных частот конструкции по трем осям.

В связи с тем, что расчет конструкции аналитическим методом является трудоемкой процедурой, то для таких расчетов используются программы конечно-элементного анализа.

На основе предъявленных требований была разработана конструкция чувствительного элемента ММГ в программном продукте T-FLEX CAD, представленная на рисунке 1.

В проектируемом ММГ были заложены следующие параметры: толщина ЧЭ составляет 30 мкм; материал конструкции – монокристаллический кремний; минимальные разоры в конструкции не менее 2 мкм.

Модель представленного гироскопа имеет две оси чувствительности Z и Y. Первичные поступательные колебания возбуждаются вдоль оси X.

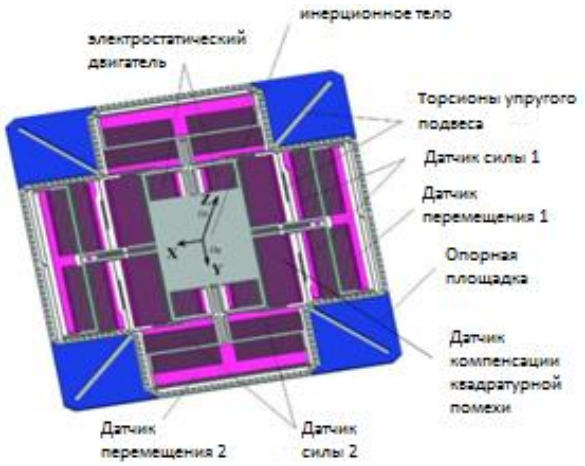


Рис. 1. Чувствительный элемент микромеханического гироскопа

Информация об угловой скорости снимается с электростатических гребенчатых датчиков. ММГ содержит инерционную массу, имеющую 3 степени свободы, обеспечиваемые упругим подвесом. Вибропривод расположен внутри ИМ, что позволило сократить габариты конструкции. Упругий подвес представляет собой сложную систему торсионов, имеющих определенную геометрическую конфигурацию. В местах заделки торсионов применены скругления, позволяющие предотвратить концентрацию напряжений в этих местах. Подбор собственных частот конструкции осуществляется путем изменения жесткости торсионов через изменение их длины без изменения габаритов конструкции в целом. Кроме того предложенная конфигурация торсионов позволяет избежать нелинейной характеристики восстанавливающей силы торсионов, которая приводит к зависимости амплитуды первичных колебаний от частоты. Линейность упругой характеристики обеспечивается за счет деформации торсионов, имеющих суммарную длину, существенно превышающую длину отверстий, в которых они расположены. Такая конфигурация подвергается деформациям изгиба, а деформации растяжения практически сведены к нулю и ими можно пренебречь. [1]. Конструкция содержит элементы для управления колебаниями по всем трем осям подвеса. Датчики перемещения 1, 2 и датчики силы 1, 2 выполняют функции автоподстройки частоты по осям первичных и вторичных колебаний. Система автоподстройки частоты по оси Z вторичных колебаний не показаны. Датчики компенсации квадратурной помехи так же выполнены в виде гребенчатых структур и предназначены для компенсации влияния перекрестных связей между осью первичных и вторичных колебаний по оси Y. Датчики компенсации квадратурной ошибки по оси Z не показаны. Максимальное перемещение инерционного тела по оси первичных колебаний составляет 28 мкм, по оси вторичных колебаний 2 мкм и ограничивается упорами.

При проектировании конструкции чувствительного элемента проведен частотный и статический анализ конструкции в среде T-FLEX CAD.

Согласно рисунку 2 и данным, приведенным в таблице 1, результаты анализа на собственные частоты удовлетворяют условию 1, а максимальное напряжение удовлетворяет требованию 6 к параметрам упругого подвеса ММГ.

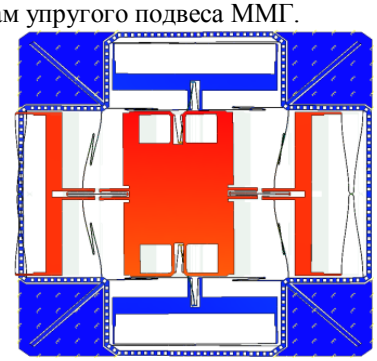


Рис. 2. Форма колебаний 1 на резонансной частоте 2531,7 Гц

В таблице 1 представлены результаты частотного и статического анализа конструкции.

Таблица 1. Значения собственных частот и напряжений конструкции

Параметр	Значение
Собственная частота вдоль оси X форма 1, Гц	2531,7
Собственная частота вдоль оси Y форма 2, Гц	2539,8
Собственная частота вдоль оси Z форма 3, Гц	2544,0
Собственная частота колебаний форма 4 ,Гц	4270,2
Собственная частота колебаний форма 5 ,Гц	4332,5
Расстройка частот первичных и вторичных колебаний, Δf, Гц	12,3
Максим. напряжение в конструкции по Мизесу, МПа	193,9
Минимальный запас по эквивалентным напряжениям	3,609

В результате разработана конструкция ЧЭ ММГ, которая в полной мере отвечает всем предъявленным требованиям.

Литература:

1. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.: ил.

2. Унтилов А.А. Исследование и разработка упругого подвеса чувствительного элемента микромеханического гироскопа: дис. канд. тех. наук: 2005/ Унтилов Александр Алексеевич. Санкт-Петербург, 2005. – 148 с.

РАСЧЕТ ПОЛОГО ЗЕРКАЛЬНОГО ФОКОНА

Вуец Т. Р., Овчинников В. А.
Научный руководитель В. П. Ципилев, проф., д.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vuechv@mail.ru

Для расчета оптических параметров фокона широко используется метод геометрической развертки [1, 2] (рис. 1), а также может применяться метод из работы [3], где были получены более общие формулы для описания хода лучей. Однако, методы [1, 2, 3] не учитывают ход лучей, направляющие прямые которых скрещиваются с оптической осью. Для точного описания хода лучей требуется численный расчет с использованием современных программно-аппаратных средств, который позволит получить зависимости между оптическими и конструктивными параметрами фокона.

Целью данной работы является разработка программы для расчета оптических свойств фокона и выявление наиболее оптимальных конструктивных параметров, при которых обеспечивается наилучшая сжимаемость пучка и минимальные потери потока.

Для решения этой задачи был разработан алгоритм распространения лучей в полом фоконе с возможностью оптимального встраивания векторных инструкций современных процессоров (ЦПУ).

Обеспечение возможности встраивания векторных инструкций ЦПУ можно достичь представлением всех вычислений в векторном виде. Рассмотрим алгоритм, который обеспечивает эти возможности:

Для описания хода лучей необходимо решить задачу о пересечении луча с конической поверхностью, уравнение которой имеет вид:

$$F = Ax^2 + By^2 - z^2 = 0,$$

или

$$x^2 \frac{1}{\mathrm{t}g^2\,\alpha} + y^2 \frac{1}{\mathrm{tg}^2\,\beta} - z^2 = 0 \qquad (1)$$

где α – угол конусности фокона в плоскости OYZ; β – угол конусности фокона в плоскости OXZ.

В большинстве случаев α = β, т. к. торцы фокона чаще всего изготавливают круглые.

Для представления лучей будем использовать параметрическое уравнение линии в векторном виде:

$$\vec{P} = \vec{\mathrm{A}} + \vec{\mathrm{S}}t \qquad (2)$$

здесь $\vec{\mathrm{A}}$ — вектор начала луча; $\vec{\mathrm{S}}$ — вектор направления луча; t — скаляр, определяющий геометрическое место всех точек прямой.

Представим уравнение конической поверхности (1) в векторном виде (для поддержки векторных инструкций ЦПУ), для этого введем диагональную матрицу M:

$$M = diag\left[\frac{1}{\tan^2\alpha}; \frac{1}{\tan^2\beta}; -1\right].$$

Тогда уравнение (1) примет вид:

$$\vec{P}M\vec{P} = 0,$$

подставляя в это выражение уравнение луча (2) и раскрывая скобки, получим:

$$\vec{\mathrm{S}}M\vec{\mathrm{S}}\mathrm{t}^2 + 2\vec{\mathrm{A}}\mathrm{M}\vec{\mathrm{S}}\mathrm{t} + \vec{\mathrm{A}}\mathrm{M}\vec{\mathrm{A}} = 0, \qquad (3)$$

$(\vec{\mathrm{A}}\mathrm{M}\vec{\mathrm{S}} = \vec{\mathrm{S}}M\vec{\mathrm{A}},$ т. к. M – диагональная матрица).

Решая уравнение (3) относительно t, находим точки пересечения луча с конической поверхностью. Заметим, что если t положительный корень, то точка пересечения находится на продолжении луча. Для дальнейшего расчета распространения луча следует выбирать наименьший положительный корень t (ему соответствует ближайшая точка пересечения на продолжении луча).

Подставляя корни уравнения (3) в уравнение линии (2), получаем координаты точки пересечения луча с конической поверхностью. Зная эти координаты, легко определить, вышел ли луч из фокона, и, если вышел, то заносить его в счетчик прошедших лучей. При этом если луч находится внутри фокона, то должно выполняться условие:

$$P_z < z_0 \text{ и } P_z > z_1 \qquad (4)$$

где P_z аппликата вектора $\vec{P}$, z_0 и z_1 координаты, на которых находятся входной и выходной торцы фокона соответственно (рис. 1).

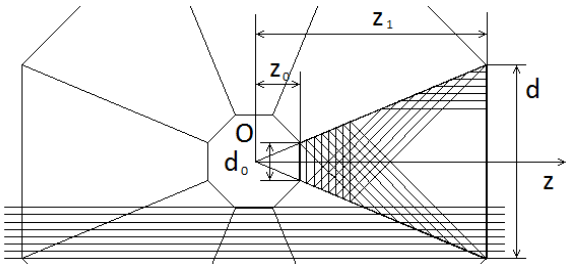


Рис. 1. Геометрическая развертка фокона

Выполнение условия (4) означает, что точка пересечения луча находится внутри фокона. Для расчета отраженного луча необходимо знать нормаль к поверхности в этой точке. Из аналитической геометрии известно, что нормаль можно найти через градиент функционала (1):

$$\vec{N} = \overrightarrow{grad}F = \frac{\partial F}{\partial x}\vec{\imath} + \frac{\partial F}{\partial y}\vec{\jmath} + \frac{\partial F}{\partial z}\vec{k},$$

$$\overrightarrow{grad}F = \frac{2x}{\tan^2\alpha}\vec{\imath} + \frac{2y}{\tan^2\beta}\vec{\jmath} - 2z\vec{k} = 2M\vec{P}, \qquad (5)$$

здесь i, j, k – орты системы координат.

Новое направление отраженного луча можно получить, используя найденную нормаль, при помощи выражения:

$$\vec{S}_{\text{отраж}} = \vec{S} - (\vec{S}, \vec{N})\vec{N}. \qquad (6)$$

Вектором начала луча теперь будет являться точка пересечения предыдущего хода луча с кони-

ческой поверхностью $\vec{P}$, а отраженный вектор $\vec{S}_{\text{отраж}}$ будет описывать новое направление луча. Подставляя найденные значения $\vec{S}_{\text{отраж}}$ и $\vec{P}$ вместо $\vec{A}$ и $\vec{S}$ в уравнение пересечения луча с конической поверхностью, можно рассчитать следующий шаг распространения луча, а повторяя весь процесс вычислений циклически, полностью рассчитать траекторию луча пока не нарушится условие (4).

Поскольку нахождение оптимальных конструкций фокона требует анализа массивов данных по оптическим характеристикам в зависимости от множества конструктивных параметров, для программирования алгоритма использовалась среда VS2008 с набором инструментов массивно параллельных вычислений CUDA. Благодаря векторному представлению вычислений перенос алгоритма на архитектуру CUDA был значительно облегчен.

Для проверки правильности работы созданной программы, методом геометрической развертки была получена формула, связывающая коэффициент пропускания с углом конусности полого зеркального фокона, при коллимированом входном пучке:

$$\tau = \frac{1}{(w\tan\theta)^2}, \qquad w = \frac{d_1}{d_0}, \tag{7}$$

где τ – коэффициент пропускания; w – коэффициент сжимаемости, d_0 и d_1 диаметры входного и выходного торцов соответственно; θ – угол конусности.

Пользуясь методом геометрической развертки можно также получить формулы для коэффициента пропускания при расходящемся входном пучке, однако в этом случае, как уже было указано выше, выходят из рассмотрения лучи, идущие под углом к оси скрещиваясь с нею, поскольку не существует плоскости, к которой принадлежали бы обе прямые.

Значения коэффициента пропускания, полученные по формуле (7) сравнивались с численным расчетом (Таблица 1).

Таблица 1. Сравнение коэффициента пропускания с его аналитической оценкой при w = 50
(σ –относительная ошибка расхождения данных)

Θ, мрад	Численный расчет	Точный расчет	σ
12	1	1	0
49	0,166	0,166	0,003
98	0,041	0,041	0,002
393	0,002	0,002	0,014

Как видно из таблицы 1, относительная погрешность расчета не более 1,4%, и находится в пределах погрешности численного метода.

На рис. 2 представлен график зависимости предельной фокусирующей способности фоконов с разными углами конусности θ (при постоянном, равном единице, коэффициенте пропускания). Для сравнения приведены кривые фокусирующей способности объектива с предельной теоретической числовой апертурой A = 2 и типичного объектива с относительным отверстием 0,5.

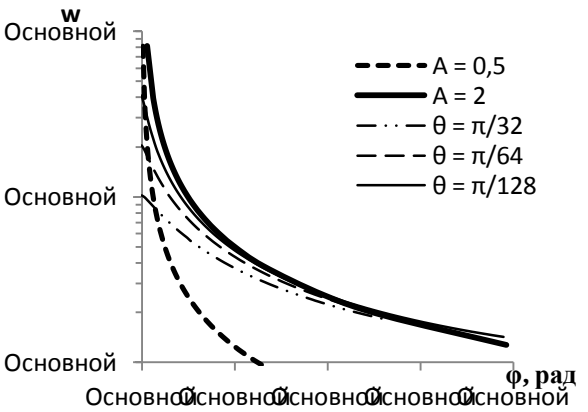


Рис. 2. Зависимость предельной фокусирующей способности фоконов с разными углами конусности θ от угловой расходимости φ; В сравнение с объективами, имеющими числовую апертуру A = 0,5 и 2,0

Из графиков на рис. 1 видно, что при небольшой угловой расходимости объективы обладают лучшей фокусирующей способностью, чем фокон. Однако с увеличением угловой расходимости входного пучка фокон практически не уступает линзовому объективу с теоретически предельно возможным относительным сечением 2,0, а при больших значениях угловой расходимости и вовсе превосходит его.

Таким образом, фокон превосходит линзовые объективы по своим оптическим характеристикам для согласования элементов волоконной оптики, поскольку обладает лучшими фокусирующими свойствами при больших угловых расходимостях.

Список литературы

1. W.B. Allen Fiber Optics. Theory and Practice. London, N.Y.: Plenum Press, 1973. 247 p.

2. Р. Тидекен. / Волоконная оптика и ее применения. М.: Мир, — 1973. — 240 с.

3. А. А. Маковецкий. Апертурные свойства многомодовых конических оптических волокон (фоконов).// Оптика спектроскопия. — 2010. — Т. 109, № 6. — с. 1051–1055.

ДАТЧИКИ ХОЛЛА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Григорьев М. Г., Вавилова Г.В.
Научный руководитель: Миляев Д.В., к.т.н., доцент.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Mishatpu@sibmail.com

При движении электрического заряда в магнитном поле на него воздействует отклоняющая сила. Именно на этом принципе основана работа таких экспериментальных установок, как синхрофазотрон, широко использующихся в исследованиях в области физики элементарных частиц: в них заряженные частицы оказываются пойманными в тороидальную (в форме бублика) магнитную ловушку и летают по кругу внутри неё. В малых масштабах этот эффект используется в устройстве микроволновой печи — в ней электроны, циркулируя в магнитном поле, производят сверхвысокочастотное излучение, разогревающее пищу.

Представьте, что на столе перед вами лежит кусок проводящей проволоки, а магнитное поле направлено перпендикулярно плоскости крышки стола. Если по проволоке пропустить ток, магнитное поле заставит заряды внутри провода отклоняться в одну сторону (вправо или влево от направления тока, в зависимости от ориентации магнитного поля и полярности зарядов). Смещаясь от направления прямолинейного движения внутри проводника, заряды будут скапливаться в приграничной зоне, пока силы взаимного электростатического отталкивания между ними, возникающие в силу закона Кулона, не уравновесят отклоняющую силу воздействия магнитного поля на ток. После этого ток снова потечёт прямолинейно, однако на проводнике возникнет разность электрических потенциалов в плоскости, перпендикулярной как направлению тока, так и направлению силовых линий магнитного поля, вызванная перераспределением электрических зарядов в плоскости сечения проводника, а величина этой разности потенциалов будет пропорциональна силе тока и напряженности магнитного поля.

Первым поперечное электрическое напряжение, возникающее под воздействием внешнего магнитного поля, по вышеописанной схеме измерил в 1879 году Эдвин Холл. Он осознал, что направление вектора напряжения будет зависеть от того, какие заряды — отрицательные или положительные — являются носителем тока. И, в результате проведённых опытов, Холл первым в мире наглядно продемонстрировал, что электрический ток в металлах создаётся направленным движением отрицательно заряженных *электронов.* А до этого опыта учёные сомневались и относительно полярности зарядов-носителей тока, и относительно того, воздействует ли магнитное поле на заряженные частицы внутри проводника или на саму неподвижную структуру проводника. Прошло более столетия после экспериментов Холла, и германский физик Клаус фон Клитцинг открыл квантово-механический аналог эффекта Холла, за что и был в 1985 году удостоен Нобелевской премии по физике.

Если через полупроводник в одном направлении пропускать постоянный ток I плотностью j, а в другом направлении воздействовать магнитным полем B, то в третьем направлении можно измерить напряжение V, меняющееся пропорционально силе магнитного поля:

$$V = R * B * b * j$$

где R – постоянная Холла, b – расстояние между гранями, на которых возникает измеряемое напряжение[1].

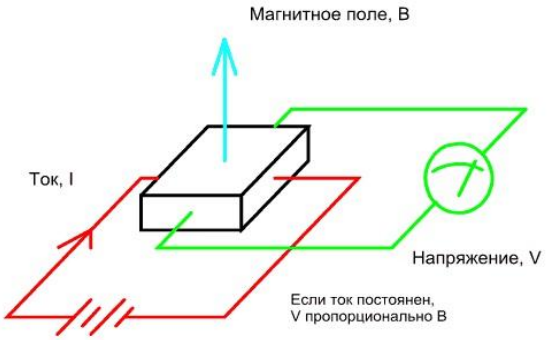


Рис.1. Эффект Холла

На основе данного эффекта были спроектированы несколько приборов для проведения лабораторных работ.

На операционных усилителях можно собрать универсальный прибор для определения полюсов магнитов и определения величины магнитной индукцией магнитного поля. На рисунке 2 показана принципиальная схема тесламетра.

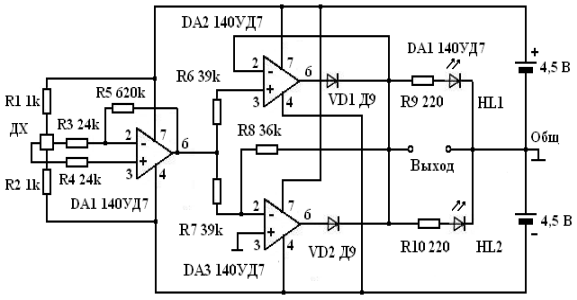


Рис. 2. Принципиальная схема тесламетра

На DA1 собран усилитель сигнала, поступающего с датчика Холла. На его выходе появляется разнополярное напряжение в зависимости от того, какой полюс магнита подносится к датчику Холла. С выхода усилителя разно-полярное напряжение подается на не инвертирующий вход ОУ DA2 и на инвертирующий вход ОУ DA3. Если на выходе DA1 будет положительный потенциал, то на выходе DA2 будет положительный потенциал и светодиод HL1 загорится. Светодиод HL2 гореть не будет, так как ОУ DA3 инвертитует сигнал, и на его выходе будет отрицательный потенциал. Если на выходе DA1 будет отрицательный потенциал, то загорится HL2. Так как выходы DA2 и DA3 соединены вместе через диоды VD1 и VD2, то на гнездах «Выход» всегда будет положительное напряжение и к ним можно подключать демонстрационный вольтметр на 5 В или вход АЦП USB микроконтроллера.

Для измерения массы и веса тела можно использовать вышеописанный датчик Холла. Прибор для этой цели состоит из плоской коробочки, на дне которой находится датчик Холла. Сверху находится стальная упругая пластинка, к которой прикреплен неодимовый магнит. При помещении на упругую пластинку тела, вес которого нужно определить, расстояние между магнитом и датчиком Холла уменьшается, следовательно, напряжение на выходе датчика Холла увеличивается. Для увеличения выходного напряжения до 5 В датчик Холла подключен к усилителю, выполненным на ОУ. Устройство в разрезе представлено на рисунке 3.

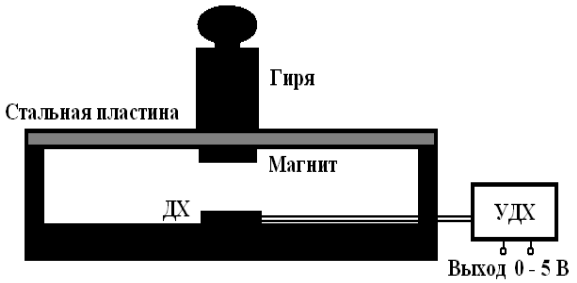


Рис.3. Весы на основе датчика Холла

Для измерения угловой скорости, скорости ветра или частоты вращения можно использовать вращающийся диск (Рис.4). Диск можно взять из набора для вращательного движения или (вместе с опорным подшипником) из старого проигрывателя. Снизу к диску приклеивают магнит, а на подставке устанавливают датчик Холла. При прохождении магнита около датчика Холла, на его выходе появляется напряжение, которое усиливается усилителем датчика Холла УДХ.

При вращении диска на выходе усилителя появляется серия импульсов. Ее направляют на преобразователь «частота-напряжение». С выхода преобразователя напряжение 0–5В подают на демонстрационный вольтметр, шкала которого проградуирована в единицах частоты вращения или угловой скорости. Для вывода информации на экран ПК напряжение подают на вход USB микроконтроллера.

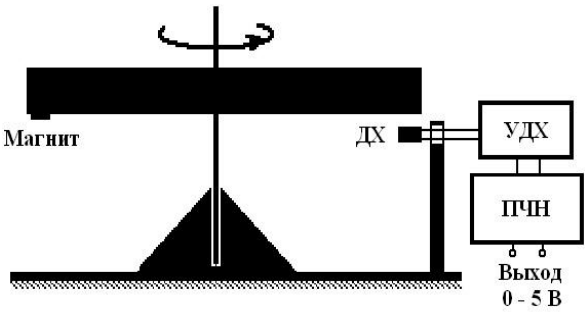


Рис.4.Вращающийся диск

Данная работа не имеет аналогов в вузовском демонстрационном и лабораторном экспериментах. Приборы на датчиках Холла позволяют преподавателю на лабораторных работах и работах по физическому практикуму определять полюса магнитов, измерять магнитную индукцию постоянного магнитного поля.

Использование тензодатчиков в физических экспериментах позволяет визуализировать демонстрационные эксперименты по механике, молекулярной физике, термодинамике и электромагнетизму.

Для повышения мотивации студентов к изучению предмета в этой работе предусмотрено подключение приборов с датчиками Холла к демонстрационным вольтметрам, входящим в оборудование кабинетов кафедры и к компьютеру с выводом информации на большой экран с использованием видеопроектора.

Список литературы

1. Зайцев В.И. Эффект Холла//Исследование физических процессов/А.В.Петров, С.И.Ковалев – М., 2005.-С.155-156.
2. http://radiokot.ru/lab/analog/20/
3. http://kosinov.314159.ru/kosinov31.htm

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОЙ КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

А.О. Гурьянова, Л.И. Худоногова
Научный руководитель: В.Ю. Казаков, доцент, к.ф.-м.н.
Томский политехнический университет
E-mail: savok90@sibmail.com

Введение

В настоящее время с развитием науки и техники, разработкой новых технологий появляется все большие возможностей в области автоматизации метрологических работ. Одним из направлений в этой сфере является дистанционная калибровка средств измерений. При прохождении обычной калибровки средство измерений вместе с сопроводительной документацией направляется клиентом в государственные метрологические службы, где проходит все необходимые процедуры. Однако такой подход требует значительных финансовых и временных затрат, связанных с доставкой калибруемого средства измерений в аккредитованную метрологическую лабораторию и проведением всех предписанных операций калибровки.

Калибровка прибора в дистанционном режиме позволяет снизить затраты на транспортировку и проведение процедур калибровки, а также существенно сократить интервал времени, в течение которого прибор не доступен для работы. Кроме того, данный способ позволяет минимизировать участие персонала в метрологическом обеспечении средств измерений и автоматизировать сбор и обработку результатов калибровки. Однако все это осуществимо при условии, что сами калибруемые средства измерений имеют стандартный интерфейс связи с компьютером – например, IEEE 488, IEEE 1394, PCI / PXI и USB.

В настоящее время существуют различные системы дистанционной калибровки средств измерений. Некоторые из них описаны в [1], [2]. Однако данные системы предназначены для применения лишь в конкретных организациях и используются для калибровки конкретного оборудования, и адаптация программного обеспечения этих систем к другим приборам не возможна либо затруднительна. Кроме того, подобные системы являются крайне дорогостоящими.

Целью данного исследования является разработка системы дистанционной калибровки средств измерений с использованием программы LabVIEW.

Описание системы дистанционной калибровки

Многие из коммерчески доступных программных средств, посвященных разработке виртуальных приборов (ВП), такие как LabVIEW, LabWindowsTM/CVI и HP VEETM, предлагают возможности для интерактивного управления приборами через Интернет и, следовательно, для решения задачи калибровки некоторых устройств в дистанционном режиме. В настоящее время на кафедре Компьютерных измерительных систем и метрологии (КИСМ) ТПУ реализована система, позволяющая проводить калибровку средств измерений дистанционно. Система представляет собой совокупность аппаратных и программных средств, взаимодействующих друг с другом. Аппаратное обеспечение включает в себя многофункциональный калибратор Fluke 5520A, цифровой мультиметр NI PXI-4072, а также два персональных компьютера. Калибратор Fluke 5520A выступает в качестве регулируемой многозначной меры постоянного и переменного напряжения. При выполнении работы калибратор является эталоном и обеспечивает воспроизведение с высокой точностью значения постоянного и переменного напряжения.

Аппаратная часть рассматриваемой системы дистанционной калибровки представлена на рисунке 1.

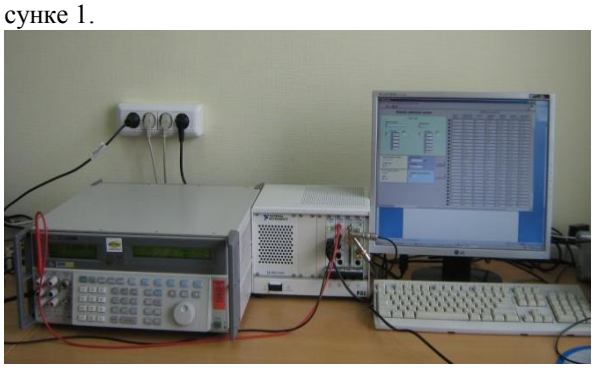


Рис.1. Аппаратная часть системы дистанционной калибровки мультиметра NI PXI-4072

Программное обеспечение представлено программой, разработанной на кафедре КИСМ ТПУ. Данная программа создана в среде разработки LabVIEW на базе инструментальных драйверов для средств измерений, выпускаемых компанией National Instruments [3]. Программа предназначена для целей дистанционной калибровки мультиметра NI PXI-4072 и способна взаимодействовать с реальными сигналами, анализировать информацию и организовывать обмен данными [4].

Программа для дистанционной калибровки основана на архитектуре «клиент-сервер». Взаимодействие между программой-клиентом и программой-сервером происходит посредством протокола передачи данных TCP. Программа-клиент функционирует на рабочем месте пользователя – персональном компьютере. Программа-сервер работает на компьютере, соединенном с калибруемым мультиметром и калибратором, управление которым происходит по интерфейсу GPIB.

Для использования данной системы необходимо обеспечить компьютеры постоянным доступом в Интернет. Дополнительное программное обеспечение на клиентский компьютер устанавливать не требуется. После запуска программы-сервера и программы-клиента указываются IP-адреса и номера портов на локальном и удаленном компьютерах (функция TCP Open Connection). В программе-клиенте пользователь задает все данные, необходимые для проведения калибровки. По команде пользователя программа-клиент отправляет эти данные программе-серверу (функция TCP Write). При возникновении ошибки или остановке клиента соединение разрывается (функция TCP Close Connection) [5]. Когда программа-сервер получает запрос от клиента (функция TCP Read), она отсылает принятые данные на калибратор и запускает процесс калибровки мультиметра. Калибратор последовательно генерирует значения напряжения, заданные пользователем, а мультиметр измеряет напряжение эталонных сигналов, поступающих с калибратора. Программа-сервер в режиме реального времени отображает информацию о проводимых измерениях: задаваемое и измеренное значение напряжения, предел измерений, абсолютную и относительную погрешность измерений. Допускаемая погрешность рассчитывается в соответствии с документацией на калибруемое средство измерений на основании заданных значений предела измерений, напряжения и частоты. После проведения всех измерительных и расчетных операций программа-сервер формирует протокол калибровки и передает его на компьютер клиента. Протокол калибровки сохраняется в файл на компьютере клиента, а также выводится на экран. В случае, если значение абсолютной погрешности измерений напряжения вышло за пределы допускаемой погрешности, то на лицевой панели программы-клиента загорается светодиод, показывающий, какое именно значение является недопустимым. Протокол калибровки содержит следующую информацию:

- заданное значение физической величины;
- измеренное значение физической величины;
- предел измерений;
- абсолютную погрешность измерений величины;
- относительную погрешность измерений величины;
- допускаемую погрешности измерений величины.

Пример протокола калибровки мультиметра NI PXI-4072 приведен на рисунке 2.

Calibration protocol

Rated Value, V	Fundamental Frequency, Hz	Range, V	Measured Value, V	Absolute error, V	Related error, ± %	Permissible error, V
0,05	50	0,05	0,04999	-0,000006	0,01151	0,0045
0,05	1000	0,05	0,05	0,000003	0,005291	0,0045
0,05	20000	0,05	0,05	0,000002	0,004598	0,0045
0,05	50000	0,05	0,05002	0,000023	0,045	0,006502
0,05	100000	0,05	0,05007	0,00007	0,1404	0,02903
0,05	300000	0,05	0,02949	-0,02051	69,54	0,09348
0,5	50	0,5	0,4999	-0,000068	0,01368	0,045
0,5	1000	0,5	0,5	0,000019	0,003707	0,045
0,5	20000	0,5	0,5	0,000045	0,008976	0,045
0,5	50000	0,5	0,5003	0,000297	0,0593	0,06503
0,5	100000	0,5	0,5009	0,000854	0,1704	0,2904
0,5	300000	0,5	0,5033	0,003343	0,6642	1,56
5	50	5	5	-0,000469	0,009385	0,45
5	1000	5	5	0,000151	0,003014	0,45
5	20000	5	5	0,000282	0,005645	0,45
5	50000	5	5,002	0,002222	0,04441	0,6502

Рис.2. Протокол калибровки NI PXI-4072.

Заключение

Разработана система дистанционной калибровки цифрового мультиметра NI PXI-4072. Данная система позволит существенно снизить материальные и временные затраты клиента на транспортировку и проведение калибровки средства измерений. Однако необходимо достичь максимально возможной автоматизации в рамках современных технологии, то есть привести к минимуму участие человека в процедуре калибровки. Также дальнейшим перспективным направлением является создание и постоянное расширение базы средств измерений, для которых возможна калибровка в дистанционном режиме.

Список литературы

1 Imae M., Kurihara N., Iwama T., Kotake N., Suzuyama T., and Shibuya Y., "Time & Frequency Remote Calibration Systems Using GPS", Proc. of 5th Investigation Committee on High Performance Precise-Frequency Generation Circuits, No. 5-2, 2002.)

2 M.A. Lombardi, A.N. Novick, and R.M. Graham, “Remote Calibration of a GPS Timing Receiver to UTC (NIST) via the Internet,” Proceedings of the 2003 Measurement Science Conference, January 2003.

3 Fluke 5520A Multi-Product Calibrator – Instrument Driver – National Instruments [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://sine.ni.com/apps/utf8/niid_web_display.model_page?p_model_id=706, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 11.01.2013).

4 Т.К.Толочко, А.В.Гусинский, А.М. Кострикин. Дистанционная калибровка средств измерений. Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. №1(30), 2008.

5 O”Dowd R., Maxwell D., Ferrel T., Dunne J.// Pros. 4th Optical Fiber Measurement conference. Oct., 1997, c. 155-158.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЙ НИЗКООМНЫХ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО СВЕТОДИОДА

Жидик Ю.С., Ватюк А.А.
Научный руководитель: Троян П.Е., д.т.н., профессор
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: Zhidikyur@mail.ru

Светодиоды известны как эффективные малогабаритные источники света. Необходимость повышения мощности для увеличения светового потока привела к тому, что традиционно применяемая планарная структура светодиода перестала удовлетворять из-за сильно неравномерного растекания тока и недостаточного теплоотвода [1].

В связи с этим в технологии изготовления светодиодов в настоящее время все большее предпочтение отдается тонкопленочной вертикальной структуре, полученной в результате отделения сапфировой подложки от гетероструктуры светодиода, с текстурированием поверхности n-GaN (рис. 1).

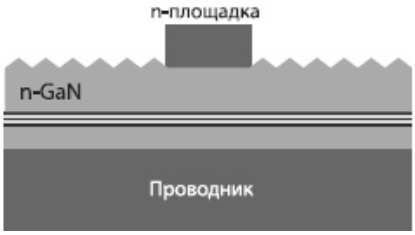


Рис.1. Структура тонкопленочного вертикального светодиода

При помощи компьютерного моделирования было определено, что наилучшие результаты растекания тока в такой структуре и вывода из нее сгенерированного излучения можно получить, применяя сплошной контакт к p-GaN слою с высоким коэффициентом отражения, дополнительный слой растекания тока ITO на поверхности n-GaN, а так же обеспечив кок можно меньшее контактное сопротивление контакт-полупроводник.

В связи с этим, текущие исследования посвящены решению вопросов, связанных с поиском наиболее подходящих контактных структур и отработкой технологий их формирований.

Работа выполнена при поддержке министерства образования и науки по договору 73/10 в рамках 218-го постановления правительства РФ.

Технология формирования низкоомного омического контакта к n-GaN.

Известные способы изготовления наноструктурных омических контактов, включают последовательное нанесение на полупроводниковый слой GaN контактного слоя толщиной от 5 до 500 Å из металла, выбранного из группы: Ni, Ir, Pt, Pd, Au, Ti, Ru, W, Ta, V, Co, Os, Re, Rh, улучшающего адгезию на границе металл - полупроводник; отражающего слоя из Al или Ag предпочтительной толщины от 1000 до 2000 Å; а также первого и второго слоев для осуществления сварки толщинами 1000 Å или менее. Первый слой наносят из металла, выбранного из группы: Ni, Cr, Ti, Pd, Ru, Ir, Rh, Re, Os, V, Ta; второй слой наносят из металла, выбранного из группы: Au, Pd, Pt. Вжигание контактов производят в течение 1 – 10 минут, при температуре от 100 до 700°C.

Для создания низкоомного электрического контакта к n-области кристалла для разрабатываемой светодиодной структуры первоначально была выбрана и использовалась схема металлизации Ti/Al/Ni/Au (20нм/150нм/100нм/100нм) с отжигом в атмосфере N_2.

При исследовании зависимости удельного сопротивления n-контакта от температуры отжига, минимальное удельное сопротивление было получено в результате отжига при температуре 700°C в течении 5 мин, и составило $1 \cdot 10^{-5}$ Ом · см^2. Однако, было установлено, что при нагреве сформированных светодиодных структур даже до 700°C происходит частичное ухудшение их излучательных характеристик, а дальнейшее увеличение температуры отжига вполне может привести к полной деградации гетероструктуры AlGaInN. Поэтому, с целью уменьшения контактного сопротивления при отсутствии отжига n-контакта, было предложено использование предварительной очистки поверхности полупроводника.

Удаление приповерхностного слоя GaN непосредственно перед процессом напыления контактных слоев, производится ионно-плазменным травлением на глубину 5-30 нм и необходимо для улучшения адгезии металла к полупроводниковой структуре и для уменьшения переходного контактного сопротивления.

Такой подход при формировании омических контактов отмечен различными коллективами, например, в работах [2, 3]. В особенности в [3] Смирнова И.П. отмечает, что в результате проведения серии опытов, с целью определения влияния параметров предварительной обработки поверхности полупроводника в ВЧ плазме Ar на удельное сопротивление n-контакта, для всех исследованных режимов травления, контакт к n-GaN является омическим. При этом, минимальная величина контактного сопротивления $1 \cdot 10^{-4}$ Ом·см^2 была достигнута при мощности ВЧ разряда 75 Вт, давлении Ar 1Па и времени травления 2 мин.

Таким образом, в отсутствие отжига контактное сопротивление определяется состоянием поверхности n-GaN и свойствами металла, лежащего непосредственно на поверхности полупроводника, т.е. Ti, а значит, отпадает необходимость нанесения подслоя Al. По этой причине, в качестве n-контакта в разрабатываемой конструкции предлагается использовать двухслойную систему Ti/Au (25нм/120нм) без последующего отжига. Подбор режимов травления поверхности n-GaN, а также ее легирование позволяет получить удельное сопротивление для n-контактов на основе Ti/Au без отжига порядка $5\cdot10^{-5} – 1\cdot10^{-6}$ Ом·см^2.

Технология формирования отражающего низкоомного омического контакта к p-GaN.

Как было отмечено выше, при проектировании контакта к p-слою GaN необходимо учесть не только минимальное значение его сопротивления, но и стремиться получить как можно больший коэффициент отражения света, так как из-за высокого коэффициента преломления света в структурах AlGaInN и эффекта полного внутреннего отражения существенная часть излучения может покинуть кристалл только после многократного отражения от контакта. Вследствие этого, даже небольшие относительные изменения отражающей способности контакта могут существенно повлиять на эффективность прибора в целом.

В качестве отражающего контакта к слою p-GaN были исследованы различные, широко используемые для данной задачи, двухслойные комбинации металлов: Ni/Ag, Pt/Ag, Ni/Al, Ni/Au.

При нанесении двухслойных структур на диэлектрическую подложку методами магнетронного распыления (адгезионный слой) и термического испарения (отражающий слой) и измеряя их спектры поглощения, пропускания и отражения, эллипсометрическим комплексом «Эллипс–1891САГ» определено, что лучшими отражающими свойствами обладают комбинации Ni/Ag(4нм/200нм) и Pt/Ag(4нм/200нм). При этом, при проведении подобного эксперимента в [4] авторы отмечают, что светодиодные кристаллы с отражающим контактом Ni/Ag имеют лучшие вольтамперные характеристики, чем кристаллы с контактом Pt/Ag. Интересные результаты также были получены в [4] при сравнении кристаллов с отражающим p-контактом Ni/Ag(4нм/220нм) и полупрозрачным p-контактом Ni/Au(4нм/4нм), на основании которых авторами сделано заключение о том, что отражающий контакт обеспечивает более низкое последовательное сопротивление прибора, большую однородность распределения тока и увеличение внешней квантовой эффективности светодиода более чем в два раза. Таким образом, окончательно выбранной двухслойной отражающей комбинацией в [4] стал p-контакт Ni/Ag.

Приняв во внимание полученные экспериментальные и литературные данные и стремясь увеличить отражающую способность p-контакта, была произведена попытка изготовления его на основе комбинации слоев ITO/Ag. Для оценки отражательной способности получаемых таким образом контактов и определения оптимальных толщин слоев на покровные стекла наносились пленки ITO различной толщины, которые сверху закрывались слоем серебра толщиной 220 нм. Отражательная способность покрытий определялась путем сравнения с отражением от тестового образца, представляющего собой слой серебра толщиной 220 нм. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение коэффициента отражения.

Материал и толщины слоев контакта	Отражение от образца по отношению к отражению от тестового образца со слоем Ag, толщиной 220 нм, %
Ag (220нм)	100
ITO(2нм)/Ag(220нм)	93
ITO(5нм)/Ag(220нм)	89
ITO(10нм)/Ag(220нм)	85
ITO(70нм)/Ag(220нм)	28
Ni(5 нм)/Ag(220 нм)	78

Было установлено, что отражательная способность контакта Ni(5 нм)/Ag(220 нм) сравнима по отражательной способности с комбинацией ITO(10 нм)/Ag(220 нм). Таким образом, используя контакты с меньшими толщинами пленок ITO, можно получить выигрыш в отражении и соответственно увеличить внешнюю квантовую эффективность светодиода. Для изготовления отражающих контактов была выбрана комбинация ITO(5нм)/Ag(220нм). Удельное сопротивление отражающего контакта составило $3{,}7\cdot10^{-3}$ Ом·см^2. Использование слоев с толщинами ITO менее 2,5 нм нецелесообразно вследствие ухудшения электрических свойств контакта.

Список литературы

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер.с англ. под ред. А.Э. Юновича–М.: Физматлит, 2008.–496 с.

2. Андреев В.М., Мизеров М.Н., Румянцев В.Д. Способ изготовления полупроводниковой структуры с p-n переходами. Патент РФ № 2461093 на изобретение по заявке №2011106339/28 от 18.02.2011. Опубл. в БИ № 25 от 10.09.2012.

3. Смирнова И.П. Высокоэффективные излучающие приборы на основе гетероструктур AlGaInN: Диссертация на соискание учетной степени кандидата физ. – мат. наук // Санкт-Петербург: Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, 2007. – 153 с.

4. Смирнова И. П., Макаров Л. К. Синие флип-чип светодиоды на основе AlGaInN с удаленной сапфировой подложкой // Физика и техника полупроводников.–М.,2006.–Т.40.–1397 с.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ЦИФРОВОГО (ЦИМ-1.1)

А. А. Заикина, Е. С. Рункова
Научный руководитель: С.В. Силушкин, к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина 30.
e-mail: zaikina.anastasija@yandex.ru

Введение

Переход от традиционных средств учета и измерений к многофункциональным цифровым средствам измерений (СИ) на базе современных информационных и интеллектуальных технологий показывает, что такие СИ станут основными средствами учета электроэнергии и контроля ее качества в ближайшем будущем.

Практически все интеллектуальные СИ осуществляют аналого-цифровое преобразование входных сигналов с последующей их цифровой обработкой [1]. Этот подход был использован при разработке ЦИМ-1.1 [2].

Описание решения

Аппаратная часть ЦИМ-1.1 состоит из преобразователя тока в напряжение (трансформатор тока или шунт), индуктивного делителя, модульной платформы PXI–1031 (с модулем осциллографа PXI-5124) и компьютера. Обработка результатов измерений, полученных с аппаратной части ЦИМ-1.1, проводится в ВП «Цифровой измеритель мощности», рис. 1.

Программное обеспечение измерителя мощности ЦИМ-1.1 разработано в среде LabVIEW 2009 компании National Instruments [3] и выполнено в виде виртуального прибора (ВП), который позволяет формировать параметры проведения эксперимента, управления, сохранения данных, проводить расчет мощностей по различным алгоритмам, а также графически представлять результаты эксперимента на экране монитора компьютера в реальном времени. На рис. 1 приведен внешний вид ВП «Цифровой измеритель мощности».

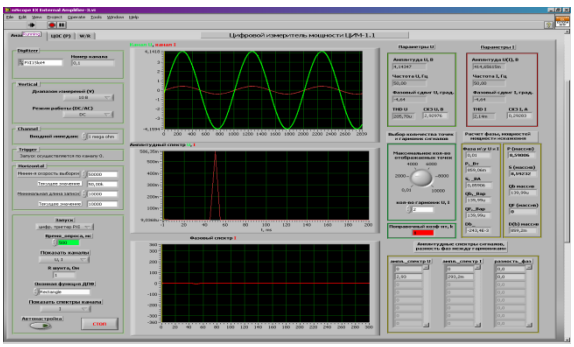


Рис. 1. ВП «Цифровой измеритель мощности». Исследуемые сигналы тока и напряжения без искажений

Разработка алгоритмов обработки сигналов для вычисления мощности

Используемые алгоритмы для обработки оцифрованных сигналов сводятся к математической обработке с применением дискретного преобразования Фурье (ДПФ) или быстрого преобразования Фурье (БПФ), то есть к спектральному анализу. Также могут быть использованы преобразования Хартли, Уолша и др. [4].

При разработке ВП «Цифровой измеритель мощности» были использованы стандартные блоки, позволяющие подключиться к оборудованию National Instruments стандарта PXI. Для цифровой обработки сигналов применено ДПФ с оконной функцией, разработаны дополнительные блоки обработки массивов данных.

Реализация алгоритмов расчета мощностей

Для определения мощностей было применено несколько способов расчета:

1 Значения мощностей определяются, используя найденные среднеквадратичные значения (СКЗ) тока и напряжения и значение фазового угла между ними. Этот метод применяется в том случае, если сигналы тока и напряжения не содержат высших гармоник, т.е. сигналы имеют синусоидальную форму. На рис. 2 приведен программный код, в котором соответствующие терминалы принимают значения тока, напряжения и фазы, а затем по заданным алгоритмам при помощи узлов и подпрограмм рассчитывают значения мощностей и мощности искажения.

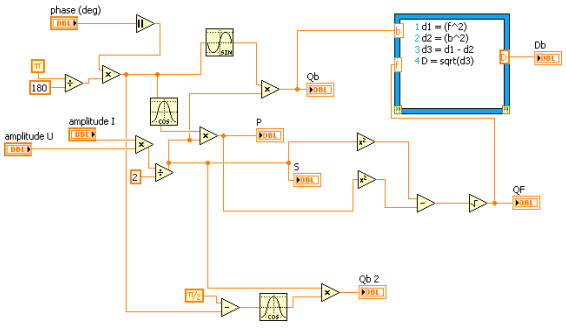


Рис. 2. Расчет мощностей по действующим значениям токов и напряжений

2 Значения мощностей определяются по мгновенным значениям тока и напряжения. Этот алгоритм расчета позволяет проводить обработку данных в несинусоидальных условиях. На рис. 3 приведен фрагмент подпрограммы расчета активной мощности.

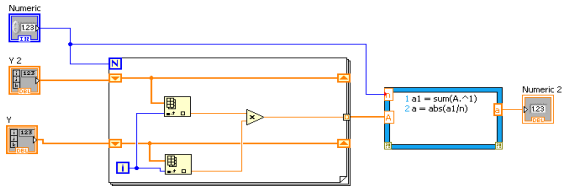


Рис. 3 – Расчет активной мощности по мгновенным значениям токов и напряжений

3 Значения мощностей определяются на основе полученных данных, применяя ДПФ – проводится цифровая обработка сигналов. Этот алгоритм позволяет анализировать гармонический состав несинусоидальных сигналов и производить расчет мощностей. На рис. 4 приводится фрагмент подпрограммы расчета реактивной мощности по мгновенным значениям сигналов тока и напряжения.

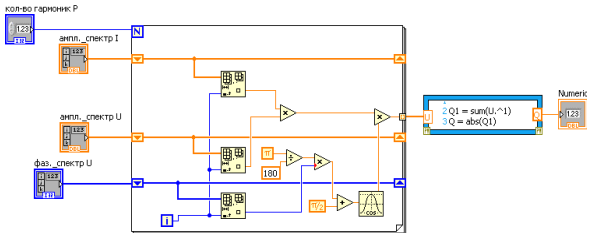


Рис. 4 – Расчет реактивной мощности по амплитудным спектрам токов и напряжений

Для определения фазовых сдвигов высших гармоник были разработаны подпрограммы SubVI-фаза-U и SubVI-фаза-I, которые используют данные полученные из спектральных данных о сигнале (фаза, амплитуда, частота).

Экспериментальные исследования

Были проведены экспериментальные исследования погрешности измерений мощности в диапазоне токов от 1 А до 40 А [2].

В эксперименте были использованы калибратор фиктивной мощности «Вектор» и ваттметр-счетчик ЦЭ-7008. Установленное значение напряжения U_0 = 30 В. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты сравнения экспериментальных данных ЦИМ-1.1 с данными, полученными ЦЭ-7008

Устанавливаемые токи I, А	2	5	10	40
$P_{ЦЭ7008}$, Вт	29,94	74,91	150,01	599,0
$P_{ЦИМ}$, Вт	30,48	76,27	152,49	608,7
δ, %	-1,8	-1,8	-1,7	-1,6

Как видно из таблицы, полученные значения погрешности мало различаются по модулю и имеют один и тот же знак во всем диапазоне измерений.

Можно повысить точность измерений, введя поправочный коэффициент k, который определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{X_i}{X_{Эi}}$$

где X_i – показания ЦИМ-1.1;
$X_{эi}$ – показания эталонного счетчика;
N – количество измеренных значений мощностей.

Расчетное значение коэффициента k = 0,9922. В таблице 2 приведены результаты измерений после введения поправочного коэффициента. С учетом k мощность рассчитывается по формуле:

$$P = k \cdot P_{изм}, Вт$$

Таблица 2. Результаты сравнения экспериментальных данных ЦИМ после введения калибровочного коэффициента с данными, полученными ЦЭ-7008

Поправочный коэффициент, k	0,992	0,992	0,992	0,992
I, А	2	5	10	40
$P_{ЦЭ7008}$, Вт	60,04	150,00	299,93	1198,9
$P_{ЦИМ}$, Вт	60,20	150,35	300,72	1200,6
δ, %	-0,27	-0,23	-0,26	-0,14

Заключение

Программно реализованы в среде LabVIEW два типовых метода расчета реактивной мощности по Будеану и Фризе. Реализованы измерения действующих значений активной, полной, реактивной мощностей и мощности искажения для синусоидальных условий. Для несинусоидальных условий используется расчет во временной области (через мгновенные значения) и в частотной области на основе спектрального анализа с помощью ДПФ.

Список литературы

1. Svensson S. Power measurement techniques for non-sinusoidal conditions. The significance of harmonics for the measurement of power and other AC quantities/ Doctoral thesis for the degree of Doctor of Philosophy. – Department of Electric Power Engineering, Chalmers University Of Technology, Göteborg, Sweden, 1999. – 159 p.

2. Силушкин С.В., Муравьев С.В., Фомичев Ю.М., Емельянова Е.Ю. Цифровой измеритель мощности сигналов сложной формы на базе PXI-платформы. // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 4

3. Тревис Дж. LabVIEW для всех. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 544 с.

4. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: Справочник. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с.

СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Измайлова Е.В.
Научный руководитель: Ваньков Ю.В., д.т.н., профессор
Казанский государственный энергетический университет,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51
E-mail: evgeniya-izmailova@yandex.ru

В настоящее время актуальной задачей является необходимость диагностики и оценки технического состояния труб, т.к. потери тепла в системах теплоснабжения доходят до 60 %.

Для диагностики трубопроводов предложено использовать метод акустической эмиссии (АЭ).

Одной из программ, служащей для диагностики трубопроводов, является программа для ЭВМ – виртуальный прибор [1] ImCounter, написанный для языка программирования – National Instruments LabVIEW 11.0.

Программа предназначена для диагностики трубопроводов и может применяться для акустической диагностики различных линейно протяженных изделий. Программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- подключение к аналого-цифровому преобразователю и запись сигнала;
- чтение записанных данных и их графическое воспроизведение;
- определение минимального и максимального значения сигнала;
- определение полезного сигнала – счета импульсов (количества импульсов превысивших допустимый порог).

В работе исследуются сигналы АЭ, возникающие в результате инициирования дефекта на отрезке трубопровода в лабораторных условиях.

В качестве имитатора сигналов АЭ используется источник Су-Нильсена (Су-имитатор), имитирующий АЭ сигналы.

На рисунке 1 показана лицевая панель данного виртуального прибора (ВП).

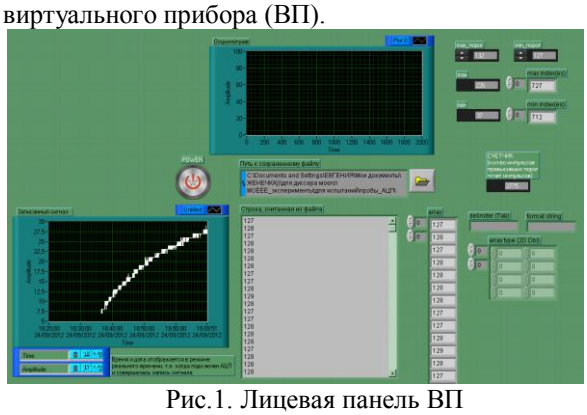


Рис.1. Лицевая панель ВП

На рисунке 2 отдельно показаны экспортированные с графика данные записанного сигнала при помощи Write to Measurement File, и полученного с работающего аналого-цифрового преобразователя (АЦП) во время проведения эксперимента.

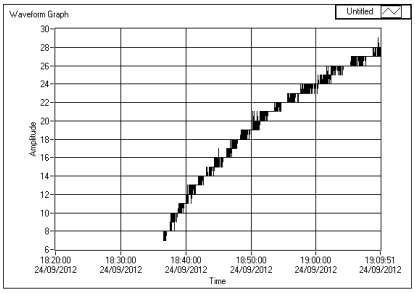


Рис.2. Экспортированные данные записанного сигнала

На рисунке 3 показаны характеристики этого сигнала в формате LVM.

```
LabVIEW Measurement
Writer_Version    2
Reader_Version    2
Separator    Tab
Decimal_Separator    ,
Multi_Headings    Yes
X_Columns    No
Time_Pref    Relative
Operator    ЕВГЕНИЯ
Date    2012/09/24
Time    18:36:32,28125
***End_of_Header***

Channels    1
Samples    2000
Date    2012/09/24
Time    18:36:32,28125
X_Dimension Time
X0    0,00000000000000000E+0
Delta_X    1,000000
***End_of_Header***
X_Value    Untitled    Comment
        8,000000
        7,000000
        8,000000
        7,000000
        7,000000
        8,000000
        8,000000
        7,000000
        8,000000
        8,000000
        8,000000
        8,000000
        7,000000
        7,000000
        8,000000
```

Рис.3. Характеристики записанного сигнала

На рисунке 4 показан зарегистрированный амплитудно-временной сигнал от источника Су-Нильсена [2].

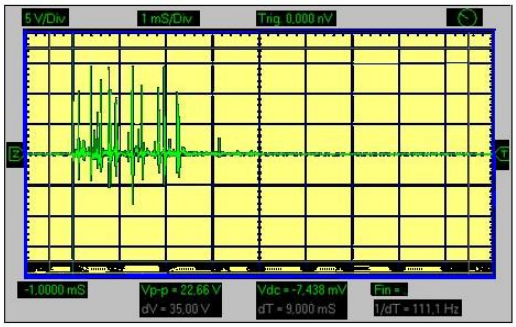


Рис.4. Амплитудно-временной сигнал от излома грифеля

На рисунке 5 изображен исследуемый образец.

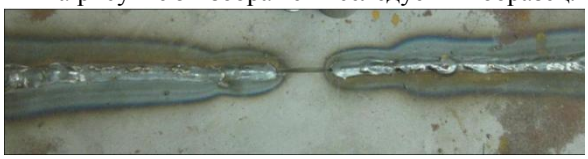


Рис.5. Исследуемый образец

На рисунке 6 приведена часть блок-диаграммы виртуального прибора [3], который регистрирует сигнал с АЦП и записывает его данные.

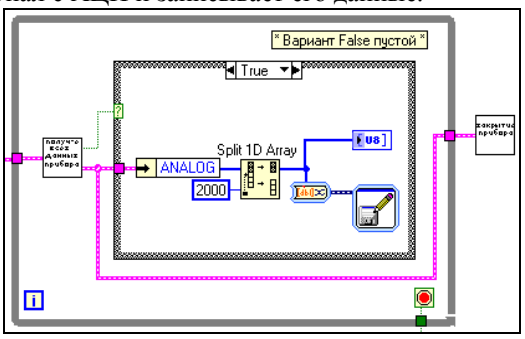


Рис.6. Часть блок-диаграммы программы, регистрирующей сигнал АЭ

На рисунке 7 представлена часть блок-диаграммы, которая определяет полезный сигнал, т.е. счет импульсов.

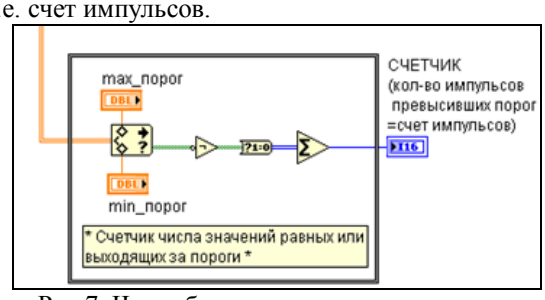


Рис.7. Часть блок-диаграммы программы, определяющей количество импульсов

На рисунке 8 принципиальная схема лабораторной установки.

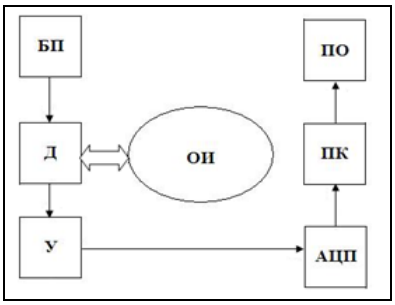


Рис.8. Принципиальная блок-схема установки:
БП – блок питания предусилителя,
У – предусилитель, Д – датчик АЭ, ОИ – объект исследования, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ПК – персональный компьютер, ПО – программное обеспечение для обработки сигналов (LabVIEW)

На рисунке 9 представлена сама экспериментальная установка.

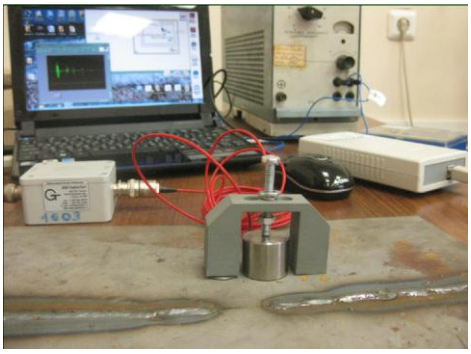


Рис.9. Внешний вид экспериментальной установки

На рисунке 10 приведены приборы, используемые в экспериментальной установке.



Рис.10. Используемые приборы:
1 – датчик акустической эмиссии GT350
2 – предусилитель AG09
3 – АЦП/ЦАП PV6501
4 – закрепленный датчик АЭ на исследуемом образце

Использование виртуальных приборов, в частности программы ImCounter, позволит существенно снизить трудоемкость диагностики состояния трубопроводов.

Список литературы

1. Сато Ю. Без паники! Цифровая обработка сигналов. Пер. с яп. яз. Селиной Т.Г. ISBN 978-5-94120-251-5. – М.: Додэка-XXI, 2010 г. – 176 с.

2. Международный сборник «Научный поиск в современном мире: теоретические основы и инновационный подход»/«Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach». «Использование виртуального прибора LabVIEW в акустико-эмиссионном контроле состояния тепловых сетей»/«The use of the virtual LabVIEW instrument in acoustic emission control of condition of heat networks» Е.Измайлова, Ю.Ваньков/ E.Izmailova & Y.Vankov. Vol.4 Technical Sciences, P.110-112. ISBN-13: 978-1481823036, ISBN-10: 1481823035. L&L Publishing, Titusville, FL, USA, 2012.

3. Измайлова Е.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012617704: FlawDefiner / Авторы: Измайлова Е.В., Ваньков Ю.В., Серов В.В., Горбунова Т.Г. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 27 августа 2012 г.

ЛАЗЕРНО-АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Исмагилов И.Р., Хасанов А.А.
Научный руководитель: Калимуллин Р.И., д. ф.-м. н., профессор
Казанский государственный энергетический университет, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51
E-mail: ildarism@yandex.ru

За последние годы лазерно-акустический метод неразрушающего контроля нашел широкое применение в различных отраслях жизни и деятельности человека. Возможность бесконтактной генерации ультразвуковых волн в исследуемых объектах становится обязательным условием для контроля качества современных материалов и изделий электронной техники, электротехники, энергетики и машиностроения ввиду многократного усложнения и уменьшения размеров их конструкций.

Принцип работы данного метода основан на лазерном термооптическом возбуждении ультразвуковых импульсов в исследуемом объекте и анализе рассеянных в объекте ультразвуковых волн. Такой метод позволяет обнаруживать в металлах и сплавах дефекты типа трещин, расслоений, непроваров, инородных включений, а также исследовать особенности структуры и осуществлять диагностику их усталостных изменений с высокой точностью.

Нами была разработана установка (рис. 1), позволяющая возбуждать в объекте контроля (ОК) ультразвуковые волны импульсным лазерным источником и регистрировать их пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП).

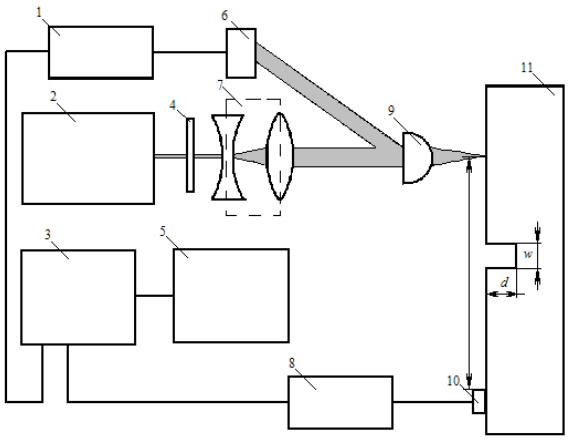


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки для лазерно-акустического контроля: 1, 8 – высокочастотный усилитель сигнала, 2 – АИГ-лазер, 3 – цифровой осциллограф, 4 – светофильтр, 5 – персональный компьютер, 6 – фотодиод, 7 – коллиматор, 9 – цилиндрическая линза, 10 – ПЭП, 11 – ОК

Для одновременного возбуждения объемных (ОАВ) и поверхностных акустических волн (ПАВ) в исследуемом образце, поверхность ОК подвергалась воздействию коротких одиночных импульсов длительностью 7,5 нс и мощностью 1,3 МВт лазерного источника на иттрийалюминиевом гранате с ионами неодима (Nd:YAG) с длиной волны на первой гармонике 1,064 мкм. Генерация акустических волн создавалась сфокусированным цилиндрической линзой лазерным пучком в виде полоски 4×0,2 мм^2. С помощью данного оборудования были проведены эксперименты для изучения взаимодействия ОАВ и ПАВ с поверхностными и скрытыми приповерхностными дефектами. В результате исследований и обработки полученных данных были разработаны следующие методики.

Первая методика применяется для обнаружения, определения местонахождения и оценки ширины и глубины поверхностных и приповерхностных дефектов в металлических изделиях на основе амплитудного и временного анализа акустических сигналов [1].

В качестве ОК были выбраны образцы из алюминиевого сплава Д16АТ без дефекта и с поверхностным дефектом в виде прорези. Сканирующий луч лазера передвигался по поверхности ОК в сторону неподвижного ПЭП (рис.2).

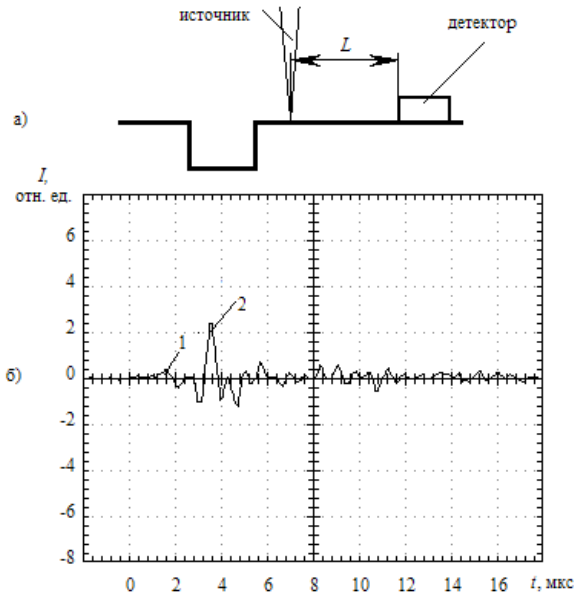


Рис. 2. Распространение акустических волн по бездефектной области ОК на расстоянии L = 10 мм: а) схема эксперимента; б) временная диаграмма:
1 – продольная компонента приповерхностной ОАВ; 2 – волна Рэлея

Анализ изменения амплитуды и времени прохождения сигналов ПАВ при приближении к ПЭП показал, что форма изменения их амплитудных и временных параметров в образцах без дефекта и с дефектом значительно различается (рис. 3).

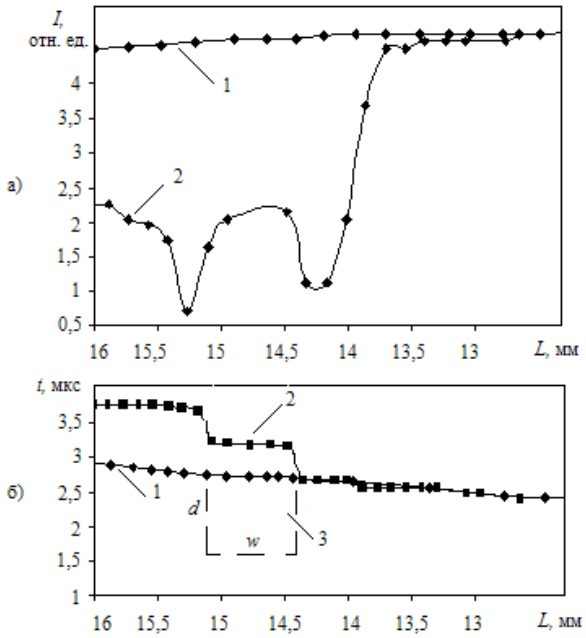


Рис. 3. Зависимость интенсивности (а) и времени (б) прохождения волны Рэлея от расстояния L между источником и детектором ультразвуковых волн: 1 – в ОК без дефекта, 2 – в ОК с дефектом глубиной d = 1,2 мм и шириной w = 0,7 мм, 3 – положение и форма дефекта

При переходе лазерного пучка от поверхности ОК вблизи дефекта к его дну наблюдается резкий временной сдвиг акустических сигналов в сторону опережения вследствие уменьшения расстояния от области облучения до ПЭП на величину глубины прорези. После преодоления каждой границы дефекта амплитуда сигнала волны Рэлея резко возрастает, что объясняется преодолением области геометрической тени.

Такая амплитудная и временная зависимость, отличающаяся от зависимостей для распространения волн Рэлея в образце без дефекта, позволяет определять наличие, местонахождение и размеры (глубина, ширина) поверхностных дефектов в виде трещин, сколов, усталостей.

Однако подобная методика не позволяет обнаружить дефекты, скрытые под поверхностью (макро- и микронесплошности, пористость, раковины, инородные включения). Вторая разработанная нами методика позволяет обнаруживать и определять местонахождение как поверхностных, так и скрытых приповерхностных дефектов.

В основу данной методики положен эффект трансформации энергии ОАВ при взаимодействии с дефектом в энергию сдвиговых волн [2], проявляющийся на временных диаграммах в виде аномального акустического отклика. Данное свойство мы применили для обнаружения скрытых приповерхностных дефектов. В качестве ОК были выбраны два образца из алюминиевого сплава Д16АТ, в которых искусственным образом создан скрытый приповерхностный дефект с глубиной залегания 1 мм. Дефект представляет собой круглое отверстие диаметром 2,2 мм. На первом образце отверстие просверлено насквозь, а на втором – на глубину 4,4 мм, что составляет примерно половину от толщины образца. Сканирование образца осуществлялось лазерным пучком в сторону неподвижно прикрепленного ПЭП. Схема эксперимента представлена на рис. 4.

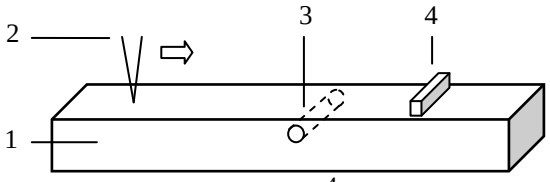


Рис. 4. Схема эксперимента для контроля скрытых приповерхностных дефектов:
1 – объект контроля, 2 – лазерный пучок,
3 – дефект, 4 – ПЭП

В результате анализа временных диаграмм акустических сигналов было выяснено, что характер акустических откликов зависит от того, по какую сторону от дефекта находится область генерации ультразвуковых волн (УВ). Если перемещать источник УВ от детектора в сторону дефекта, то, начиная с того момента, когда область генерации УВ оказывается над геометрическим центром дефекта, а также после него, на временных диаграммах наблюдается новый акустический отклик, соответствующий поперечной компоненте объемной волны. Таким образом, наблюдая данный акустический отклик на временных диаграммах, мы можем говорить о наличии в исследуемом образце скрытого дефекта в пределах области сканирования, т.е. между источником УВ и детектором.

Список литературы

1. Определение размеров приповерхностных дефектов теневым методом лазерно-акустической дефектоскопии / В.А. Голенищев-Кутузов, И.Р. Исмагилов, Р.И. Калимуллин и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2012. – № 5-6. – С. 103-108.

2. Акустическая диагностика металлических изделий с помощью трансформации ультразвуковых волн на дефектах / И.Р. Исмагилов, Р.И. Калимуллин, А.А. Хасанов // Сборник научн. трудов Международной научно-технической конференции «Состояния и перспективы развития электротехнологии» (XVI Бенардосовские чтения). – Иваново, 2011. – С. 5-7.

ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕТОДИОДНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ

Исупова О.В.
Научный руководитель: Гермогенов В.П., д.ф.-м.н., профессор
Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: amazzzing773@mail.ru

В настоящее время проводятся интенсивные исследования, направленные не улучшение характеристик светодиодов на основе нитрида галлия. В связи с этим в данной работе проводится сравнение излучательных свойств гетероструктур различных производителей (таблица 1).

Таблица 1. Исследуемые светодиодные гетероструктуры

№	Обозначение структуры	Компания – производитель	Размеры излучающей области
1	SL-V	SemiLEDs	975 × 975 мкм^2
2	SL-LP	SemiLEDs	1100 × 650 мкм^2
3	ES	EPISTAR	1200 × 1200 мкм^2
4	CxxxEZ	CREE	227 × 227 мкм^2
5	Ch1	Китай	650 × 650 мкм^2

Строение структур №2, 3 и 5 показано на рисунке 1. Активная область (MQW) структур представляет набор квантовых ям InGaN/GaN.

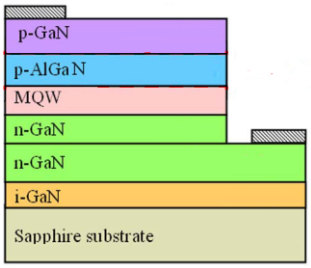
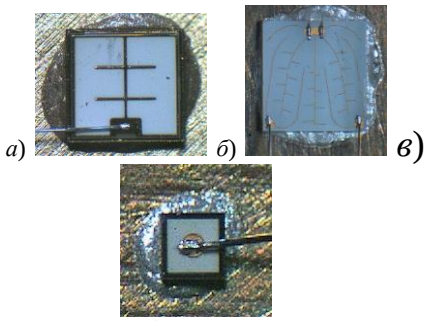


Рисунок 1 – Структура светодиода

У светодиодных гетероструктур №1 и 4 сапфировая подложка удалена, и они размещены на металлическом основании (рисунок 2, *а* и *в*).



а) *б*) *в*)

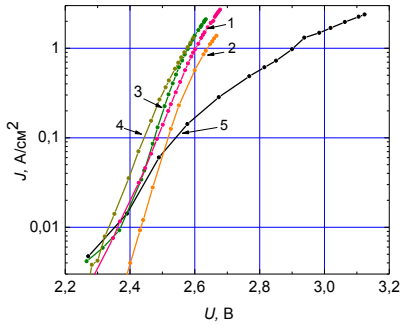
Рисунок 2 – Фотографии светодиодных структур SL-V (*а*), ES (*б*), CxxxEZ (*в*)

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) структур измерялись в диапазоне токов, в котором наблюдалась интенсивная электролюминесценция (рисунок 3,*а*).

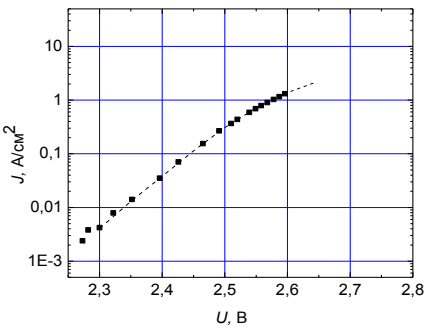
Анализ полученных характеристик проводился путем подгона расчетных ВАХ к экспериментальным (рисунок 3,*б*) с использованием выражения для плотности тока, учитывающего падения напряжения на области пространственного заряда и последовательном сопротивлении диода:

$$J(U) = J_0 \cdot \exp\left\{\frac{e[U - J(U)\cdot R\cdot S]}{nkT}\right\}, \quad (1)$$

где R – последовательное сопротивление диода, S – площадь перехода, n – коэффициент неидеальности. Результаты анализа представлены в таблице 2.



а)



б)

Рисунок 3 – Зависимости плотности тока от напряжения для диодов (*а*): 1 – SL-V, 2 – SL-LP, 3 – ES, 4 – CxxxEZ, 5 – Ch1 и сопоставление расчетной и экспериментальной ВАХ (*б*)

Таблица 2. Параметры ВАХ структур

№	S, мм^2	J_0, А/см^2	n	R, Ом
1	0,951	3×10^{-26}	1,7	1,8
2	0,715	4×10^{-25}	1,8	3,4
3	1,44	5×10^{-28}	1,7	1,4
4	0,0711	8×10^{-28}	1,7	45
5	0,4225	$3{,}2\times10^{-16}$	2,7	10

Последовательное сопротивление R диода в случае, когда оно определяется объемом p- или n-области, должно быть обратно пропорционально площади диода S (рисунок 4).

Учитывая слабое отклонение экспериментальных точек от расчетной кривой $R \sim 1/S$, можно предположить, что основной причиной отличия сопротивлений различных диодов является различие их площадей.

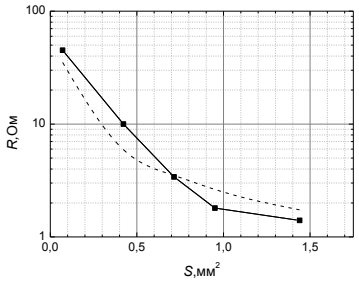


Рисунок 4 – Зависимость последовательного сопротивления светодиодных структур от площади гетероперехода.

На рисунке 5 представлены спектры электролюминесценции (ЭЛ) структуры №2 при различных прямых токах.

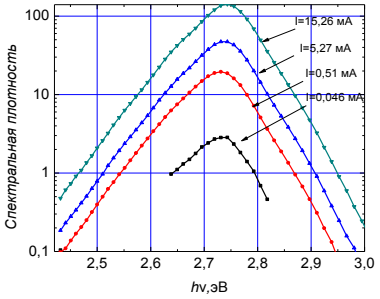


Рисунок 5 – Спектры электролюминесценции структуры: SL-LP

Видно, что положение максимума спектра λ_m почти не зависит от величины тока I. В соответствии с данными работы [1] это означает, что излучательная рекомбинация происходит внутри квантовых ям активной области. В работе [1] для описания формы спектра предложено выражение

$$\Phi_v = \frac{A_0}{1+\exp\left(\frac{h\nu - E_g^{eff}}{E_0}\right)} \times \frac{1}{1+\exp\left(-\frac{h\nu - E_g^{eff} - \Delta F}{mkT}\right)}. \quad (2)$$

В этом выражении E_0 – параметр, характеризующий “хвост” плотности состояний, обусловленный флуктуациями состава твердого раствора $In_xGa_{1-x}N$ внутри квантовых ям. Коэффициент mkT в показателе экспоненты в соответствии с работой [1] характеризует перегрев активной области светодиода при пропускании тока. Параметры, полученные из спектров, а также положения максимумов λ_m и полуширина $\Delta\lambda_{1/2}$ спектров ЭЛ, представлены в таблице 3.

Значения m из таблицы 3 хорошо согласуются с данными работы [1] (m = 1,3 – 1,6). При этом заметного изменения крутизны коротковолнового края спектров (т.е. значения mkT) при изменении тока через диод нами не наблюдалось.

Таблица 3. Параметры, полученные из спектров электролюминесценции

№	λ_m,нм	E_0, эВ	m	$\Delta\lambda_{1/2}$,нм
1	456	0,057	1,5	18,8
2	452	0,045	1,4	17,9
3	464	0,047	1,4	18,8
4	464	0,036	1,4	18,9
5	462	0,054	1,5	19,4

Излучательные характеристики всех гетероструктур были линейными (рисунок 6).

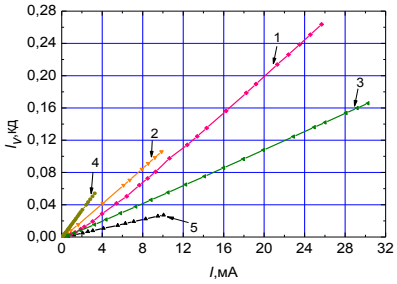


Рисунок 6 – Зависимости силы излучения от тока для структур: 1 – SL-V, 2 – SL-LP, 3 – ES, 4 – CxxxEZ, 5 – Ch1

В таблице 4 приведены значения напряжения U, мощности излучения $P_{изл}$, светового потока P_v, внешнего квантового выхода η_e и световой отдачи L_v, измеренных при одной и той же плотности тока через каждую гетероструктуру. При измерениях фотоприемник размещался на расстоянии 5 мм от поверхности гетероструктуры.

Таблица 4. Излучательные свойства структур

№	I, мА	U, В	$P_{изл}$, мкВт	P_v, лм	η_e, отн. ед.	L_v, отн.ед.
1	26	2,7	937	0,034	0,013	0,50
2	9,9	2,7	419	0,014	0,015	0,53
3	30	2,6	42,7	0,02	0,005	0,25
4	3,3	2,7	32,5	0,0065	0,016	0,73
5	5,9	3,0	84,0	0,0035	0,005	0,20

Видно, что наибольшей световой отдачей и внешним квантовым выходом обладает гетероструктура №4.

Список литературы

1. Кудряшов В.Е., Туркин А.Н., Юнович А.Э. и др. Люминесцентные и электрические свойства светодиодов InGaN/AlGaN/GaN с множественными квантовыми ямами // Физика и техника полупроводников. – 1999, т. 33. – № 4, с. 445-450.

ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕНОСА ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ПРОЕКЦИОННОГО МИКРОСКОПА

Карюгин К.Л.[1], Тригуб М.В.[1,2], Торгаев С.Н.[1,2]
Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор
1 – Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
2 – Институт оптики атмосферы СО РАН, Россия, 634055, Томск, пл. Академика Зуева В.Е., 1
E-mail: konstantin.lod@gmail.com

Целью работы является разработка системы переноса изображения, формируемого на ЖК-дисплее, на основе лазерного проекционного микроскопа.

Принцип действия лазерного монитора (термин введен авторами работы [1]) аналогичен работе лазерного проекционного микроскопа [2]: наблюдаемый объект *1* подсвечивается сфокусированным с помощью линзы *2* собственным сверхизлучением усилителя яркости *3*, возбуждаемого источником *6*, отраженный сигнал, проходя через активную среду оптического усилителя *3*, усиливается и проецируется, с помощью проецирующей системы *4*, на CCD матрицу камеры *5*, соединенной с ПК *7*. Схема представлена на рисунке 1.

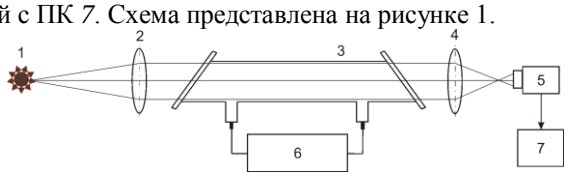


Рис. 1. Схема лазерного монитора

Отличительной особенностью данного устройства по сравнению с классическим проекционным усилителем яркости является возможность наблюдения процессов в режиме реального времени.

Использование активных оптических систем на основе высокочастотных лазеров на парах бромида меди позволяет визуализировать процессы, микрообъекты, в том числе, экранированные мощной фоновой засветкой. Яркость получаемого изображения не зависит от линейного увеличения, получаемого в системе.

Для реализации цели данной работы был построен макет на основе микроконтроллера STM32F100C4T6 [3] и монохромного ЖК-дисплея Nokia 1202. Схема установки представлена на рисунке 2.

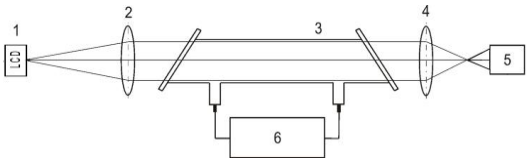


Рис. 2. Схема установки: 1 – ЖК экран, 2 и 4 – фокусирующие линзы, 3 – оптический усилитель, 5 – мишень, 6 – источник накачки.

Данный макет позволяет выводить на дисплей как статические изображения, так и динамические (в виде анимации). Изображения были подготовлены с помощью программы Image Generate. На рисунке 3 представлен внешний вид главного окна программы.

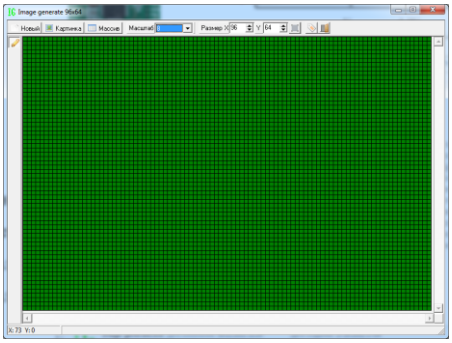


Рис. 3. Вид главного окна программы Image Generate.

Была проведена серия опытов по получению изображения. Изображение формировалось на матрице высокоскоростной камеры (Fastec Imaging HiSpec 1) и на экране. Второй вариант может быть интересен для демонстрационных проекционных систем. Было исследовано два вида дисплеев – с подложкой (рис. 4 а-г) и без подложки (рис. 5 а-б), что позволяло строить схемы лазерного проекционного микроскопа в проходящем и отраженном свете.

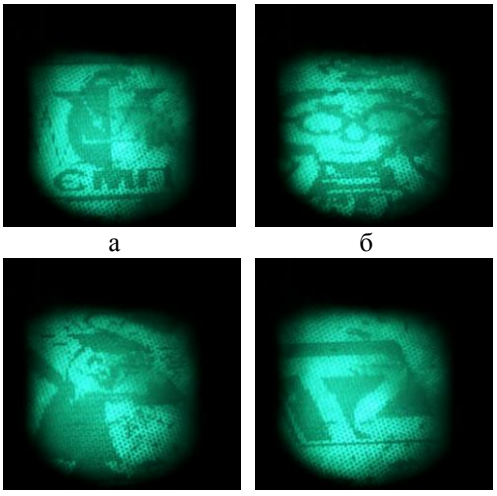
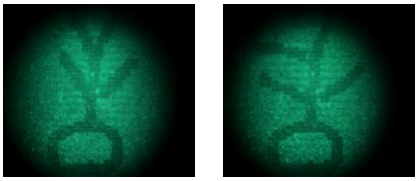


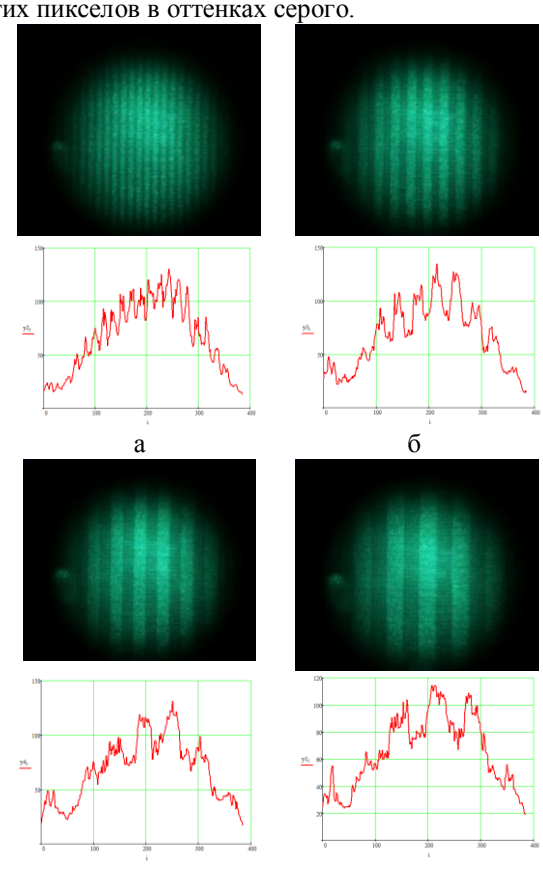
Рис. 4. Изображения с дисплея без подложки.



а б

Рис. 5. Изображения с дисплея с подложкой

Проверка передачи контраста при различных изображениях проводилась при выводе линий на дисплей. При этом толщина линий изменялась. Ниже, на рисунке 6, представлены результаты опыта. На рисунке 6-а снимок полученного изображения, при этом на экран выводились линии шириной в 1 пиксел и расстоянием между линиями также в 1 пиксел. Для рисунков 6-б,в,г ширина линии и расстояние между линиями 2, 3 и 4 пиксела соответственно. На графиках оси X соответствуют номера пикселов, оси У – яркость этих пикселов в оттенках серого.



а б

в г

Рис. 6. Изображения линий и их контраст соответственно.

Дополнительно был проведен эксперимент по получению изображения с фоновой засветкой. В качестве засветки выступала свеча. Схема установки представлена на рисунке 7. На рисунке 8-а фотография схемы эксперимента. Как видно, мощная фоновая засветка не влияет на качество получаемого изображения (рис. 8-б).

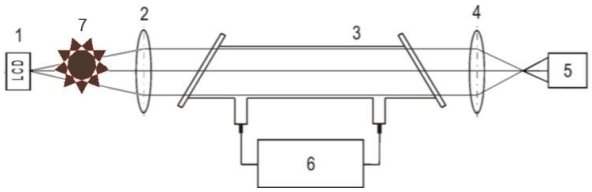
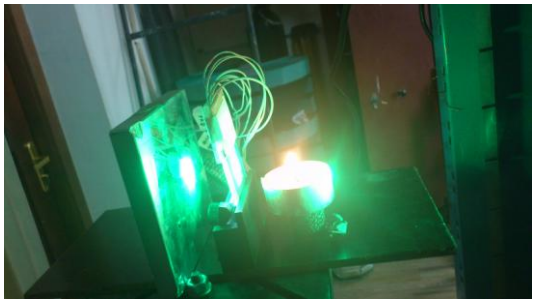
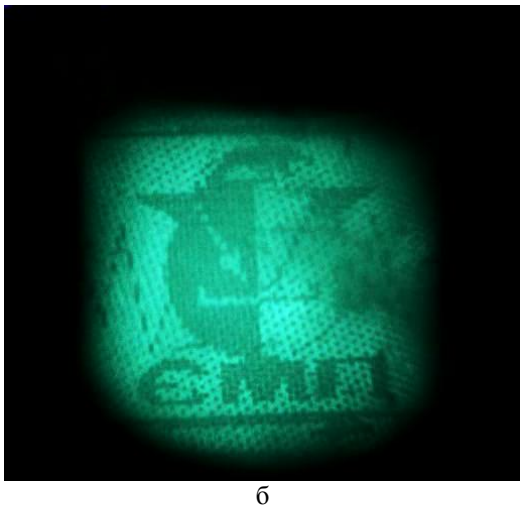


Рис. 7. Схема установки: 1 – ЖК экран, 2 и 4 – фокусирующие линзы, 3 – оптический усилитель, 5 – мишень, 6 – источник накачки, 7 – источник фоновой засветки (свеча).



а



б

Рис. 8. Изображение с дисплея с фоновой засветкой: а – схема эксперимента с фоновой засветкой в виде свечи, б – результат эксперимента

Работа выполнена при поддержке: Госзадание «НАУКА» № 7.586.2011.

Список литературы

1) Тригуб М.В., Евтушенко Г.С., Губарев Ф.А., Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Торгаев С.Н. Скоростная визуализация микрообъектов посредством активных сред лазеров на парах // Изв. Томского политехн. ун-та. 2009. Т. 315. № 4. С. 141–146.

2) Пасманик Г.А., Земсков К.И., Казарян М.А. и др. Оптические системы с усилителями яркости / ИПН АФ СССР. Горький, 1988. 173 с.

3) http://www.st.com

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Коледа А.Н., Барбин Е.С.
Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., к.т.н., доцент.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Kopranchikos@tpu.ru

Перспективы современного приборостроения связаны с разработкой приборов, обладающих малыми массой, габаритами, низкими себестоимостью, энергопотреблением и достаточно высокой надёжностью.

Наиболее динамично развивающимися микроэлектромеханическими устройствами (МЭМС) в настоящее время являются акселерометры и гироскопы. Микромеханические гироскопы (ММГ) являются наиболее сложными микроэлектромеханическими устройствами. ММГ применяются как в автомобильной промышленности, так и в различной цифровой электронике (фотоаппараты, мобильные телефоны, планшеты).

Задачи, возникающие при проектировании ММГ, требуют решения проблем механики, электроники, метрологии, технологии, материаловедения и возникающие погрешности гироскопа обусловлены рядом причин этих областей [1]. В связи с этим, важное значение приобретает дальнейшее совершенствование процесса проектирования микромеханических устройств с использованием современных систем автоматизированного проектирования (САПР).

Для компьютерного проектирования микромеханических устройств существует ряд программных комплексов. Из них можно выделить CoventorWare, IntelliSuite, MEMSCAP Mems Pro [2, 3]. Данные программные продукты позволяют разработать необходимое МЭМС устройство в единой среде, но их стоимость доходит до нескольких миллионов рублей и требует ежегодного продления лицензии.

Поэтому возникает необходимость разработки САПР на основе использования нескольких программных продуктов, связанных между собой, при использовании которых проводятся необходимые исследования, моделирование и проектирование будущей модели ММГ.

САПР МЭМС базируются на итерационном процессе проектирования. Приближение к окончательному результату осуществляется путем многократного выполнения одной и той же последовательности процедур. Итерации могут охватывать как несколько операций, так и несколько этапов проектирования.

Целью данной работы является разработка САПР сенсора ММГ, структурная схема которой представлена на рис. 1.

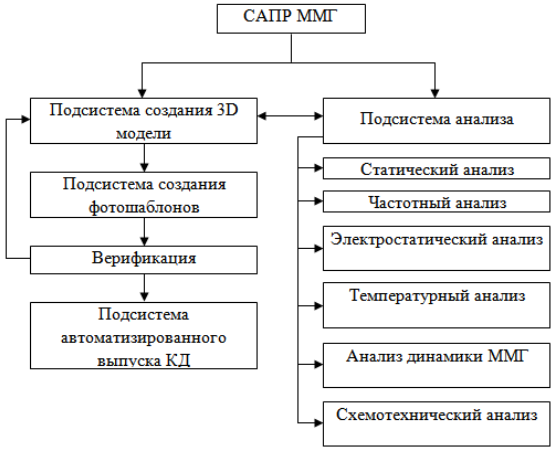


Рис. 1. Структурная схема САПР ММГ

САПР ММГ состоит из следующих подсистем: подсистема создания 3D-модели, подсистема анализа, подсистема автоматизированного выпуска конструкторской документации (КД), подсистема создания фотошаблонов.

В подсистеме создания 3D модели ММГ и подсистеме автоматизированного выпуска конструкторской документации (КД) используется российская система параметрического трехмерного твердотельного проектирования T-Flex CAD 3D.

Для подсистемы создания фотошаблонов используется программный модуль Layout Editor.

Подсистема анализа базируется на программном продукте ANSYS, который представляет собой многоцелевой комплекс для решения сложных проблем физики, механики, электростатики, электродинамики.

При моделирования МЭМС на компонентном и системном уровнях используются поведенческие и дифференциальные модели МЭМС, представленные в пакете программ MatLab/Simulink с использованием модуля SUGAR.

Для схемотехнического анализа используется программа PSPICE. С ее помощью можно рассчитывать режимы схем по постоянному току, частотные, переходные и шумовые характеристики, анализировать влияние температуры.

Особенность проектирования сенсора заключается в том, что исходя из принципа работы ММГ, необходимо обеспечить равенство резонансных частот первичных и вторичных колебаний, что необходимо для повышения чувствительности гироскопа. Сложность заключается в

том, что для достижения равенства резонансных частот необходимо провести множество итераций по изменению геометрической 3D-модели.

На первом шаге проектирования строится трёхмерная модель кремниевого сенсора ММГ, представленная на рис. 2.

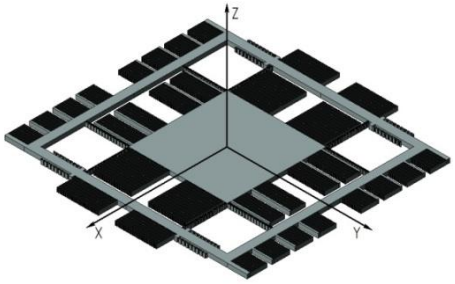


Рис. 2. Исследуемая модель сенсора ММГ

На следующем шаге в программе ANSYS с помощью метода конечных элементов выполняется подбор и расчёт собственных частот и форм колебаний сенсора ММГ (рис. 3, 4).

Инерционное тело совершает прямолинейное движение по оси Z, что соответствует первичным колебаниям гироскопа (рис. 3).

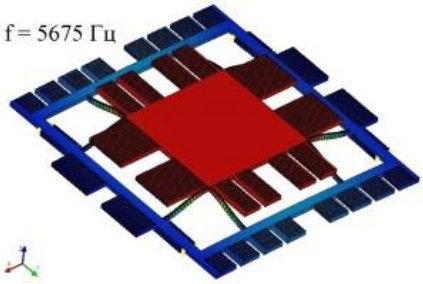


Рис. 3. Первичные колебания по оси Z

Вдоль оси X внутренняя рамка вместе с инерционным телом перемещается прямолинейно как единая конструкция без изгиба, что соответствует вторичным информативным колебаниям гироскопа (рис. 4).

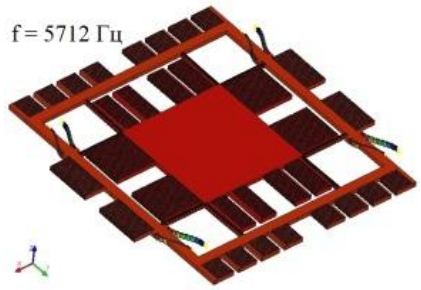


Рис. 4. Вторичные (информативные) колебания по оси X

Из рис. 3, 4 видно, что собственные частоты получились близкими по значению, f_1 = 5675 Гц по оси первичных колебаний Z и f_2 = 5712 Гц по оси вторичных колебаний X.

Тем самым было выполнено условие равенства резонансных частот первичных и вторичных колебаний ММГ.

По результатам моделирования, с помощью разработанной САПР был спроектирован микромеханический сенсор двухкомпонентного ММГ, представленный на рис. 5.

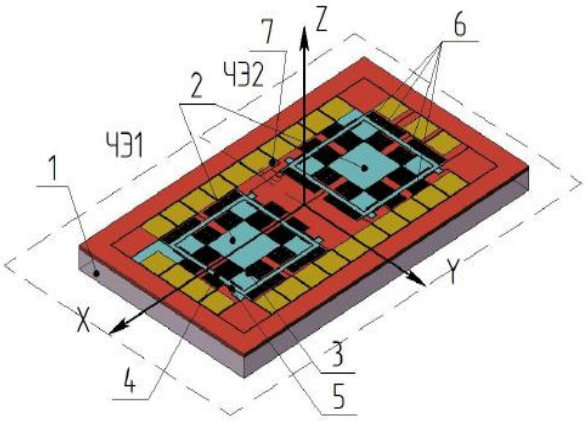


Рис. 5. Сенсор двухкомпонентного ММГ

Сенсор содержит два чувствительных элемента (ЧЭ1, ЧЭ2). Каждый чувствительный элемент выполнен из кремния и содержит инерционное тело 2, установленное на упругом подвесе 3 в рамке 4, которая на упругом подвесе 5 установлена в основании 1. Первое инерционное тело совершает первичные колебания вдоль оси Z, которые возбуждаются планарным виброприводом, расположенным под инерционной массой и представляющим собой два плоских электрода. Неподвижный электрод выполнен в виде напыления металла на стеклянном основании, другим подвижным электродом является инерционное тело. В каждом чувствительном элементе рамка вместе с инерционным телом совершает вторичные информативные колебания вдоль осей X или Y как единое тело. Эти колебания измеряют емкостные датчики перемещения 6. Встроенный датчик температуры 7 выполнен на том же кристалле.

Разработанная САПР показала возможность проектирования микромеханического сенсора ММГ, удовлетворяющего условиям достижения максимальной чувствительности гироскопа, что соответствует резонансной настройке сенсора.

На следующем этапе исследования необходимо провести связанный расчёт механической и электрической частей модели ММГ с применением метода макромоделирования.

Список литературы

1 Влияние типовых дефектов на динамические характеристики микромеханического гироскопа LL-типа./ Нестеренко Т.Г., Пересветов М.В. // Авиакосмическое приборостроение. – 2012. – №4. – С.3-10.

2 All about MEMS [Электронный ресурс]. - URL: http://www.allaboutmems.com.

3 Яшин К.Д., Лацапнёв Е.В., Осипович В.С. Системы автоматизированного проектирования МЭМС // Информационные технологии. - 2007. - №11. - с . 22-28

.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА НА ДИОДЕ ГАННА В КАЧЕСТВЕ ПЕРЕДАТЧИКА СИСТЕМЫ СВЯЗИ

В.А. Кочумеев, А.С. Гопоненко, А.А. Трубачев*
Научный руководитель: О.В. Стукач, д.т.н., профессор.
Томский политехнический университет, 634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: vladkohum@mail.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований СВЧ генератора на диодах Ганна типа 3А762Г, состоящего из возбудителя и резонаторной камеры, с установленным в неё диодом. Данный генератор может быть использован в системе передачи данных.

В настоящее время интенсивно ведутся разработки в области создания устройств и систем связи, радиовидения и систем ближней локации и навигации различного назначения. Одновременно с разработкой этих систем и устройств большое внимание уделяется повышению качественных показателей и характеристик. Наиболее значимыми показателями являются дальность действия, малый уровень искажений. Для увеличения дальности работы устройств и систем необходимо повышение мощности излучения при сохранении затрат на энергопотребление. Для обеспечения малого энергопотребления используют импульсный режим работы активных приборов, устройств и систем, что связано с необходимостью создания новой и исследования имеющейся электронной компонентной базы. Наиболее востребованными, на настоящее время, являются приборы, работающие в импульсном режиме с использованием эффекта Ганна на основе соединения GaAs.

Объектом исследования нашей работы является импульсный генераторный модуль на диоде Ганна представленный в статье [1]. На рисунке 1 представлена экспериментальная установка для измерения характеристик СВЧ генератора.



Рис 1. Экспериментальная установка

Данная измерительная установка позволяет проводить измерения мощности, резонансной частоты, получить осциллограммы модулированного и выходного СВЧ сигналов, исследовать параметры спектра.

В состав экспериментальной установки входят:

1. генератор импульсов Agilent 33250A;
2. источник питания постоянного напряжения АИП Б5.120/0.75;
3. частотомер CNT-90XL Pendulum;
4. анализатор спектра Agilent E4408B;
5. осциллограф Agilent DSO 1022A;
6. измеритель мощности термисторный М3-22А;
7. вольтамперметры М2018;
8. генераторный модуль на диоде Ганна;
9. аттенюатор поляризационный волноводный Д3-33А;
10. термисторная головка М5-42

Оценим степень повторяемости характеристик модуля в зависимости от изменяющихся параметров, от которых зависит модуль. К характеристикам модуля отнесем: выходную мощность, потребляемый ток, частоту, относящуюся к основному лепестку спектра. К изменяющемся параметрам отнесем: амплитуду импульса для генерации, температуру среды, в которой находится модуль. Проводя эксперименты, рассмотрим измерения тех величин и их зависимостей, которые существенно важны для улучшения характеристик приемо-передающего модуля. Основными задачами являются повышение выходной мощности и увеличение частотного диапазона работы модуля [2], [3] это позволит избежать потери работоспособности модуля при некотором отклонении параметров диода Ганна.[4]

Измерения выходных параметров модуля проводим при постоянной скважности S=1000 входного импульса генерации, температуре окружающей среды t=23 ^{0}C, напряжении питания модуля U=90 В. В зависимости от параметров импульса генерации - амплитуды U=20, 25, …, 65 В и длительности импульса T=200, 400, 500, 700, 1000 нс, измеряем потребляемый ток генераторного модуля, выходную мощность и частоту центрального лепестка спектра. Заметим, что спектр определяется при определенной амплитуде импульса генерации в диапазоне U=30÷55 В, в остальных случаях – спектр представлен в виде шумов. При повышении длительности импульса наблюдается сужение диапазона и происходит переход спектра в область шумов.

Рассмотрим зависимости между измеренными величинами на графиках (рис.2). На рис. 2 показан график зависимости выходной мощности от длительности и амплитуды импульса $P_{вых}=f(U_{амп},T)$.

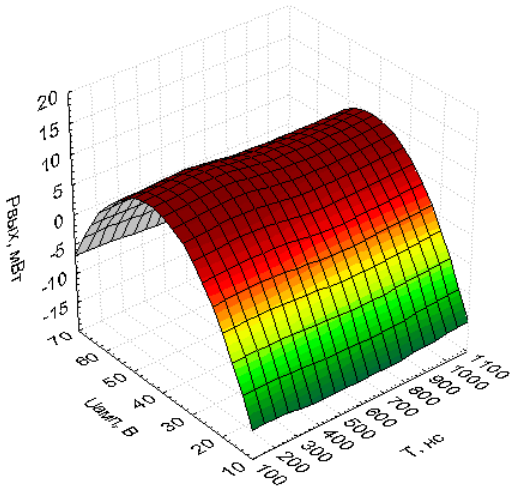


Рис. 2. График зависимости выходной мощности от амплитуды и длительности импульса $P_{вых}=f(U_{амп},T)$

Как видим, наблюдается параболическая зависимость между мощностью и амплитудой генерации модуля. Очевидно, что график имеет некоторую точку, соответствующую максимуму мощности ($P_{вых}$=13,5÷15,6 Вт), которая незначительно меняется в диапазоне $U_{амп}$=40÷45 В при изменении длительности импульса генерации модуля.

Далее рассмотрим зависимость частоты центрального лепестка спектра от длительности и амплитуды импульса $f=f(U_{амп},T)$, которая рассмотрена на рис. 3.

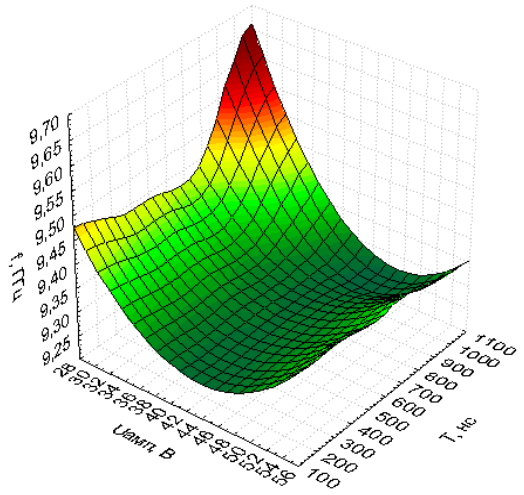


Рис. 3. График зависимости частоты центрального лепестка спектра от длительности и амплитуды импульса $f=f(U_{амп},T)$.

Согласно графику заключим, что функция частоты имеет минимум при определенном напряжении приблизительно равном $U_{амп}$=45 В, это наблюдается с небольшими отклонениями для всего диапазона длительностей импульса.

На рис. 4 показан график зависимости частоты центрального лепестка спектра от длительности импульса и тока потребления $f=f(T, I)$.

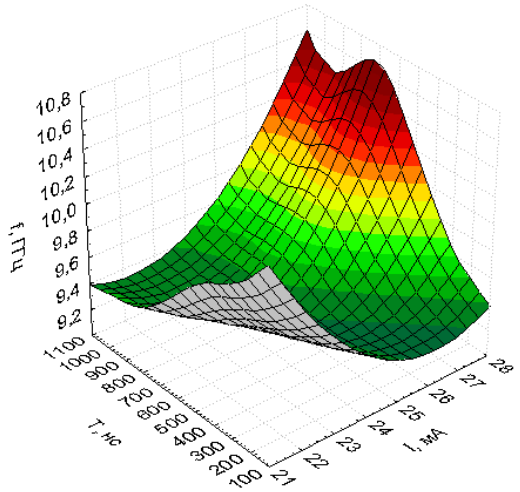


Рис. 4. График зависимости частоты центрального лепестка спектра от длительности импульса и тока потребления $f=f(T, I)$.

Для рис. 4 можно сказать, что частота центрального лепестка спектра существенно зависит как от тока потребления, так и от длительности импульса. Минимальная частота будет соответствовать току потребления I=22÷25 мА для всех рассматриваемых значений длительности импульса.

Сравнивая графики на рисунках 2-4 нельзя не заметить, сходство координат значений изменяемых параметров при которых возникает либо максимум для мощности, либо минимум для частоты.

Полученные экспериментальные данные позволяют использовать данный генераторный модуль в системе связи, благодаря его повышенной стабильностью технических характеристик.

Список литературы:

1. V.P. Pushkarev, V.A. Kochumeev, O.V. Stukach. X-Band Pulse Generator Based on Gunn Diode. In Proceedings of IFOST2012 - The 7th International Forum on Strategic Technology. September 17-21, 2012. Tomsk Polytechnic University. Vol. 1. Pp. 555-556. IEEE Catalog Number: CFP12786-PRT. ISBN: 978-1-4673-1770-2.

2. S. D. Votoropin, “Autodyne Sensors of the EHF Range on Gunn Diodes”, in Proceedings of the 38th European Microwave Conference (EuMC '08), Amsterdam, The Netherlands, 2008, pp. 1330-1333.

3. V.P. Pushkarev, A.A. Titov, V.I. Yurchenko. "Operating Characteristic of the Pulse Generator on Gunn Diodes 3A762". TUSUR Reports, no. 2, vol. 2, December, 2010, pp. 138–141

4. Chong Li, Lai Bun Lok, Ata Khalid, Iain G. Thayne, and David R. S. Cumming, “Investigation of Loading Effect on Power Performance for Planar Gunn Diodes Using Load-Pull Measurement Technique”, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 21, No. 10, 2011, pp. 556-558.

ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ИНФРАКРАСНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Кутин Н.А., Павлов И.В.
Научный руководитель: Павлов И.В. к.т.н., доцент.
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г.Санкт-Петербург
E-mail: qutin@yandex.ru

В современном мире, техника развивается взрывными темпами, с каждым годом усложняясь и усложняясь. Новейшие конструкционные решения, основывающиеся на сложных расчетах и современных конструкционных материалах, позволяют создавать то, что несколько десятилетий назад могло быть только в самых смелых мечтах. Однако усложнение конструкций, приводит к тому, что за ними необходим, более основательный уход, и как следствие на первое место выходит контроль.

На сегодняшний день создано множество способов контроля различных параметров, но одним из самых важных является неразрушающий контроль, который позволяет в реальном времени, не принося вреда конструкциям отслеживать изменения конструкционных параметров.

Несомненно, одним из самых перспективных и динамично развивающихся способов контроля является тепловой контроль. Ярким представителем приборов это когорты является тепловизор. Проводя тепловизионную съемку тепловизором, можно определить места дефектов, и даже места напряженности, в которых разрушение еще только предстоит. Тепловизор имеет различные сферы применений, достаточно мобилен, но имеет ряд недостатков. Один из самых серьезных недостатков – это цена. Редкоземельные элементы входящие в конструкцию и сложность изготовления объектива, приводят к тому, что многие компании занимающиеся дефектоскопией, и тем более простые физические лица, не могут позволить себе приобретение такого дорогостоящего оборудования, что приводит к уменьшению конкуренции, и как следствие завышению стоимости и снижению качества проведения работ теми, кто все таки смог приобрести тепловизор. Кроме того не стоит забывать о криминогенном факторе. Учитывая то, что дефектоскопические исследования, как правило, проводятся на объекте заказчика, повышается риск, связанный с тем, что постоянно приходится возить с собой дорогостоящее оборудование. Так же дополнительной проблемой приборов такого класса является повышенная информативность. При съемке, часто, получают изображение не только объекта контроля, но обширной части прилегающего пространства. В свою очередь, это требует от оператора повышенных трудозатрат на обработку полученных данных.

Учитывая данные обстоятельства на кафедре приборостроения Горного университета, была создана дефектоскопическая установка «Мультископ». На рисунке 1 представлена его блок схема.

Конструктивно, комплекс, представляет собой устройство из 2 основных частей: 1 - непосредственно сам регистрирующий блок на штативе, и 2 - программный комплекс обработки данных, установленный на портативную ЭВМ.

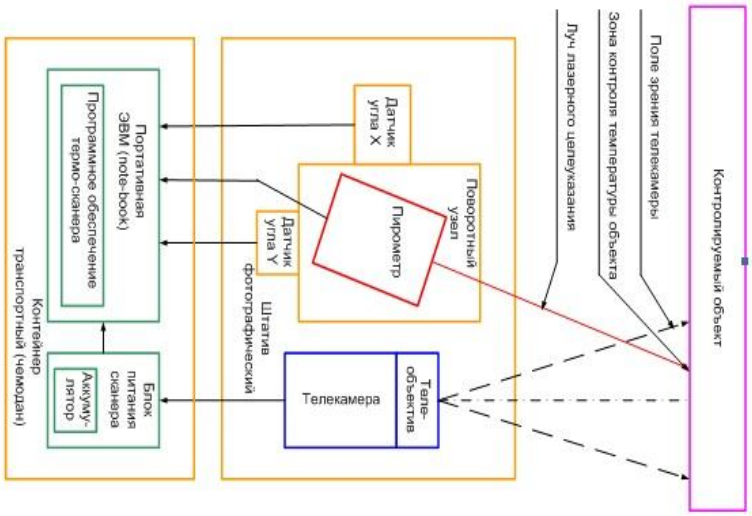


Рис.1 Блок-схема комплекса

Регистрирующий блок состоит из дистанционного пирометра, установленного на поворотный узел, имеющий 2 степени свободы; на каждую ось установлен абсолютный датчик угла. Кроме того на штативе установлена камера оптического диапазона.

Процесс измерения достаточно прост: Камера оптического диапазона снимает объект контроля и

передает изображение на ЭВМ, после этого делается угловая привязка по двум координатам, затем пирометром, вручную ведется сканирование, которое на экране ЭВМ отображается в виде температурного градиента.

Процесс контроля достаточно прост, но имеет ряд существенных недостатков. Методика контроля такова, что измерение можно приводить только при ряде выполненных условий приведенных выше, и кроме того необходимо соблюдать полную статичность измерительной части, что в свою очередь, вкупе с ручным способом сканирования приводит к гигантским временным и трудовым затратам, даже для сканирования минимальной площади ограниченной разрешением камеры прибора.

Повышение эффективности сканирования было решено за счет изменения представления информации, и разбиения дефектологического исследования на 2 части (поискового и локализующего), каждой из которых сопутствует специфичный способ отображения информации, причем поисковый этап не требует угловой привязки. Более подробно об этом изложено в другой статье.

Кроме того эффективность исследования должна существенно повыситься за счет минимизации ручных действий при работе с прибором. Учитывая так же изменение в методике измерений и отличное от прежнего представления информации, можно отчетливо выделить проблематику автоматизации комплекса.

Комплексная модернизация включает в себя не только улучшение характеристик оборудования, но и соответствующее улучшение программной части.

В области улучшения измерительной части преследуется несколько основных задач: 1. Замена ручного сканирование на автоматическое, где изменение точки сканирования будет производиться за счет механического смещения всего поворотного блока по двум осям, на каждой из которых будет установлен шаговый двигатель. 2. Учитывая изменившуюся методику измерений необходимо создание узла позволяющего быстрое извлечение пирометра и его возврат без необходимости повторной калибровки (создание так называемого – quick mount). 3. Изучить возможность замены коммуникационного кабеля стандарта rs232 на беспроводную передачу данных по одному из трех протоколов: Bluetooth, zig-bee, wi-fi.

В области улучшения программной части следует ввести такие возможности как: 1. Автоматическая установка подвижной платформы, в крайнее, левое, верхнее положение. 2. Внедрить поддержку беспроводных протоколов. 3. Установить поддержку многоэтапного исследования, с присущим каждому этапу способу отображения информации.

Модернизация измерительной части предполагается с использованием современных, программируемых микроконтроллерных плат. В частности плат Arduino. Платы микроконтроллеров Arduino выпускаются в различных конфигурациях, с различной мощность и различными интерфейсами ввода/вывода, но все платы данного типа имеют объединяющий их базовый принцип работы.

«Сердцем» любой платы является микроконтроллер, который, по сути, представляет собой крайне миниатюризированный компьютер, со всеми присущими ему структурными блоками, функциями и возможностями со скидкой на габаритные размеры и потребляемое питание. Как и обычный компьютер, контроллер имеет блоки оперативной и постоянной памяти, центральный процессор, интерфейсы подключения внешних устройств. В большинстве плат Arduino используется промышленно выпускаемый контроллер ATmega328p, хотя в наиболее мощных версиях применяется ATmega 2560. Контроллер ATmega328p обладает 32 кб энергонезависимой постоянной памяти (Flash), 2 кб энергозависимой оперативной памяти (SRAM), а так же процессором с тактовой частотой 16МГц. Данных параметров, как правило, хватает для выполнения большинства задач возложенных на контроллер.

Кроме этого плата обладает обширным инструментарием для подключения внешних, периферийных устройств, а так же цепями обеспечивающими питание и управление этими устройствами. Как правило, плата имеет 13 и более цифровых контактов, которые могут быть как входами, так и выходами, примерно половина этих контактов обладает возможность управления устройствами при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Так же плата имеет 6 и более аналоговых контактов позволяющих измерять подающееся на них напряжение в пределах от 0 до 5В. Завершает картину область контактов позволяющих осуществлять питание периферийных устройств без использования внешних источников, имеются контакты на 3.3В, 5В, а так же 2 земли. Прошивка микроконтроллера, а так же питание осуществляется посредством USB интерфейса, при этом, если питание USB не может обеспечить стабильной работы платы, Arduino предоставляет возможность воспользоваться внешним питанием.

Для выполнения поставленных задач данную плату необходимо запрограммировать. Это процесс выполняется при помощи программы компилятора написанной специально для плат этого семейства. Программирование осуществляется на упрощенном языке программирование C++, что означает сходность выполнения многих процедур.

Так же для плат этого семейства выпускаются платы-расширения, позволяющие подключить мощные двигатели, и использовать беспроводное соединение.

Обобщая все вышесказанное можно сказать, что комплекс инфракрасной дефектоскопии «Мультископ» представляет из себя экономически рациональную платформу, обладающую высоким потенциалом глубокой модернизации, после проведения которой данный прибор может составить основательную конкуренцию тепловизионному оборудованию.

ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА

Красников И.В.[1], Тригуб М.В.[1,2], Губарев Ф.А.[1,2]
Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор.
1 – Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
2 – Институт оптики атмосферы СО РАН, Россия, 634055, Томск, пл. Академика Зуева В.Е., 1
E-mail: vania.krasnikoff@yandex.ru

Лазер на парах бромида меди имеет достаточно большой спектр применения в науке и технике, однако, на сегодняшний день разработаны другие типы лазерных и оптических систем, которые превосходят CuBr-лазер по тем или иным параметрам. В задачах визуализации быстропротекающих процессов достойной конкуренции нет [1]. Этому способствуют такие факторы как большая энергия импульса генерации, хорошие частотные свойства (на сегодня практически реализован CuBr- лазер с частотой работы 700 кГц [2]), большой коэффициент усиления и узкая спектральная линия [3].

В лаборатории квантовой электроники Института оптики атмосферы СО РАН активно ведутся работы в данном направлении. В этой статье представлен лабораторный макет активной оптической системы для визуализации быстропротекающих процессов.

На рисунке 1 показан внешний вид лазерного монитора.

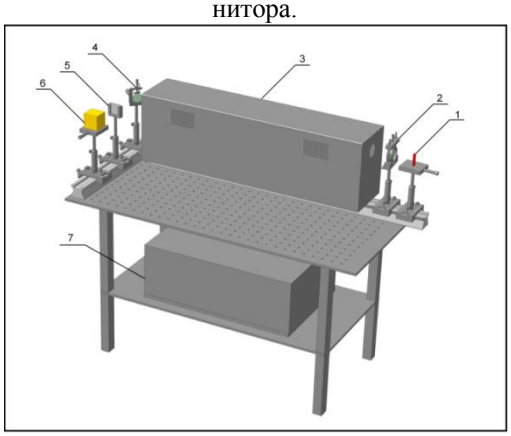


Рис.1. Внешний вид лабораторного макета лазерного монитора.

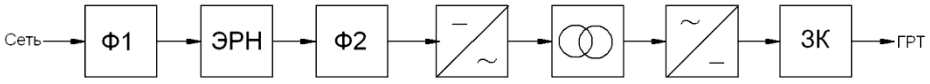


Рис.2. Структурная схема источника накачки

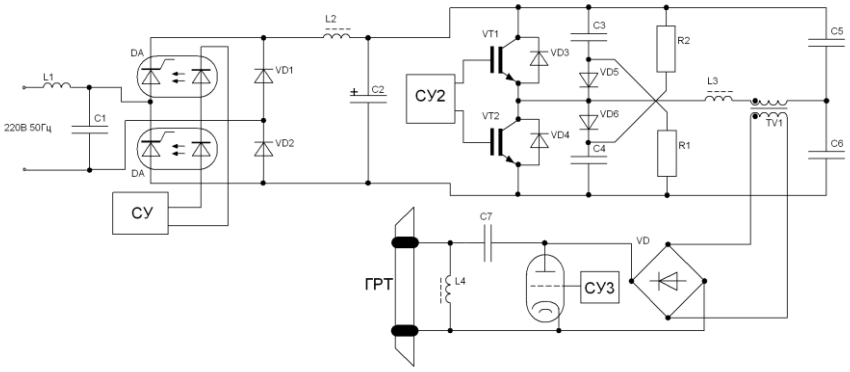


Рис.3. Принципиальная схема источника накачки

Лазерный монитор включает в себя: 1 – исследуемый образец, 2 – объектив 1 на столе с микроподачей (производство фирмы Standa), 3 – усилитель яркости, 4 – поворотное зеркало, 5 – фильтр, 6 – высокочастотная камера, 7 – источник накачки с импульсным зарядом рабочей емкости.

Для питания лазера был собран источник накачки с импульсным зарядом рабочей емкости [4]. В качестве коммутирующего элемента использован тиратрон ТГИ 500/16. Так как подобные газонаполненные коммутаторы достаточно дорогие и имеют малый срок службы, источник накачки должен обеспечивать щадящий режим работы. Таким образом, в данном источнике можно использовать тиратроны, которые в традиционных схемах работали нестабильно. Известно, что процессы деионизации (восстановление разрядного промежутка) происходят быстрее, если анод газонаполненного коммутатора находится под нулевым потенциалом в течение некоторого времени. В данном источнике накачки анод тиратрона находится под ненулевым потенциалом лишь то время, которое необходимо для заряда накопительного конденсатора. В качестве накопительной емкости использовались два конденсатора КВИ-3-10кВ-1500 пФ соединенных последовательно.

На рисунке 2, 3 представлены структурная и принципиальная схемы источника.

В предложенной схеме полумостовой инвертор собран на базе мощных IGBT транзисторов, рабо-

той которых управляет микроконтроллер, расположенный в блоке управления (СУ 2, рис.2). Отличие работы предлагаемой схемы от классического полумостового инвертора заключается в следующем. Во-первых, рабочие емкости в процессе рабочего цикла перезаряжаются от нуля до максимального значения, что позволяет получить большее напряжение на выходе (в 2 раза). Во-вторых, для уменьшения мощности, рассеиваемой на транзисторах, включение и выключение последних осуществляется в те моменты времени, когда прямой ток через транзистор прекращается. Это достигается подбором длительности импульсов открытого состояния каждого ключа в системе управления.

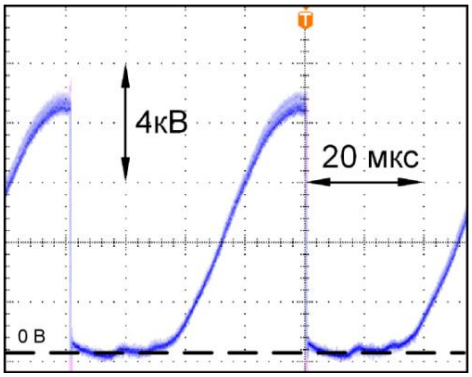


Рис. 4. Напряжение на аноде тиратрона

Рассмотрим рабочий цикл полумоста (рис.4). Сначала открывается один из транзисторов, и через первичную обмотку импульсного трансформатора протекает импульс тока длительностью порядка 20 мкс. При этом накопительная емкость заряжается до максимального значения. Затем транзистор запирается, а через 2 мкс на сетку тиратрона от блока запуска (СУ, рис.3) подается импульс запуска и происходит разряд накопительного конденсатора через газоразрядную трубку (ГРТ). После этого следует пауза длительностью 18 мкс, открывается другой транзистор и все процессы повторяются. Во время упомянутой выше паузы анод тиратрона находится под нулевым потенциалом, что обеспечивает эффективное протекание процессов деионизации в газовой среде тиратрона. Это обстоятельство и определяет основную практическую ценность выбранного нами режима импульсной зарядки рабочей емкости.

Частота работы тиратрона ТГИ 500/16 – 25кГц. Высоковольтный трансформатор выполнен на двух ферритовых кольцах диаметром 125 мм и помещен в резервуар с маслом для эффективного охлаждения и защиты от пробоя. Первичная обмотка трансформатора имеет 30 витков, а вторичная разделена на шесть последовательно соединенных секций по 200 витков каждая. Высоковольтный выпрямитель собран на 60 высокочастотных диодах (HER 308).

Для работы на ГРТ с внешними электродами предусмотрена регулировка частоты следования импульсов. Контроль входных параметров ведется по встроенным на передней панели амперметру и вольтметру. Для защиты от помех схемы управления и блок питания для них помещены в металлический корпус.

Активный элемент (усилитель яркости) выполнен в металлическом корпусе. Длина активной зоны газоразрядной трубки составляет 50 см, диаметр 2.5 см. Конструкция аналогична той, что представлена в работе [5]. Режим работы усилителя яркости определяется как мощностью накачки, так и тепловыми режимами работы. Для изменения температуры стенки ГРТ, контейнеров с бромидом и возможности добавлять HBr, на лицевой панели имеются регуляторы. Подключение активного элемента к источнику накачки осуществляется с помощью высоковольтного разъема.

На элементы конструкции имеется техническая документация, что позволяет при необходимости изготавливать устройства малыми партиями. Таким образом, в работе представлен макет лазерного монитора, предназначенный для визуализации процессов и объектов с высоким временным разрешением.

Авторы статьи выражают благодарность Димаки В.А., Троицкому В.О. за неоценимый вклад в создание источника, Шиянову Д.В. за изготовление активных элементов.

Работа выполнена при поддержке: Госзадание «НАУКА» № 7.586.2011, Грант Президента РФ № МК-4438.2012.8.

Литература

1. Тригуб М. В. , Евтушенко Г. С. , Губарев Ф. А. , Торгаев С. Н. , Земсков К. И. Наблюдение объектов в условиях мощных фоновых засветок // Современные средства диагностики плазмы и их применение: материалы конференции VIII Российской конференции. – Москва: НИЯУ МИФИ. – 2012. – С. 117-120.

2. Нехорошев В.О., Федоров В.Ф., Евтушенко Г.С., Торгаев С.Н. Лазер на парах бромида меди с частотой следования импульсов до 700 кГц // Квантовая электроника – 2012. – Т. 42. – № 10. – С. 877-879.

3. Батенин В.М., Бучанов В.В., Казарян М.А., Молодых Э.И., Климовский И.И. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. - Москва: Научная книга, 1998. - 544 с.

4. Димаки В.А, Андриенко О.С., Троицкий В.О. и др. Лазер на парах бромида меди малой мощности// Оптика атмосферы и океана.-2004-Т.17.-№11-С.890-894.

5. Активный элемент лазера на парах галогенида металла: Патент РФ на полезную модель № 62742 // Суханов В.Б., Троицкий В.О., Губарев Ф.А., Иванов А.И.

ДАТЧИК УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА

МАКЕТА ШАРОВОГО ГИРОСКОПА

Кузьма А.А.
Научный руководитель: Голиков А.Н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: nastena@tpu.ru

Точность гироприбора во многом определяется применяемыми датчиками съема информации об угловом положении ротора гироскопа.

Для решения конструкторско-технологических вопросов и осуществления выбора датчика углового положения ротора, был разработан макет гироприбора с газодинамическим подвесом шарового ротора [1].

Основной целью исследований является оценка параметров применяемого датчика угла для регистрации характера движения шарового ротора гироскопа, а также решения вопросов, связанных с управлением положения оси его вращения.

В шаровых гироскопах для определения угла поворота подвижных узлов системы широкое применение находят индукционные датчики с подвижной ответной частью – якорем, а также емкостные и оптические датчики угла. Те или иные типы датчиков угла применяются в зависимости от конструкции гироприбора.

Конструкция макета прибора приведена на рис.1. Гироскоп имеет прямую схему подвеса ротора. Основными элементами макета являются шаровой ротор 1, который помещен в полость двух полусферических чаш 2.

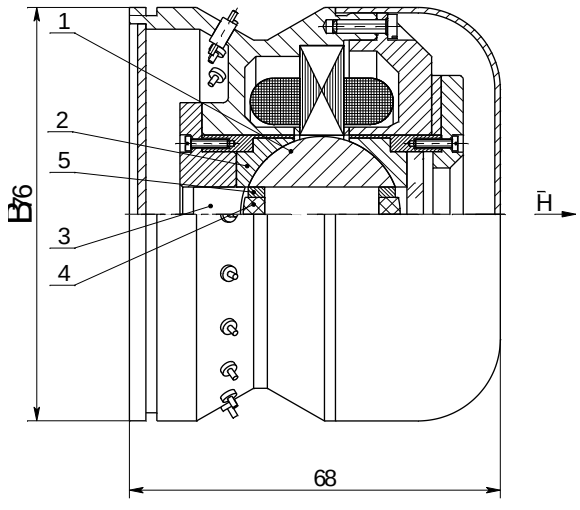


Рис.1 – Конструкция гироскопа с газодинамическим подвесом шарового ротора.

Между поверхностями ротора и полусферических чаш при сборке прибора конструктивно предусматривается зазор в пределах 5÷8 мкм. В экваториальной зоне ротора 1 монтируется статор электропривода.

В чаше 2 встроен корпус индукционного датчика угла 3 (на рис.1 показан условно), а его подвижная часть 4 (грибок) запрессована с кольцами 5 в осевое отверстие шарового ротора 1.

На рис. 2 приведена схема трехстержневого индукционного датчика угла положения ротора. На полюсах магнитопровода (сердечника) помещаются обмотки датчика. На среднем стержне магнитопровода располагается обмотка катушки возбуждения (ОВ), а на крайних стержнях – обмотки сигнальной катушки ($ОС_{1,2}$), которые соединяются между собой по дифференциальной схеме. Магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения датчика, распределяется между полюсами (стержнями) магнитопровода в соответствии с магнитными проводимостями воздушных зазоров между якорем (грибком) и полюсами.

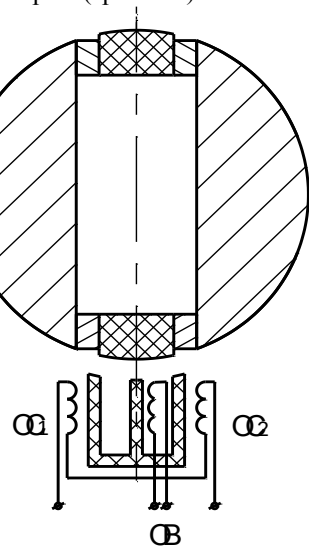


Рис. 2 – Принципиальная схема трехстержневого индукционного датчика угла:
ОВ и $ОС_{1,2}$ – обмотка возбуждения и сигнальные обмотки соответственно.

Датчик угла работает по принципу дифференциального трансформатора с воздушными зазорами в магнитопроводе. При смещении грибка датчика угла относительно сердечника с обмотками изменяется площадь воздушных зазоров под полюсами магнитопровода. В результате этого происходит перераспределение магнитных потоков и в выходных обмотках датчика угла, расположенных на полюсах магнитопровода, трансформируется (индуцируется) э.д.с., пропорциональная углу поворота ротора [2].

Для макета гироприбора был изготовлен и исследован пятистержневой индукционный датчик угла трансформаторного типа, где сигнальные обмотки находятся в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях.

На рис. 3 показан магнитопровод пятистержневого датчика угла, выполненного из феррита. Исполнение грибка из материала шарового ротора (сталь ШХ15) приводит к падению крутизны выходного сигнала, повышению уровня помех и искажению формы выходного сигнала датчика угла [3].

На центральном стержне магнитопровода располагается общая обмотка возбуждения. Торцы полюсов магнитопровода и рабочая поверхность грибка, прирабатываются по сфере, диаметр которой равен диаметру шарового ротора.

Магнитопровод с обмотками встроен в цилиндрическую обойму из алюминиевого сплава (рис. 4). Пустоты в объеме цилиндра заполнены компаундом на основе эпоксидной смолы Д-20.

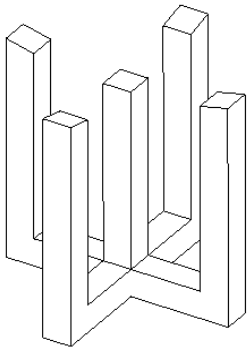


Рис. 3 – Магнитопровод двухкоординатного датчика угла трансформаторного типа без обмоток.



Рис. 4 – Внешний вид датчика угла.

Основными выходными характеристиками индукционного датчика угла являются: крутизна выходного напряжения по углу поворота, рабочий диапазон, линейность выходной характеристики, величина нулевого сигнала, потребляемая мощность, габариты, вес датчика, а также перекрестные связи между каналами датчика угла.

При напряжении питания $U_{пит}$ = 2,4 В частотой $f_{пит}$ = 24 КГц, экспериментально были определены следующие основные технические параметры пятистержневого индукционного датчика угла трансформаторного типа, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические параметры датчика угла.

Крутизна выходного сигнала первого и второго каналов соответственно, мВ/угл. мин	2,3;1,5
Нулевой сигнал первого и второго каналов соответственно, мВ	2;5
Диапазон измеряемых углов, град	±1,6
Рабочий зазор, мм, не более	0,1
Габариты: длина, мм диаметр, мм	 9 13

Разница между значениями крутизны выходной характеристики и нулевого сигнала первого и второго канала, обуславливается конструктивными особенностями, поскольку один из каналов представляет собой единый Ш-образный сердечник, а другой канал – при помощи склейки трехстержневого сердечника с Г-образными частями от Ш-образного сердечника.

Датчик угла имеет сравнительно простую конструкцию, компактен, не накладывает вредных моментов на гироскоп в процессе работы, имеет хорошую линейность выходной характеристики, что позволяет применить его в разработанном макете гироскопа для оценки характера движения ротора при отработке режимов управления положением оси его вращения.

Список литературы

1. Голиков А.Н., Кузьма А.А., Плеханов М.С. Разработка и некоторые исследования элементов для гироскопа с газодинамическим подвесом шарового ротора // Научно-технический журнал - Контроль. Диагностика №13, 2012 г.

2. Никитин Е.А. и др. Гироскопические системы, ч.III. Элементы гироскопических приборов. Под ред. Д.С. Пельпора. Учебное пособие для ВУЗов по специальности «Гироскопические приборы и устройства», М., «Высшая школа», 1972.

3. Одинцов А.А. Проектирование электроэлементов гироскопических устройств: учебное пособие / А. А. Одинцов. — М.: Высшая школа, 1962. — 192 с.

СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ.

Литвишко Е.С., Горешнев М.А.
Научный руководитель: Секисов Ф.Г., к.т.н., с.н.с.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: litvishko1@rambler.ru

На базе лаборатории ТПУ создана установка для сушки древесины комбинированным методом. Установка представляет собой сушильную камеру объемом 3м³ с нагревательными электродами, между которыми помещается древесина. Комбинированный метод включает в себя: нагрев древесины кондуктивным способом при пониженном давлении и нагрев ВЧ электромагнитным полем. Достоинства состоят в том, что скорость сушки комбинированным методом нагрева значительно выше, чем кондуктивным способом и выше, чем при ВЧ нагреве, при одинаковой вводимой энергии. Распределение по толщине остаточной влажности древесины при комбинированном методе более равномерно, чем при сушке другими способами[1].

ВЧ электромагнитное поле создается генератором синусоидального напряжения со следующими параметрами: напряжение генератора до 2 кВ, частота генератора от 50 до 100кГц в зависимости от электрофизических параметров штабеля [2] .

Для получения полной информации о процессах, происходящих при сушке древесины необходимо непрерывное измерение температуры, влажности, внутреннего избыточного давления. Обычно расстояние между электродами составляет 5см, поэтому напряженность электрического поля может составлять

$$E = \frac{2кВ}{5см} = 40кВ/м$$

При таких условиях применение стандартных электрических методов измерения невозможно из-за электрического пробоя.

Цель данной работы – разработка системы непрерывного измерения температуры древесины в сушильной камере, при работающем высоковольтном ВЧ генераторе.

Для решения этой задачи выбрана схема с гальванической развязкой [4] . Опасность пробоя ограничивает применение оптронов, поэтому развязка строится на паре ИК диод – фототранзистор. Схема передатчика и схема приемника размещаются на отдельных платах, что позволяет регулировать расстояние между ними, выбирая оптимальное. ИК диод соединён с фототранзистором посредством чёрной пластиковой трубки, которая предохраняет от посторонних источников ИК – волн.

На рис. 1 представлена зависимость тока ИК диода от напряжения.

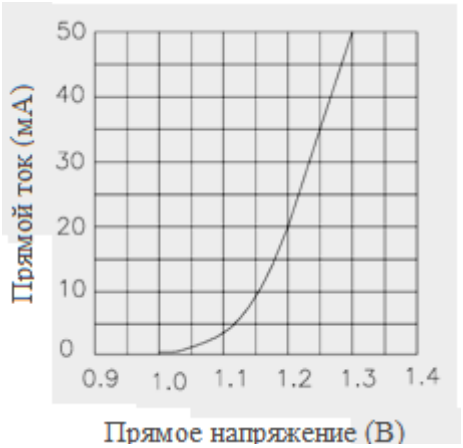


Рис. 1 График зависимости тока диода от напряжения [3]

Как видно из рис. 1, при изменении напряжения на диоде от 1,15 до 1,3В характеристика линейная. Таким образом, регулируя напряжение на светодиоде можно добиться линейного изменения светимости в зависимости от изменения температуры[3]. Для измерения температуры используется хромель копелевая термопара т.к. корпус терморезистора греется в электромагнитном поле и искажает точность измерения. Комбинированный метод подразумевает мягкие режимы сушки, то есть температура не превышает 70°С, что позволяет сохранить физикомеханические свойства древесины. Диапазон температур, которые необходимо измерять от 20°С до 70 °С. Термо ЭДС пары хромель – копель, при таких температурах составляет от 2 мВ до 5мВ. Следовательно, для регулирования светимости диода это напряжение нужно усилить.

Для увеличения напряжения, поступающего с термопары, используется следующая схема усилителя[4]. Чтобы войти в диапазон 1,15В - 1,3В нужно задать опорное напряжение и рассчитать коэффициент усиления. Опорное напряжение задается резистивным делителем (оно составляет 1В). Коэффициент усиления, удовлетворяющий обеим границам равен 70. В соответствии с этим коэффициентом усиления подбирается сопротивление R_2 и R_3. Резистор R_3 выберем подстроечным для регулирования коэффициента усиления.

В результате разработана схема непрерывного измерения температуры:

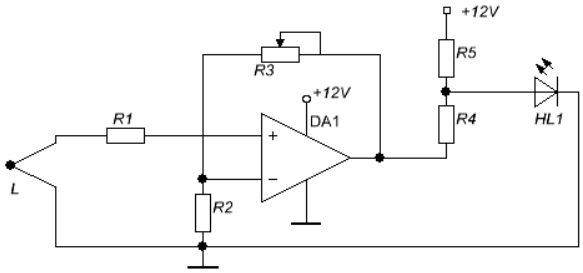


Рис.2 Схема передающей части
L – термопара хромель – копель, R1,R2,R4,R5 – резисторы, R3 – подстроечный резистор, HL1 – ИК диод L34SF4C, DA1 – операционный усилитель LM358

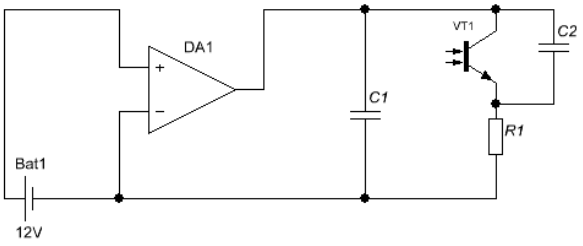


Рис.3 Схема принимающей части
Bat 1 - источник постоянного напряжения, C1,C2 – керамические конденсаторы R1 – резистор, DA1 – стабилизатор напряжения L7805CV, VT1 - фототранзистор L-32P3C

Сигнал с термопары поступает на усилитель. Усиленный сигнал регулирует светимость диода. При изменении светимости светодиода сопротивление фототранзистора изменяется, соответственно меняется и ток, проходящий через него. Для регистрации изменения тока последовательно поставлен резистор, на котором появляется разность потенциалов в зависимости от проходящего тока.

Передающая схема (рис.2) питается от аккумулятора.

Данная система не заземлена и никак не связана с каким-либо токоведущими проводами для предотвращения возможности пробоя. Питание фототранзистора обеспечивается с помощью микросхемы L7805CV, которая понижает поступающие напряжение с аккумулятора доV=5В. На выходе микросхемы находится сглаживающий конденсатор.

Схема приемника (рис.3) питаются отдельным источником постоянного напряжения.

Данные с выходного резистора через электронный самописец (на основе АЦП) поступают на компьютер. Регистрация данных идет непрерывно в течении всего процесса сушки.

Данная схема отлажена поблочно в среде Proteus, а также на макете.

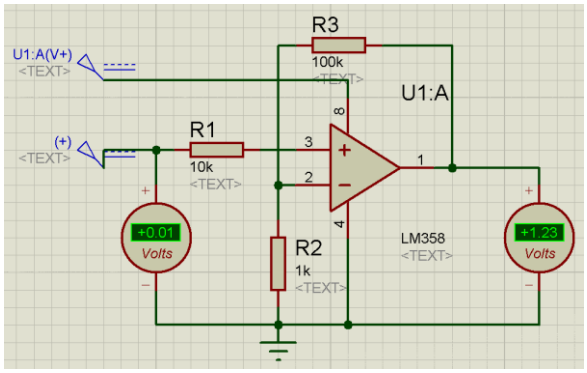


Рис.4 Пример моделирования устройства в программе Proteus. Блок усилителя.

После калибровки, схема позволит измерять температуру до 70°С с высокой точностью при работающем ВЧ генераторе (при высоком напряжении, под действием электромагнитного поля). Для определения градиента температуры в древесине необходимо несколько датчиков (в нашем случае используется два). При необходимости это количество можно увеличить т.к. блоки полностью идентичны (исключение составляет индивидуальная калибровка)

Выводы:

-система измерений позволяет непрерывно измерять температуру от 20°С до 70°С при сушке древесины комбинированным методом;

-система гальванически развязана, что предотвращает возможность электрического пробоя.

Список литературы

1. Горешнев М.А., Казарин А.Н., Лопатин В.В., Секисов Ф.Г., Смердов О.В. Комбинированный метод сушки древесины. ИФЖ 2013 №2 в печати

2. Влияние ВЧ нагрева на качество сушки древесины. Лопатин В.В., Секисов Ф.Г., Смердов О.В., Горешнев М.А.
Томский политехнический университет

3. [Электронный ресурс].- режим доступа:
http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/97984/ETC/L34SF4C.html

4. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. М.: Радио и связь, 1991– 2 изд. (1 изд.– 1982 г.).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МАГНИТНОГО ВАКУУМА

Огай В.Е., Баранов. П.Ф.
Научный руководитель: Муравьёв С.В., д.т.н, профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vita@tpu.ru

Введение

Основными элементами квантового компьютера являются сквиды переменного тока, т.е. сверхпроводящие кольца, прерванные двойным джозефсоновским контактом. Известно, что сверхпроводниковые элементы чувствительны к внешнему магнитному полю. Поэтому для работы квантового компьютера внешнее магнитное поле не должно превышать 10 нТ.

Поле Земли, магнитные шумы от электрических сетей и городского транспорта создают сильные помехи для работы высокочувствительной магнитометрической аппаратуры, которые могут доходить до 100 мкТл. Для сохранения вычислительной мощности процессора необходимо контролировать окружающее его магнитное поле.

Для защиты от магнитных воздействий и обеспечения работы сверхпроводящего квантового компьютера используются системы магнитного вакуума (СМВ) на основе ферромагнитных экранов.

Ферромагнитные экраны из-за вибраций, механических напряжений и перемещений в магнитном поле со временем ухудшают свои характеристики [1]. Это ухудшение проявляется в снижении коэффициента экранирования и увеличении остаточного поля экрана. Для восстановления свойств экранов существует процедура размагничивания.

В статье описан процесс разработки системы магнитного вакуума для обеспечения работы сверхпроводящего квантового компьютера.

Создание системы магнитного вакуума

Точные расчеты ферромагнитных экранов очень сложны и, как правило, проводятся только для экранов сферической формы. Некоторые различия в процессе производства могут сказаться на толщине материала, времени и температуре отжига. Поэтому обычно используются приближенные вычисления. При выборе конструкции опираются на два критерия:

1) толщина исходной заготовки, которая должна быть достаточной, чтобы не допустить насыщения ферромагнитного материала;

2) коэффициент экранирования, который должен соответствовать техническому заданию.

В качестве материала экранов выбран ферромагнитный сплав CO-NETIC AA производства фирмы Magnetic Shield Corporation. Этот материал предпочтителен для полей малой интенсивности, так как имеет высокую начальную магнитную проницаемость и высокие характеристики подавления. Расчет толщины материала производится по эмпирической формуле [2]:

$$B = \frac{1,25 \cdot D \cdot H_0}{t}, \qquad (1)$$

где B – плотность потока насыщения, Гс;
D – диаметр экрана, дюйм;
H_0 – внешнее экранируемое магнитное поле;
T – толщина материала, дюйм;
μ – магнитная проницаемость.

Для материала CO-NETIC B = 7500 Гс.

Исходя из формулы (1), получаем минимальную толщину материала:

$$t \geq \frac{1,25 \cdot D \cdot H_0}{B}$$

Для экрана диаметром 20 дюймов (при внешнем размере дьюара 16 дюймов) и высотой 50 дюймов, при магнитной индукции поля Земли примерно 0,7 Гс, минимальная толщина стенки экрана в дюймах равна:

$$t_{\min} \geq \frac{1,25 \cdot 20 \cdot 0,7}{7500} = 0,00233$$

Исходя из конструктивных соображений, толщина материала была выбрана 0,040 дюймов.

Приблизительно ожидаемое ослабление внешнего магнитного поля может быть определено по формуле:

$$S_{1\mu} = \frac{t \cdot \mu}{D} = \frac{0,062 \cdot 30000}{20} = 93$$

Для получения остаточного поля 10 нТ необходимое подавление поля Земли около 100 дБ, поэтому были добавлены два дополнительных экрана с диаметрами 18 дюймов и 4 дюйма.
Расчетное итоговое подавление магнитного поля:

$$S_{123\mu} \approx S_{1\mu} \cdot S_{2\mu} \cdot S_{3\mu} = 93 \cdot 103,3 \cdot 300 = 2882070 \qquad (2)$$

Из формулы (2) следует, что расчетное подавление магнитного поля намного превышает необходимый коэффициент подавления. Качество экрана может определять остаточное поле его материала. Значение остаточного поля определяется экспериментально.

Для оптимизации магнитных свойств, после изготовления каждый экран был отожжен в атмосфере водорода при температуре 900 ºС.

Изготовленные экраны вставляются друг в друга. Для виброзащиты используются поролоновые прокладки. СМВ устанавливается на резино-

вое основание. При необходимости измерений при температуре 4 К внутрь экрана устанавливается гелиевый дьюар.

Проектирование демагнетизатора

Размагничивание экрана может быть осуществлено переменным магнитным полем амплитудой, превышающей индукцию насыщения материала [3]. Размагничивающая цепь для каждого экрана выполнена по схеме, изображенной на рис. 1. На рис. 1 $R_{пр}$,– сопротивление проводов, $R_{размагн}$, – сопротивление размагничивающей катушки, L_1 – индуктивность размагничивающей катушки

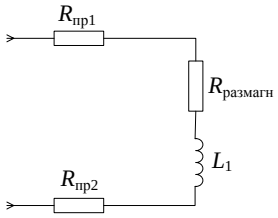


Рис. 1. Цепь размагничивания экрана

Параметры размагничивающих катушек приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры размагничивающих катушек экранов

Экран	$R_{пр1}$+ $R_{пр2}$, Ом	$R_{размагн}$, Ом	L_1, мГн	Размагнич. ток, А
Экран 1	0	от 30 до 40	менее 30	1,2
Экран 2	0	от 30 до 35	менее 30	1,2
Экран 3	от 10 до 16	от 0 до 5	менее 1	0,3

Основываясь на экспериментальных и расчетных данных можно сформулировать следующие требования к демагнетизатору:

- источник синусоидального сигнала с управляемой амплитудой должен иметь разрешение не менее 14 бит;
- усилитель мощности размагничивающего сигнала должен обеспечивать выходной ток 1,2 А на нагрузку 40 Ом при отношении сигнал-шум не менее 78 дБ, при нелинейных искажениях на рабочей частоте не более 0,0125 %;
- на выходе усилителя необходимо использовать высококачественный развязывающий трансформатор с малыми токами утечки.

Устройство размагничивания создано из коммерчески доступных приборов и изделий.

В качестве источника сигнала использовался программируемый функциональный генератор производства Agilent Technologies 33220A.

В качестве усилителя мощности использовался мостовой усилитель фирмы PYRAMID Car Audio PB1281X.

Как показали измерения с помощью синхронного усилителя на рабочей частоте 50 Гц и токе 3 А, искажения усилителя составляют менее 0,003 % .

В качестве трансформатора использовался сетевой трансформатор 115 В/40 В, включенный таким образом, чтобы понижающая обмотка присоединялась к выходу усилителя, а повышающая – к размагничивающим катушкам.

После размагничивания были проведены измерения поля внутри магнитных экранов. Исследовались система из двух внешних экранов. Результаты измерений приведены на графиках, изображенных на рис. 2.

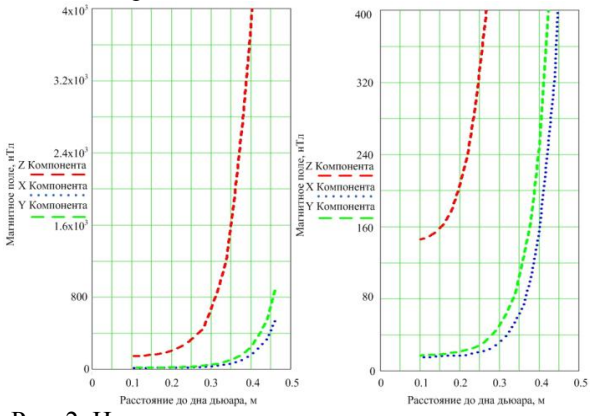


Рис. 2. Измерение магнитного поля внутри системы из двух экранов

Заключение

В ходе работы была разработана система магнитного вакуума, представляющая собой три вложенных друг в друга ферромагнитных экрана из сплава типа CO-NETIC AA производства фирмы Magnetic Shield Corp. (США) и демагнетизатор. Расчетное итоговое подавление магнитного поля СМВ составило около $3 \cdot 10^6$, что намного превышает необходимый для работы квантового процессора коэффициент подавления внешних магнитных полей.

Работа выполнялась при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. в рамках государственного контракта № 14.740.11.0950.

Список литературы

1. Доломанский Ю.К. Цилиндрический магнитный экран // Приборы и техника эксперимента. – 1983. – № 3. – С. 151–153.

2. Cryogenic and Vacuum Magnetic Shields [Электронный ресурс]. – Magnetic Shield Corp. – URL: www.magnetic-shield.com (дата обращения: 7.05.2012)

3 Uchaykin S.V., Petroff J.C., Lamont G., (D-Wave Systems Inc.) Magnetic vacuum systems and devices for use with superconducting-based computing systems. – Pub. No.: WO/2009/099972, International Application No.: PCT/US2009/032744, Publication Date:13.08.2009, International Filing Date:30.01.2009, IPC: H01L 39/24 (2006.01)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ПОДЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Полякова А.В., Поляков М.В.
Научный руководитель: Дмитриев В.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: plemjaschka@mail.ru

В современном мире невозможно представить жизнь без автомобиля. В развитых странах мира, таких как Япония, Германия, США, Корея производят автомобили различной ценовой категории (от бюджетного класса до класса люкс и спортивных автомобилей). С каждым годом технические характеристики автомобилей совершенствуется: улучшаются двигатели, коробки передач, конструкторы стараются уменьшить расход топлива. Наряду с этим изменяется и дизайн автомобилей: кузову придается более обтекаемая форма для улучшения аэродинамических характеристик.

Несмотря на развитие автомобилестроения, остается нерешенной главная проблема – использование углеводородного топлива, что приводит к существенным выбросам углекислого газа, окиси углерода и других токсичных веществ в атмосферу. Это приводит к значительному загрязнению окружающей среды, особенно в крупных городах. Кроме того необходимо учитывать, что запасы нефти на Земле являются не бесконечными, и поэтому в будущем возникнет необходимость в других источниках энергии для использования в автомобилях. Также немаловажна и стоимость топлива, которая является достаточно высокой и продолжает постоянно расти.

Поэтому наряду с автомобилями, в которых используется двигатель внутреннего сгорания (ДВС), разрабатываются автомобили, работающие от электродвигателя, который потребляет энергию от аккумуляторных батарей (АКБ). Также существуют модели, в которых двигатель внутреннего сгорания и электродвигатель работают совместно. Такие автомобили носят название - автомобиль гибридного типа, или, упрощенно, «гибрид».

Использование автомобиля работающего только от электрического привода становится все более актуальным.

Гибридные электромобили не могут обеспечить полную экологичность, так как в них используются двигатели внутреннего сгорания.

Поэтому в настоящее время существует тенденция в разработке автомобилей, приводимых в движение только электродвигателем, то есть тех, у которых отсутствует ДВС. Такие автомобили являются экологически чистыми и носят название «электромобиль».

Электромобили обладают рядом преимуществ, такими как:

1. отсутствие вредных выхлопов;
2. простота техобслуживания;
3. простота конструкции и управления;
4. высокая надёжность и долговечность экипажной части (до 20—25 лет) в сравнении с обычным автомобилем;
5. меньший шум за счёт меньшего количества движимых частей и механических передач;
6. высокая плавность хода с широким интервалом изменения частоты вращения вала двигателя.

Но электромобиль имеет и существенный минус, такой как непродолжительная езда без подзарядки аккумуляторной батареи. Литиевая батарея ёмкостью 24 кВт•ч при средних условиях движения (60-90 км/ч, ближний свет фар (фары на светодиодах), без отопления салона, без кондиционера) позволяет электромобилю проехать не более 160 км.

Аккумуляторы хорошо работают при движении электромобиля лишь на постоянных скоростях и при плавных разгонах, а при резких стартах тяговые АКБ теряют много энергии. Также часть энергии аккумуляторов тратится на охлаждение или обогрев салона автомобиля, и питание прочих бортовых энергопотребителей. Поэтому реальный пробег электромобиля не превышает ста километров.

В данный момент крупные автоконцерны пытаются решить эту задачу увеличением количества аккумуляторов или увеличением емкости аккумуляторных батарей.

В данной работе для решения задачи увеличения дальности пробега без подзарядки АКБ в передней части автомобиля предлагается использовать ветрогенераторы. При движении автомобиля встречный поток воздуха вращает ветроколесо генератора, и последний вырабатывает электроэнергию, поступающую в АКБ.

В качестве базовой модели для установки ветрогенераторов выбран автомобиль CITROEN C-ZERO. Чертеж базового автомобиля представлен на рисунках 1 (вид сбоку) и 2 (вид спереди).

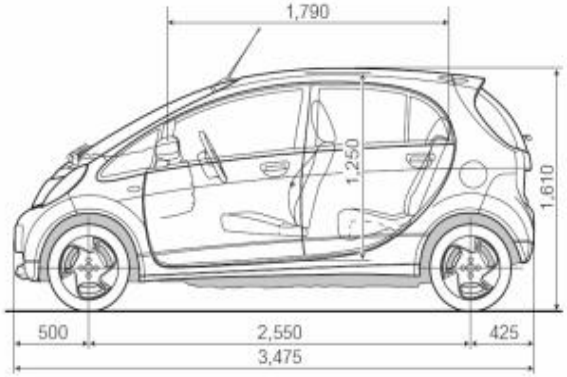


Рисунок 1 – Чертеж электромобиля CITROEN C-ZERO (Mitsubishi i MIEV). Вид сбоку.

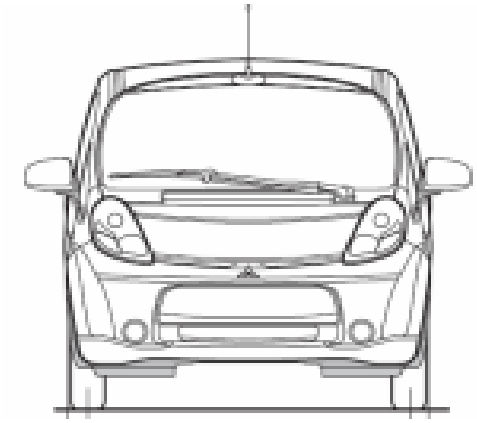


Рисунок 2 – Чертеж электромобиля CITROEN C-ZERO (Mitsubishi i MIEV). Вид спереди.

Вырабатываемая энергия зависит от скорости движения автомобиля и площади ветроколеса. Площадь ветроколеса используется не полностью, и чем больше аэродинамические качества ветроколеса, тем эффективность ветрогенератора выше. Коэффициент использования энергии ветра ξ лежит в пределах 0.4-0.5. Выразив площадь ветроколеса через диаметр, и подставив численные значения, получим выражение для определения мощности.

Мощность ветродвигателя определяется по следующей формуле [1]:

$$N = \frac{\rho \cdot F \cdot V^3}{2} \cdot \zeta \qquad (1)$$

где ρ – массовая плотность воздуха;

V – скорость воздушного потока;

F – площадь сечения потока;

ζ – коэффициент использования энергии ветра. Коэффициент использования энергии ветра лежит в пределах 0.4-0.5.

Или, выразив площадь *F* через диаметр *D* и подставив численные значения:

$$N = 0.000481 \cdot D^2 \cdot V^3 \cdot \zeta, кВт \qquad (1)$$

где D – диаметр ветроколеса, *м*;

V – скорость движения автомобиля *м/с;*

Мощность одного генератора Б с диаметром пропеллера D=0.26 м (рис. 3):

$$N_1 = 0.000481 \cdot 0.26^2 \cdot 25^3 \cdot 0.5 = 254 Вт.$$

Мощность одного генератора А с диаметром пропеллера D=0.34 м (рис. 3):

$$N_2 = 0.000481 \cdot 0.34^2 \cdot 25^3 \cdot 0.5 = 434.5 Вт.$$

Суммарная мощность, вырабатываемая генераторами:

$$N_\Sigma = 2 \cdot (N_1 + N_2),$$

$$N_\Sigma = 2 \cdot (254 + 434.5) = 1377 Вт = 1.38 кВт$$

Предполагается установить 4 генератора в передней части автомобиля: 2 генератора с диаметром ветроколеса D=0.340 м., и 2 диаметром D=0.260 м. Предлагаемая модернизация представлена на рисунке 3.

Проведенные расчеты показывают, что установка ветрогенераторов позволяет обходиться более длительное время без подзарядки аккумулятора электромобиля.

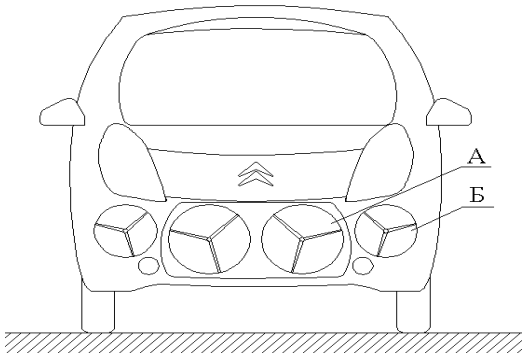


Рисунок 3 – Предложенная модификация базового электромобиля CITROEN C-ZERO с ветрогенераторами.

При движении автомобиля будет происходить постоянная подзарядка аккумуляторной батареи. Как показывают расчеты, рабочая характеристика этих батарей будет находиться в режиме заряда-разряда с постоянным пополнением энергии в аккумуляторной батарее. Это позволит:

1. дольше обходиться без подзарядки;
2. при определенных режимах езды может и вовсе не потребоваться подзарядка аккумулятора.

Такая дополнительная установка также позволит повысить комфортность нахождения водителя в салоне, так как появляется возможность включения кондиционера, системы обогрева и других потребляющих энергию систем, которые значительно ускоряют разрядку аккумуляторной батареи.

Список литературы

1. Фатеев Е.М. Ветрогенераторы и ветроустановки. М.: Издательство сельскохозяйственной литературы. 1957

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРАНСФОРМИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОРА

Пономарев В. С.
Научный руководитель: Жуков А. П.
Научно-исследовательский Институт прикладной математики и механики
Томского государственного университета,634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: vik2rr@gmail.com

В данной статье представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) рефлектора с гибкими спицами на основе численного моделирования. Главной характерностью наматывающихся рефлекторов является конструкция спиц, обеспечивающих параболическую форму отражающей поверхности. Материал и форма спиц таких рефлекторов должны обеспечивать упругий изгиб в поперечном направлении, позволяя свернуть их вокруг центральной ступицы в процессе упаковки без пластических деформаций [1]. Раскрытие рефлектора происходит под действием упругой энергии деформаций ребер. Схема раскрытия наматывающегося рефлектора представлена на рисунке 1.

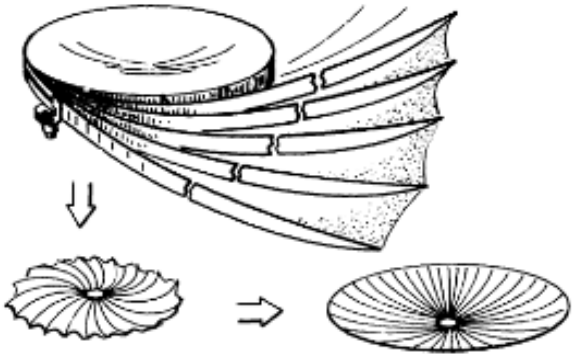


Рис. 1. Раскрытие рефлектора

В частности, Lockheed Missiles and Space Company (LMSC) разработали конструкцию рефлектора с гибкими спицами, упаковывающимися сворачиванием вокруг ступицы. В результате исследований, проведенных LMSC, было установлено, что спицы, изготовленные из углепластика способны отвечать заданным требованиям [2]. Также было решено изготавливать тонкостенные спицы чечевичного сечения, получившие название «double Ω» (рис. 2), которые могут быть сплющены, значительно уменьшая поперечную жесткость для упаковки рефлектора [3]. Пример тонкостенной чечевичной спицы изображен на рисунке 2.

Примером реализованной конструкции является антенна ATS-6 зеркалом диаметром 9.1 м и 48 гибкими спицами, закрепленными в цилиндрической ступице [4]. В упакованном виде диаметр антенны составляет 2 м, высота – 0.2 м. Среднеквадратическое отклонение (СКО) профиля поверхности равно 1.52 мм.

На первом этапе исследования было рассчитано среднеквадратическое отклонение (СКО) параболической поверхности на основе моделирования НДС рефлектора.

Задача решалась методом конечных элементов с применением программного комплекса ANSYS [5].

Проектная форма отражающей поверхности рефлектора предполагается осесимметричной. Диаметр апертуры 50 м, диаметр ступицы 4.55 м, фокусное расстояние 40 м.

Основание антенны состоит из 36 спиц, закрепленных в ступице. В рассматриваемой модели сетеполотно крепится прямо к спицам, поэтому верхняя кромка имеет параболический профиль.

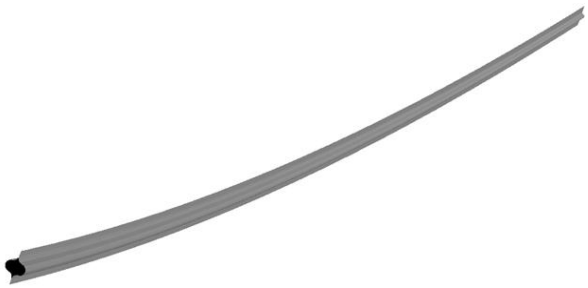


Рис. 2. Спица чечевичного сечения

Ширина и высота спицы равномерно уменьшаются от начала (ступицы) до свободного конца спицы. Высота верхней кромки равна высоте нижней и является постоянной. Таким образом, спица имеет «саблевидный» профиль. Спицы смоделированы оболочечными элементами с толщиной стенки 0,3 мм. Модуль упругости материала спиц задан 10^{11} Па. Отражающая поверхность учтена в модели также оболочечными элементами с толщиной 0,1 мм и модулем упругости 13×10^5 Па.

Для расчета среднеквадратического отклонения формы отражающей поверхности от идеального параболоида задавалось натяжение сетеполотна равное 2 г/см^2, определялось НДС рефлектора, после чего находилась требуемая величина. СКО вычислялось в условии невесомости.

В первом варианте расчета спица моделировалась таким образом, что точки верхней границы спицы лежали на идеальном параболоиде. Для рефлектора диаметром 50 метров величина СКО составила приблизительно 18 мм.

На основе расчета НДС рефлектора с гибкими спицами была предпринята попытка уменьшить

отклонение формы отражающей поверхности, путем изменения кривизны спиц. На рисунке 3 представлен график зависимости СКО от коэффициента К, отвечающего за «пологость» профиля спицы.

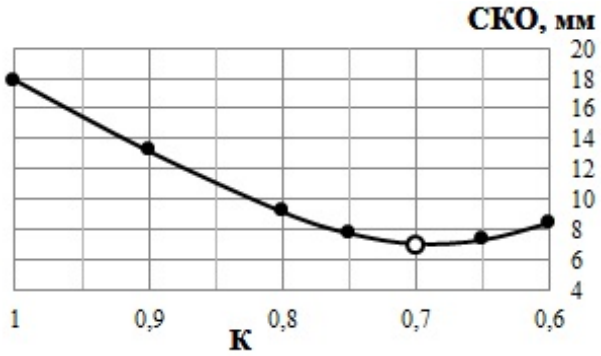


Рис. 3. Результаты по уменьшению СКО

Из графика (Рис. 3) видно, что минимальное СКО поверхности, достигаемое за счет изменения профиля спицы составляет 7 мм, что значительно меньше первоначальной величины.

Следующим этапом, была рассмотрена конструкция с учетом вантовой системы, введенной для того чтобы подавить «подушки», возникающие в клиньях сетеполотна между спицами и соответственно, вносящие значительный вклад в искажение параболической поверхности.

Вантовые элементы силового каркаса смоделированы стержневыми элементами, способными воспринимать только растягивающие нагрузки. Модуль упругости вантовых элементов принят 10^8 Па. Площадь поперечного сечения стержневых элементов задана $7{,}854\times10^{-7}$ м^2, что соответствует площади поперечного сечения шнура диаметром 1 мм. Применение вантовой системы в данной конструкции показано на рисунке 4.

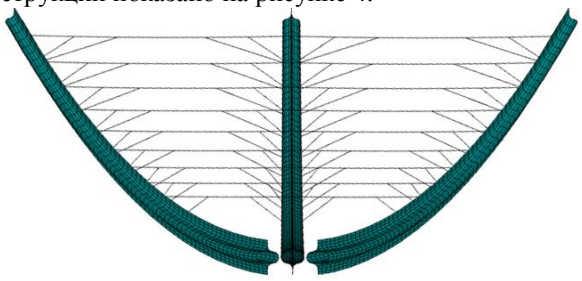


Рис.4. Спицы с учетом вантовой структуры

Результаты расчетов рефлектора с гибкими спицами с учетом вантовой системы и исследования подходящего коэффициента кривизны (как представлено выше) отображено на рисунке 5.

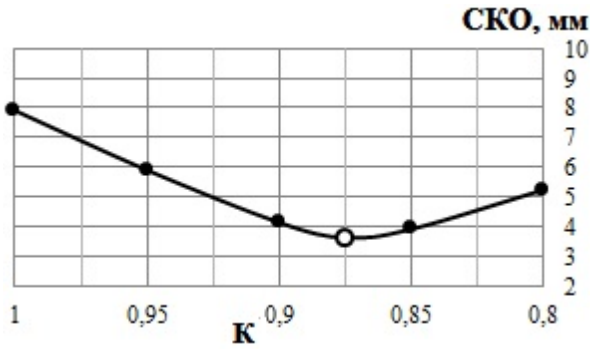


Рис. 5. Результаты по уменьшению СКО с учетом вантовой системы

Таким образом, как видно из рисунка 5, удалось достичь СКО менее 4 мм для рефлектора диаметром 50 м. Ниже в таблице 1 представлены, некоторые полезные характеристики рефлекторов разных диаметров с пропорционально измененной геометрией.

Таблица 1. Результаты определения характеристик рефлекторов

	Диаметр, м	Масса, кг	СКО, мм	Собственная частота, Гц
Без вантовой системы	50	620	7.04	0.6185
С вантовой системой	30	225	2.38	1.059
	50	623.5	3.81	0.6315
	100	2250	6.9	0.3623

Список литературы

1. Woods A. A. Offset wrap rib concept and development: LSST 1st Annual Technical Review. – Sunnyvale, CA 1979. – P. 5-28.

2. Woods A. A., Kural M. Consideration on the Use of Graphite-Reeinforced Plastics for Spase Erectable Antennas: AIAA 7th commun. satell. syst. conf. – San Diego, CA, 1978. – P. 423-432.

3. Woods A. A., Wade W.D. On the design of Self-Deploying, Extremely Large Parabolic Antennas and Arrays: rec. IEEE mech. eng. radar symp. – Arlington, VA, 1977. – P. 75-79.

4. Gerwin H. L., Campbell G. K. ATS 30-Foot Flex-Rib Antenna: memorias conf. intern. JEEE. Sobre Sistemas, Redes y computadoras. Vol. 1. – Mexico, 1971. – P. 503-506.

5. Жуков А. П., Пономарев В. С., Пономарев С. В. Численное моделирование рефлектора параболической антенны с гибкими ребрами. – Изв. вузов. Физика. т. 54, №10/2, 2011.- С. 154-157.

ЛУПРОВОДНИКОВЫЙ КОММУТАТОР ДЛЯ НАКАЧКИ CuBr-ЛАЗЕРА

Порохов Е.С., Нехорошев В.О., Чертихина Д.С.
Научный руководитель: Торгаев С.Н.
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Традиционно источники накачки для лазеров на парах металлов и, в частности, для лазеров на парах бромида меди, строятся с использованием тиратронов, однако с появлением на рынке мощных полупроводниковых приборов (IGBT и MOSFET) стало возможно создание твердотельных источников накачки, которые имеют более широкий диапазон рабочих частот, высокую гибкость управления и больший ресурс, наработку, срок службы.

Существует два основных способа организации силовой части твердотельных источников накачки: последовательный и параллельный.

Примером параллельного способа является ячейковая структура. [1]

Каждый из накопительных конденсаторов через соответствующий силовой ключ коммутируется на первичную обмотку своего импульсного трансформатора. Вторичные обмотки трансформаторов соединены последовательно и подключены к электродам ГРТ.

За счет применения быстродействующих MOSFET-транзисторов удалось обеспечить ЧСИ накачки свыше 100 кГц при работе с ГРТ диаметром 6 мм и длиной активной зоны 200 мм, температура наружной стенки которой в экспериментах составляла ~600 ^{0}C.

Применение импульсного трансформатора ведёт не только к уменьшению КПД источника из-за потерь в обмотках и сердечнике, но и к затягиванию фронта импульсов возбуждения, вследствие чего снижается мощность генерации CuBr-лазера. Использование трансформатора ограничивает как максимальную, так и минимальную длительность передаваемого в нагрузку импульса. В некоторых случаях необходимо принимать меры для рекуперации или диссипации энергии, запасаемой в индуктивности намагничивания.

Альтернативным схемным решением является (составной коммутатор) - последовательное включение полупроводниковых ключей.

В работе [2] описан магнитотранзисторный генератор (рис. 1), где в качестве высоковольтного коммутатора используется сборка из последовательно включенных транзисторов с изолированным затвором.

Схема твердотельного коммутатора представлена на рисунке 2. Коммутатор представляет собой последовательное включение десяти одинаковых ячеек, содержащих IGBT транзистор, управляемый через одновитковый трансформатор, резистор, обеспечивающий выключение транзистора, и диод для защиты транзистора от обратного напряжения.

Подобный способ построения источника накачки имеет свои особенности, связанные, в основном, с использованием магнитного компрессора: амплитуда импульса накачки определяется моментном насыщения магнитного ключа, а длительность импульса накачки – соотношением емкостей магнитного компрессора и индуктивностями дросселей в насыщенном состоянии. Таким образом, на практике крайне затруднительно регулировать режим ввода энергии в разряд.

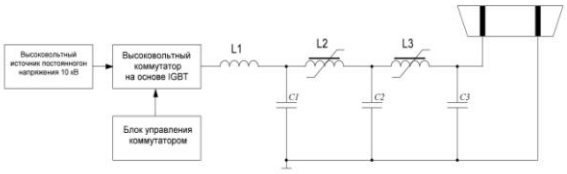


Рис 1. Схема магнитотранзисторного генератора

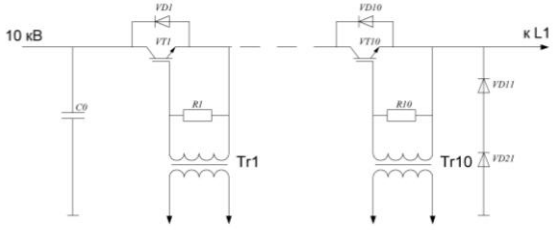


Рис 2. Схема коммутатора

К недостаткам данной схемы также можно отнести относительно низкую частоту следования импульсов, значительные потери в ключах и звеньях магнитного компрессора.

Общим недостатком схем с последовательным включением транзисторов является неоднородное распределение потенциала в структуре коммутатора, которое может быть обусловлено как несинхронностью моментов включения-выключения (несовершенством драйверной схемы), так и заводским разбросом параметров транзисторов, таких, как междуэлектродные ёмкости, пороговое напряжение, крутизна входной характеристики.

Известен способ синхронизации работы последовательно соединенных транзисторов путем введения в затворную цепь балансировочных трансформаторов. [3] Схема представлена на рисунке 3.

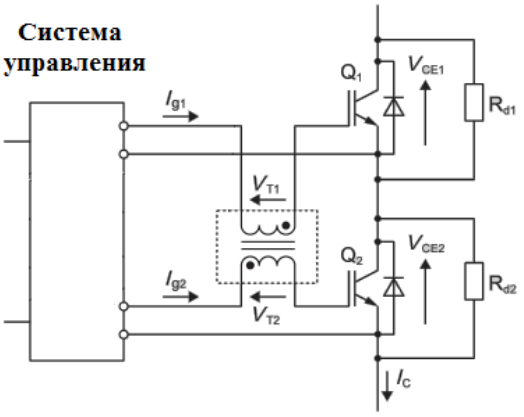


Рис 3. Общий принцип динамической синхронизации работы транзисторов путём введения в цепь управления магнитных связей

Недостатками такого схемотехнического решения является затягивание фронтов формируемого импульса, возникающее по причине внесения дополнительных индуктивностей в затворную цепь, и сложности, связанные с гальванической развязкой драйверных схем. Возможность использования подобной схемы в качестве коммутатора в составе системы накачки CuBr лазера требует глубокого анализа и детального рассмотрения.

Кроме всего прочего, представляет особый интерес просто коммутировать высокое напряжение составным коммутатором, что может дать выигрыш в динамических, массогабаритных параметрах и оказаться полезным в ряде портативных или маломощных решений.

Проведённые авторами исследования показали, что коррекцию распределения потенциала в структуре коммутатора можно осуществлять, используя модифицированный способ управления силовыми транзисторами. На рисунке 4 приведена функциональная схема управления коммутатором на двух транзисторах.

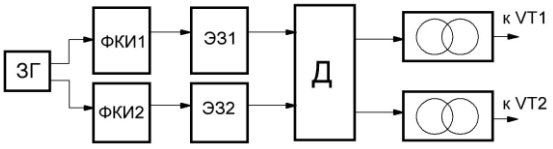


Рис 4. Функциональная схема управления коммутатором.

Задающий генератор (ЗГ), формирователи коротких импульсов (ФКИ) и элементы задержки выполнены на элементах стандартной КМОП логики и особенностей не имеют.

Драйвер (Д) работает по пороговому уровню входного напряжения, применение RC-цепей на входе позволяет регулировать задержки между импульсами управления.

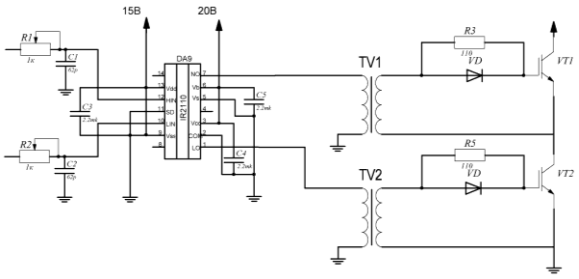
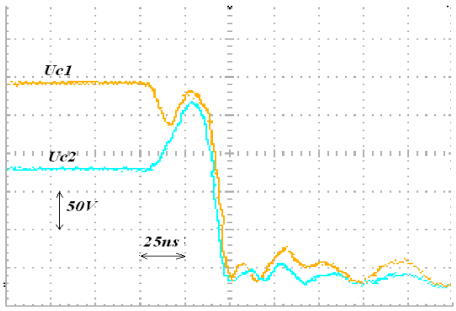
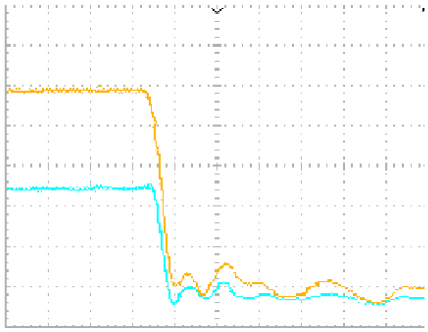


Рис 5. Выходной каскад схемы управления.

Регулируя длительность импульсов управления и время задержек, можно выравнивать неоднородность распределения потенциалов на ключах, вызванное несинхронностью моментов включения – выключения, а так же заводским разбросом параметров транзисторов.



a)



b)

Рис 6. Осциллограммы напряжений на транзисторах a) без коррекции; b) с коррекцией.

Работа *выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №7.586.2011.*

Список литературы

1. Красников И.В., Торгаев С.Н., Ходько А.Ю. Исследование полупроводниковых источников накачки CuBr-лазера //

2. Малашин М.В., Мошкунов С.И., Хомич В.Ю. Генератор накачки лазера на парах меди на основе высоковольтного твердотельного коммутатора// Прикладная физика. – 2010. – №5 – С.102 – 107.

3. Yasushi Abe, Koji Maruyama. Multi-series connection of high-voltage IGBTs// Fugi Electric Journal – 2002. - №8 – vol.75 – pp. 1 – 4.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ВИХРЕТОКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА

Пургин А.П.
Научный руководитель: Якимов Е.В., к.т.н., доцент.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
Email: apurgin@tpu.ru

На кафедре информационно-измерительной техники ТПУ был разработан метод вихретоковой дефектоскопии стальных прутков и труб, позволяющий повысить эффективность контроля путем использования разночастотных вихревых токов циркулярного и продольного направлений [1]. Исследование данного метода производилось с помощью экспериментальной системы вихретокового контроля (СВТК).

Система состоит из вихретоковых преобразователей; блока электроники, выполняющего генерацию синусоидальных сигналов для вихретоковых преобразователей (ВТП), а так же производящего первичную обработку измерительных сигналов с ВТП; платы сопряжения “NI USB-6363” фирмы National Instruments™ и персонального компьютера, выполняющего обработку и визуализацию данных. Эксперименты с данной системой вихретокового контроля показали высокие результаты.

Исходя из этого, на основе предыдущих наработок было решено разработать блок прибора, который выполнял бы все необходимые функции от генерации и первичной обработки сигналов до визуализации. Это позволит улучшить некоторые характеристики системы контроля, ограничиваемые платой сбора данных, снизит общую стоимость системы, а так же позволит при необходимости наладить производство дефектоскопа.

Блок электроники, используемый в экспериментальной СВТК, не требует изменений. Однако в дополнение к нему необходимо разработать схему, которая бы выполняла оцифровку, обработку и визуализацию информации, функции, которые выполняют плата сбора данных и компьютер в экспериментальной СВТК. Схема должна обеспечить следующие возможности:

-многоканальные измерения (18 каналов);

-обеспечить достаточно сложные вычисления

-вывод информации на достаточно крупный дисплей для удобного восприятия результатов контроля;

-возможность подключения к компьютеру через стандартный интерфейс;

-возможность сохранения результатов контроля.

Основываясь на вышесказанном можно предложить следующую структурную схему части прибора, отвечающей за сбор, обработку, визуализацию данных и интерфейс, изображенную на рисунке 1. Система состоит из многоканального АЦП; процессора, осуществляющего функции вычисления и управления; интерфейса USB для подключения устройства к компьютеру; LCD дисплея; клавиатуры и динамика.

Поскольку измеряемые сигналы имеют относительно низкую частоту, а так же отсутствует необходимость синхронного сбора данных со всех каналов, то для измерения целесообразно использовать один АЦП в паре с мультиплексором. Упростить задачу разработки возможно с помощью применения многоканального АЦП в интегральном исполнении. Преимуществом такого решения является экономия места на плате, а так же чётко определённые метрологические характеристики.

Выбор процессора во многом зависит от частоты дискретизации АЦП, способа обработки информации (в реальном времени или поблочно), сложности алгоритма обработки и графического интерфейса. В силу того, что обработку данных необходимо производить поблочно, то есть весь сигнал, записанный от начала и до конца трубы, обработка в реальном времени не требуется. Однако эта особенность накладывает некоторые ограничения на выбор АЦП, поскольку увеличение частоты дискретизации соответственно ведет к увеличению количества записанных отсчетов, и, следовательно, времени обработки. Таким обра-

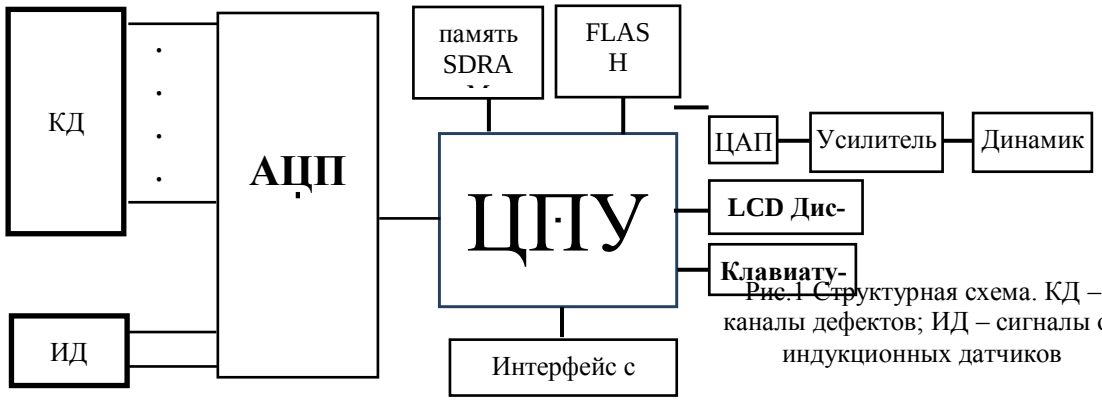


Рис.1 Структурная схема. КД – каналы дефектов; ИД – сигналы от индукционных датчиков

зом, выбор слишком высоких значений не желателен. В то же время частота дискретизации влияет на погрешность от аппроксимации. Например, чтобы воспроизвести сигнал с погрешностью от аппроксимации равной $\sigma_{ап} = 0.2\%$, необходима частота:

$$f_д = (30 \div 40) f_c$$ где,

f_c – такая частота, после которой начинается резкое снижение амплитуд спектральных составляющих;

$f_д$ – частота дискретизации.

Опытным путем было определено, что значение f_c приблизительно равняется 200 Гц. Соответственно, чтобы обеспечить погрешность от аппроксимации $\sigma_{ап} = 0.2\%$ необходимо оцифровывать сигнал с частотой как минимум 6 КГц. В экспериментальной СВТК частота дискретизации каждого измерительного сигнала составляет 15 КГц, поэтому целесообразно выбирать АЦП с частотой дискретизации не менее 15 КГц на канал, чтобы обеспечить хорошо зарекомендовавшие себя характеристики. Например, под эти параметры подходит одиннадцатиканальный АЦП TLV 2556-EP фирмы Texas Instruments™, имеющий частоту дискретизации 18.1 КГц на канал. Поскольку число каналов TLV 2556-EP меньше 18, то потребуется использовать два АЦП.

После определения параметров АЦП можно перейти к подбору процессора. Так как обработка данных производится не в реальном времени, то жестких рамок, ограничивающих минимальную производительность, не существует. Однако не желательно, чтобы время обработки превышало время прохода трубы через преобразователь.

Для вычислений целесообразно использовать DSP (сигнальный процессор), а для визуализации информации и интерфейса – процессор на популярной в настоящее время архитектуре ARM. Например, фирма Texas Instruments™ производит двухядерные DSP+ARM процессоры OMAP L1x с тактовой частотой до 456 МГц. Использование процессора, сочетающего в себе ядра DSP и ARM, упрощает дизайн, экономит место на плате, а так же снижает стоимость разработки изделия, так как нет необходимости покупать отладочные модули для каждого процессора.

Важно оценить время обработки ключевых алгоритмов. Алгоритм включает около полусотни арифметических операций, время выполнения которых меньше, либо близко к времени выполнения векторного произведения. Количество тактов N для вычисления произведения двух одинаковых векторов длиной n для данного процессора определяется как N=n+25 [2]. Длину вектора можно вычислить умножением частоты дискретизации f_d отдельного канала на время прохода трубы. Время прохождения можно найти простым делением длины l на скорость v подачи трубы. Также в алгоритме присутствуют 4 операции деления вектора на число. На одну операцию деления двух чисел тратится до 41 такта[3]. Отсюда формула для оценки времени обработки при частоте процессора $456 \cdot 10^6$ Гц:

$$t_{обр} = \left(f_д \frac{l}{v} + 25\right) \frac{50}{456 \cdot 10^6} + \frac{41 \cdot (f_д \frac{l}{v}) \cdot 4}{456 \cdot 10^6}$$

На рис.2 представлена зависимость времени обработки $t_{обр}$ от скорости подачи трубы v для трубы длиной 5м и скоростей подачи от 0.1 до 4 м/с.

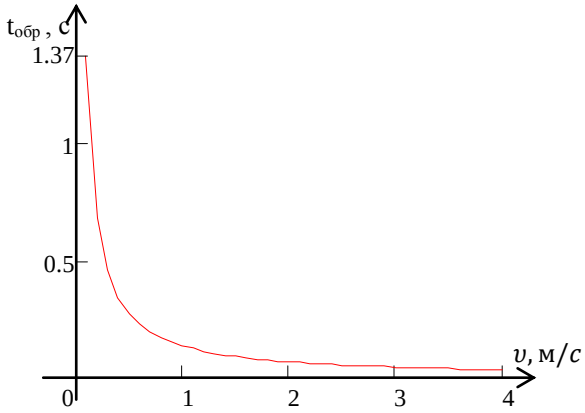


Рис.2, Зависимость времени обработки от скорости подачи трубы.

Из графика видно, что при скорости подачи 0.1 м/с время обработки составляет 1.37 с, а время прохода трубы $\frac{5}{0.1} = 50$ с. При скорости подачи 4 м/с время прохода трубы составляет $\frac{5}{4} = 1.25$ с, а время обработки 0.34 с.

Соответственно возможно использование данного процессора для разработки прибора. При потребности увеличить производительность устройства для определенного производства представляется возможным заменить OMAP L1x более мощным DSP.

Список литературы

1. Гольдштейн А.Е. Вихретоковая дефектоскопия прутков и труб с возбуждением разночастотных вихревых токов циркулярного и продольного направлений / Гольдштейн А.Е., Булгаков В.Ф., Крёнинг Х.-М.В.А. // Ползуновский вестник - 2012. - № 2/1. - С. 146-150.

2. Texas Instruments [Электронный ресурс] : [офиц. сайт] / Benchmarks C674x. - Режим доступа: http://www.ti.com/lsds/ti/dsp/c6000_dsp/c674x/benchmarks.page, свободный. - Загл. с экрана (дата обращения: 24.02.2013).

3. Texas Instruments [Электронный ресурс] : [офиц. сайт] / TMC320C6000 division. - Режим доступа: http://www.ti.com/lit/an/spra707/spra707.pdf, свободный. - Загл. с экрана (дата обращения: 24.02.2013).

НОРМИРОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЦИФРОВОГО ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА

А. С. Спиридонова, Е. С. Рункова, А. А. Заикина
Научный руководитель: С.В. Силушкин, к.т.н., доцент
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина 30.
e-mail: Lenok_19@sibmail.com

Введение

Цвет, как средство познания окружающего нас мира, играет важную роль в нашей жизни. Поэтому большинство отраслей производства (медицина, лакокрасочная и текстильная промышленности, химические лаборатории и др.) требует точные способы задания цвета. В связи с этим, процедура измерения цвета является актуальной.

Любое измерение сопровождается степенью неопределённости, которая характеризуется погрешностью (ПГ) проведённого измерения. Поэтому, применяя то или иное средство измерений (СИ), метрологические характеристики (МХ) которого определены с необоснованной ПГ, в значительной степени обесценивают информацию, получаемую в результате проводимых измерений.

Под нормированием МХ, согласно [1], понимается следующее: установление границ на допустимые отклонения реальных МХ СИ от их номинальных значений. Необходимость нормирования МХ обусловлено требованием обеспечения единства измерений.

Согласно [1] на ПГ проводимых измерений влияют следующие факторы:

– свойства применяемых СИ;
– способы использования СИ (методик выполнения измерений);
– условия, в которых проводятся измерения;
– скорость (частота) изменения измеряемых величин;
– алгоритмы вычислений;
– ПГ оператора, и др.

Рассмотрим ПГ, обусловленную особенностями и свойствами применяемого СИ – цифрового цветометрического анализатора (ЦЦА). Для определения ПГ ЦЦА необходимо описать принцип его работы и внутреннюю структуру.

Описание решения

Анализатор разработан на основе микроконтроллера ATmega 128 (имеет в своем составе АЦП и ОЗУ) и измерительного блока с полупроводниковым RGB-датчиком типа MCS3AS (производство компании MAZeT GmbH, Германия) [2, 3].

Разработка программного обеспечения (ПО) проводится в среде графического программирования LabVIEW 2009 и приложения MathScript. Программирование микроконтроллера Atmega128 выполнено в программной среде AVRStudio, распространяемой бесплатно [4].

Измеренные цветовые координаты для дальнейшей обработки представляются в 24-разрядном RGB-коде.

Рассматриваемый ЦЦА входит в состав мобильного цветометрического комплекса (рис. 1), предназначенного для измерения состава веществ на основе полимерных оптодов [5], а внешний вид анализатора представлен на (рис. 2).



Рис.1. Мобильный цветометрический комплекс для определения состава веществ



Рис.2. Внешний вид цифрового цветометрического анализатора

В состав анализатора входят:

– первичный измерительный преобразователь с приемным устройством для оптического прозрачного сенсора, источником светового излучения и цветочувствительным RGB-датчиком;
– устройство согласования выходного сигнала фотоприемника и входного сигнала электронной части анализатора;
– аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
– устройство индикации результата измерения;
– микроконтроллер для управления приборной частью и первичной обработки данных;
– персональный компьютер для дальнейшей обработки и графической визуализации данных измерений, хранения результатов исследований;

– прикладное ПО, которое реализует управление системой на верхнем уровне, а также интерфейс с пользователем и обработку измеренных данных.

Работа анализатора проводится в следующем порядке:

а) инициализация интерфейса программы управления;
б) позиционирование исследуемого оптода;
в) измерение цветовых координат оптода;
г) обработка полученной информации соответствующим ПО.

Подробный алгоритм работы мобильного цветометрического комплекса описан в работе [6].

Экспериментальные исследования

Определим потенциальные источники ПГ рассматриваемого СИ. Для этого рассмотрим вклад каждого составляющего элемента СИ в результирующую ПГ.

При анализе структурной схемы были выявлены две инструментальные ПГ разработанного анализатора:

1) ПГ RGB-датчика MCS3AS [3], которая составляет не более 1 % ($\delta_{\Delta E} \le 1$);

2) ПГ преобразования 10-ти разрядным АЦП, входящим в состав *Atmega 128*, состоит из нескольких характеристик:

а) ПГ квантования АЦП, которую определяем, используя рекомендации [5], по следующей формуле:

$$\delta_q = \pm \frac{q}{\sqrt{12}} \cdot 100\ \% = \pm 0{,}03\ \%,$$

где q – шаг квантования, который определяется через единицу младшего разряда (EMP) АЦП

$$q = 1/2^m,$$

где m – количество разрядов АЦП;

б) интегральная нелинейность АЦП, по данным производителя [4, 7], составляет ± 0,5 EMP, следовательно, можно записать:

$$\delta_{qL} = \pm (0{,}5 \cdot q) \cdot 100\ \% = \pm 0{,}05\ \%;$$

в) абсолютная ПГ АЦП на всем диапазоне измерения составляет ±2 EMP (данные производителя [8]), тогда:

$$\delta_{\Delta АЦП} = \pm (2 \cdot q) \cdot 100\ \% = \pm 0{,}2\ \%.$$

Учитывая приведенные характеристики АЦП, можно определить ПГ преобразования напряжения δ_U, которое подается на него с измерительного блока:

$$\delta_U = \pm \sqrt{\delta_q^2 + \delta_{qL}^2 + \delta_{\Delta АЦП}^2} = \pm 0{,}2\ \%\ .$$

Тогда, с учетом полученных результатов, определим инструментальную ПГ измерительного канала ЦЦА:

$$\delta_{ИК} = \pm \sqrt{\delta_{\Delta E}^2 + \delta_U^2} = \pm 1\ \%.$$

Заключение

Использование питания от USB-порта компьютера позволяет снизить стоимость анализатора и использовать его как переносное оборудование.

Разработанный ЦЦА имеет светонепроницаемый корпус и жесткое позиционирование оптода, позволяющие исключить засветку оптодов внешним излучением и исключить ПГ определения цветовых координат оптода из-за его расположения относительно RGB-датчика.

Результаты исследований показывают, что инструментальная погрешность ЦЦА не оказывает существенного влияния на точность определения концентрации веществ, так как не превышает ±1 %, что не вносит существенную погрешность в конечный результат определения искомых компонентов при проведении химического анализа, в котором погрешность определения компонентов может достигать 20 %.

Список литературы

1. ГОСТ 8.009−84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики. Средств измерений. – М.: Изд.-во стандартов, 1986. – 27 с.

2. MTCS–ME1 modEVA–Kit with JENCOLOR Sensors. Technical Documentation. V 1.67 Jena, Germany, MAZeT GmbH, 2008. – 25 p.

3. MCS3AS. 3-element color sensor – SMD/SO8. Data-sheet. V1.22 Jena, Germany, MAZeT GmbH, 2009.− 7 p.

4. 8-bit AVR Microcontroller with 128K Bytes In-System Programmable Flash. ATmega128. TechnicalDocumentation.Rev.2467K-04/04, Atmel Corporation, 2004. – 374 p.

5. Патент на изобретение № 2272284 (Российская Федерация). Индикаторный чувствительный материал для определения микроколичеств веществ // Н.А. Гавриленко, Г.М. Мокроусов. – Опубл. 18.08.2004., Бюл. № 8. – 9 с.

6. Муравьев С.В., Гавриленко Н.А., Силушкин С.В., Овчинников П.Г. Мобильный цветометрический комплекс для измерения состава веществ на основе полимерных оптодов// Известия ТПУ. – 2010. – Т. 318. – № 4. – С. 68–73.

7. Евстифеев, А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя [Текст]/ А.В. Евстифеев. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 592 с.

8. Рынок микроэлектроники [Электронный ресурс]. − Режим доступа: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/avr/arh128/index.htm, свободный − Загл. с экрана.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ПЕРВИЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Семенцов А.О.
Научный руководитель: Бориков В.Н., к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: SiemensOFF@tpu.ru

Величина и стабильность амплитуды и частоты первичных колебаний является важным параметром микромеханического гироскопа (ММГ), от которого зависят его динамические характеристики.

Возбуждение и стабилизация первичных колебаний ММГ осуществляется электростатическим виброприводом, управление которым осуществляется по сигналам от емкостного датчика.

Для достижения требуемой амплитуды первичных колебаний в ММГ необходимо использовать резонансные свойства механической части гироскопа. Обеспечение равенства частоты управляющего воздействия и собственной частоты чувствительного элемента (ЧЭ) является главным условием достижения необходимой амплитуды первичных колебаний [1].

В работе были исследованы наиболее часто применяемые две схемы возбуждения первичных колебаний на резонансной частоте [2]:

− автогенераторная схема возбуждения;

− схема с опорным генератором, частота которого автоматически настраивается на собственную частоту ЧЭ.

Для реализации автогенераторного режима в канале первичных колебаний организуется обратная связь по амплитуде колебаний ЧЭ как показано на рисунке 1.

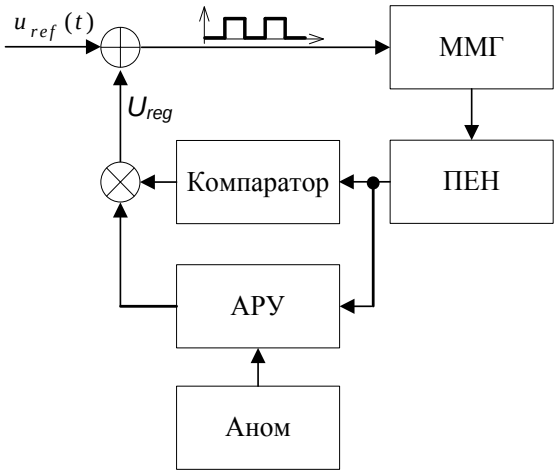


Рисунок 1 - Структурная схема автогенераторной системы управления первичными колебаниями

Схема содержит устройство автоматической регулировки усиления (АРУ) для подержания заданной амплитуды сигнала возбуждения и компаратор.

Для подержания колебаний ЧЭ на резонансной частоте вводится обратная связь в систему возбуждения первичных колебаний с помощью преобразователя емкость-напряжение (ПЕН), который преобразует изменение емкостей датчиков ММГ в постоянное напряжение.

Преимуществом автогенераторной схемы возбуждения колебаний ЧЭ ММГ является ее простота. Однако при этом предъявляются повышенные требования к выходному сигналу с емкостного датчика перемещений.

Структурная схема возбуждения с опорным генератором приведена на рисунке 2. В данной схеме для формирования сигнала, подаваемого на ММГ, используется генератор, управляемый напряжением (ГУН). Если частота ГУН будет совпадать с частотой механического резонанса ЧЭ, то выходной сигнал с генератора будет находиться в фазе с колебаниями ЧЭ.

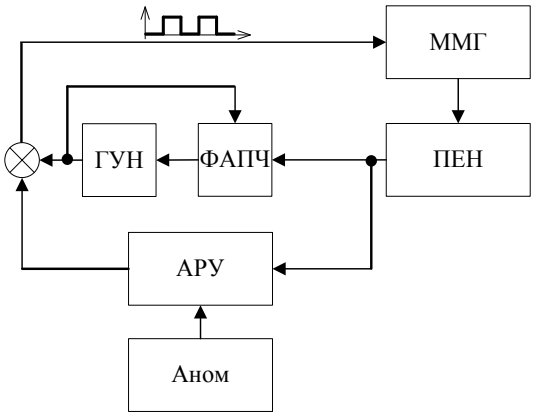


Рисунок 2 - Структурная схема системы управления первичными колебаниями с ФАПЧ

В случае несовпадения частоты выходного сигнала задающего генератора и механического резонанса ЧЭ будет наблюдаться фазовый сдвиг.

Обязательным условием такой схемы возбуждения является необходимость формирования контура автоматической настройки частоты задающего генератора на частоту механического резонанса ЧЭ.

Такой контур можно построить на основе фазового детектора (ФАПЧ), которые широко используются в различной радиоэлектронной аппаратуре.

Для исследования автогенераторных схем и схем с автоподстройкой частоты была разработана электромеханическая Simulink-модель колебательной системы, представленная на рисунке 3.

Simulink-модель имитирует поступательное перемещение ЧЭ, который представляет собой инерционную массу (ИМ) на гибком подвесе с учетом

коэффициентов трения и демпфирования под воздействием электрических импульсов с регулируемой частотой и скважностью. Для упрощения процесса моделирования рассматривается процесс поступательного движения ИМ только в одном направлении.

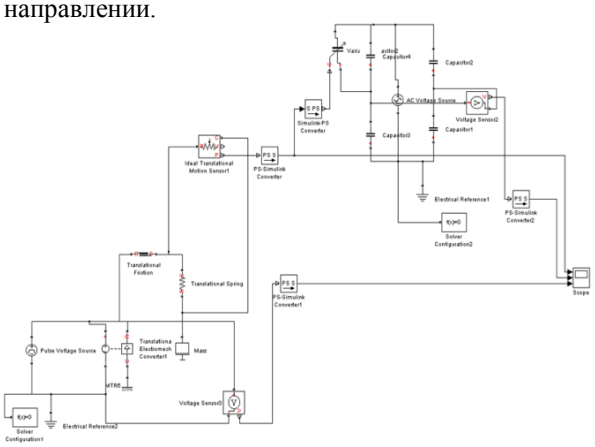


Рисунок 3 - Электромеханическая Simulink-модель режима первичных колебаний

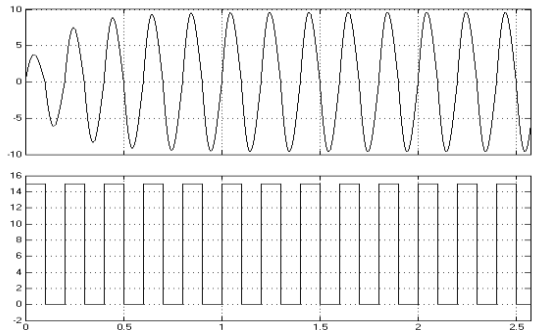


Рисунок 4 - Колебания ЧЭ под воздействием сигнала прямоугольной формы с частотой равной частоте резонанса ИМ

Как следует из графиков на рисунке 4, при совпадении частоты сигнала возбуждения и частоты механического резонанса ИМ колебания ИМ носят периодический незатухающий характер, форма колебаний синусоидальная.

В представленную электромеханическую Simulink-модель была добавлена обратная связь для стабилизации частоты колебаний ИМ.

На рисунке 5 представлены результаты моделирования системы с настройкой частоты колебаний ЧЭ на резонансную частоту с использованием обратной связи по амплитуде изменения емкости.

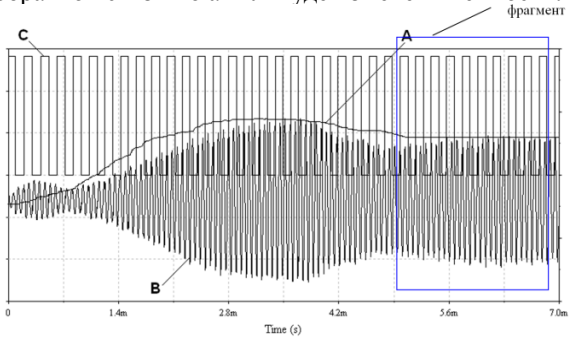


Рисунок 5 - Настройка колебаний ЧЭ на резонансную частоту

На рисунках 5и 6 указаны сигналы:

A – выходной сигнал с преобразователя емкость-напряжение;

B – амплитуда колебаний ИМ;

C – сигнал возбуждения первичных колебаний.

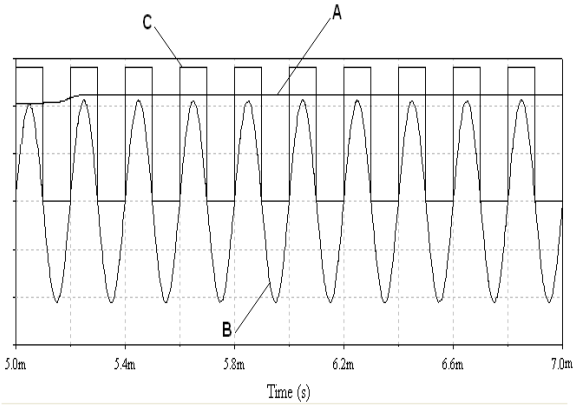


Рисунок 6 - Настройка колебаний ЧЭ на резонансную частоту (фрагмент рисунка 5)

С увеличением частоты сигнала возбуждения (сигнал С) в ММГ наблюдается увеличение амплитуды колебаний ИМ (сигнал В), которая детектируется преобразователем емкость-напряжение (сигнал А) и через обратную связь поступает на вход управления частотой задающего генератора. Амплитуда колебаний ИМ стабилизируется вследствие совпадения частоты механического резонанса и частоты сигнала возбуждения. Последующее увеличение частоты задающего генератора приводит к уменьшению амплитуды колебаний ИМ и уменьшению сигнала А. На рисунке 5 наблюдается стабилизация амплитуды колебаний ИМ. Время настройки на резонансную частоту и стабилизацию амплитуды не превышает 5 мс.

Моделирование показывает, что по истечении времени переходного процесса в системе с автогенераторной системой возбуждения первичных колебаний, устанавливаются гармонические первичные колебания постоянной амплитуды.

Список литературы

1 Ковалев А. С. Управление первичными и вторичными колебаниями микромеханического гироскопа: Диссертационная работа. – 2008.

2 Распопов В.Я. Микромеханические приборы: учебное пособие / В.Я. Распопов. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.

3 Ковалев А.С., Шадрин Ю.В. Исследование схем возбуждения первичных колебаний ротора микромеханического гироскопа в режиме автогенерации // Тр. V конф. молодых ученых "Навигация и управление движением" / ЦНИИ "Электроприбор" – СПб. – 2003. – С. 87-92.

ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ - ОБЗОР МЕТОДОВ И НОВЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Симоненко А.А.
Научный руководитель: Павлов И.В., к.т.н., доцент
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
199106, Россия, г. Санкт-Петербург, 21 линия д.2
E-mail: asnitmon@mail.ru

Наряду с запасами минерально-сырьевых ресурсов Россия является крупнейшей лесной державой. Леса имеют, как промышленное, так и экологическое значение. Основным продуктом лесов, является древесина.

Древесину потребляют все отрасли народного хозяйства. Она легка, прочна и имеет способность без разрушения поглощать энергию при ударных нагрузках, гасить вибрации, а также обладает хорошими теплоизоляционными свойствами.[1]

В прошлом древесное сырьё находилось в избытке, по незначительной стоимости, при этом не возникало острой необходимости в исследовании качества древесины. В настоящее время ситуация изменилась. Введение норм расхода древесного сырья, необходимость рационального использования древесины и совершенствование методов ее учета становятся актуальными у работников лесной индустрии. При решении вопросов с воспроизводством и переработкой древесного сырья, необходимы получение точных данных о свойствах древесины в условиях ограниченного времени. К основным качественным характеристикам древесины относится ее плотность. Одним из важнейших достоинством плотности как показателя качества древесины является ее универсальность. На её основе можно рассчитать содержание сухого вещества в древесном сырье и определить, в частности, весовую продуктивность древостоев, которая является более важным показателем, чем объемная производительность. Влияние плотности на многие физические свойства древесины, при наличии ее значений, дает представления о механических свойствах древесины, что можно использовать для прочностной сортировки пиломатериалов. Плотность можно использовать для прогнозирования свойств бумаги и древесностружечных плит, также она влияет на качество многих продуктов, получаемых из древесины. Плотность древесного сырья определяет важнейший экономический показатель – выход целлюлозы.[2]

Обзор и анализ существующих методов показал, что основным способом измерения плотности древесины является ГОСТ 16483.1-84 на образцах, имеющих форму четырехгранной прямоугольной призмы с основанием 20х20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм, грани которой гладко остроганы. Этот способ трудоемок и занимает много времени. В общем, разработано несколько десятков методов определения плотности древесины (включая их модификации). Выбор метода зависит от многих факторов: вида определяемой плотности, возможности изготовления образцов правильной формы, размеров образцов, имеющегося лабораторного оборудования, объема производимого анализа. Существуют методы определения плотности стереометрическим способом, способом вытеснения воды, способом гидростатического взвешивания и др. все они довольно трудозатратны. Способы с применением рентгеновского и β-излучения более точны, но еще более трудоемки и дороги.

При экспорте лесоматериалов для нужд целлюлозно-бумажной промышленности и других целей в документах на груз в обязательном порядке указывается значение основных параметров древесины, в том числе и значение её плотности. В таких случаях актуальным является вопрос проведения оперативного заявленных показателей в соотношении с заданными точностными характеристиками.

В целях совершенствования таможенного контроля параметров древесины Федеральная таможенная служба инициирует работы по созданию технических средств таможенного контроля (ТСТК). Наряду с разработкой ТСТК позволяющих осуществлять контроль пород, объёмов штабелей и влажности древесины, ведутся научно-исследовательские работы по разработке методик определения плотности древесины с применением низкочастотного ультразвукового метода и низкочастотного акустического метода свободных колебаний, в которых автор принимает непосредственное участие, так как это является целью его кандидатской диссертации.

Наиболее интересным, с точки зрения оперативности и простоты применения, выступает метод определения плотности ρ древесины по результатам измерений частот собственных колебаний, который является экспериментально-расчетным (косвенным). Метод основывается на наличии корреляционной связи между плотностью ρ и приведенной скоростью распространения акустических волн C_l (определение C_l по ГОСТ 25961 и ГОСТ Р 52710). Корреляционная связь (градуировочная зависимость) "ρ – C_l" устанавливается предварительно, на основании экспериментальных данных для каждого вида древесины в определенном диапазоне значений массовой доли влаги W.

Определение C_l низкочастотным акустическим методом основано на связи резонансных частот собственных колебаний изделий со скоростью распространения акустических волн в материале, из которого они изготовлены. [3] Известно, что в

общем виде такая взаимосвязь может быть описана следующей формулой:

$$f_i = F_i \cdot C_l, \qquad (1)$$

где f_i - частота собственных колебаний (ЧСК) определенного вида (i), Гц;

F_i - коэффициент формы, зависящий от формы и размеров изделий, коэффициента Пуассона, а также от вида колебаний, 1/м;

$C_l = \sqrt{E/\rho}$ - скорость распространения упругих колебаний в бесконечно длинном стержне, изготовленном из такого же материала, что и материал контролируемого изделия; м/с;

E - модуль Юнга, Н/м^2;

ρ - плотность материала изделия, кг/м^3.

Метод измерений ЧСК f_i основан на возбуждении свободных колебаний в контролируемом изделии с помощью удара с последующим выделением отдельных характерных составляющих спектра частот собственных колебаний [4].

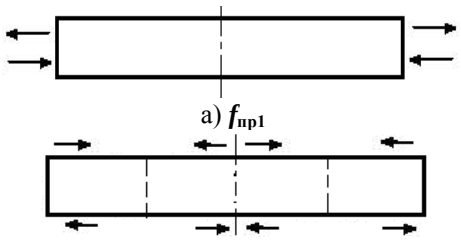
Для изделий в виде длинных стержней, как правило, подлежат измерению частоты продольных ($f_{пр}$) или изгибных ($f_{изг}$) колебаний.

Для измерений используются только две нижние частоты продольных колебаний $f_{пр1}$ и $f_{пр2}$, для которых значение коэффициента формы в формуле (1) определяется следующими выражениями:

$$F_{пр1} = 1/2L \qquad (2) \qquad F_{пр2} = 1/L \qquad (3),$$

где L длина изделия, м.

Характер движения отдельных точек длинного стержня при продольных колебаниях на основной частоте $f_{пр1}$ и второй гармонике $f_{пр2}$ схематически показан на рис. 1а,б.



а) $f_{пр1}$

б) $f_{пр2}$

Пунктиром и штрих-пунктиром показаны узловые линии данного типа колебаний (линии, на которых колебания отсутствуют).

Рис. 1. Характер движения отдельных точек при продольных колебаниях длинного стержня

Определение приведенной скорости распространения акустических волн C_l производится путем расчета по формуле (1) с учетом формы, геометрических размеров изделия и выбранного рабочего типа колебаний.

Определение значения плотности образца производится при помощи градуировочной зависимости "$\rho - C_l$ " по результатам измерения ЧСК и расчета скорости C_l для соответствующей породы древесины с учетом результатов измерения влажности (см. рис.2).

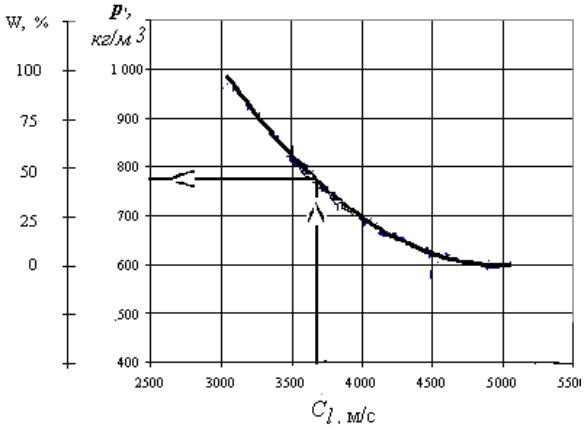


Рис. 2. Вид градуировочной зависимости "$\rho - C_l$ "

Градуировочные зависимости представляют собой кусочно-линейные зависимости, построенные на основании обработки и корреляционного анализа статистических данных по определению плотности и акустических характеристик образцов древесины. Кусочный характер зависимости связан с различным характером изменения свойств древесины в процессе хранения и сушки и условно соответствует сырой древесине (лесоматериалам), имеющей влажность от 100 до 30%, и высушенной древесине (пиломатериалам) с влажностью менее 30%.

Общий вид корреляционного уравнения для определенного интервала влажности

$$\rho = a_n \cdot C_l + b_n \qquad (4)$$

По результатам работ установлены градуировочные зависимости на такие породы древесины, как береза, ель, ольха, сосна, произрастающие в Северо-Западном регионе России, и др.

Список литературы

1. Уголев, Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник для студ. сред. проф. Образования − 4-е изд.,стер.− М.: Издательский центр «Академия», 2011.−272с.

2. Полубояринов, О.И. Плотность древесины – М., «Лесная промышленность», 1976. 160 с.

3. Московенко, И.Б. Метод свободных колебаний - самый древний метод акустического контроля // В мире неразрушающего контроля, 1998, №2, с.10-13.

4. Коварская, Е.З., Московенко, И.Б. Опыт промышленного использования акустического метода оценки физико-механических свойств изделий по частотам собственных колебаний // Дефектоскопия, №6, 1991, с.9 - 15.

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСТНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПОСРЕДСТВОМ УЧЕТА СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ

Скрипка О.А., Ганин А.В.
Научный руководитель Винокуров Б.Б., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: 041151@sibmail.com

На сегодняшний день основными направлениями развития автомобилестроения являются повышение экономичности, безопасности и экологичности. Разрабатываются датчики и системы контроля, повышается их интеллектуальность. В данной работе приведены некоторые примеры систем контроля состояния водителя. Данное направление было выбрано потому, что на сегодняшний день большое количество аварий происходит по вине водителей, а не только из-за неисправности транспортного средства. Именно поэтому существует интерес к интеллектуальным системам, которые контролируют не только состояние ТС и «сами» принимают решение при выявлении неполадок, но и к системам, контролирующим ,помимо прочего, состояние водителя. На данный момент количество разработок подобных систем очень мало. В качестве примера можно привести несколько запатентованных изобретений для контроля состояния водителя, которые были рассмотрены в данной работе. В данной статье приведен пример создания подобной системы с использованием других, более эффективных элементов. Разрабатываемое устройство обладает преимуществами и может использоваться в транспортных средствах для определения критического состояния человека. Устройство в первую очередь предназначено для контроля водителей больных заболеваниями сердечнососудистой системы, водителей-дальнобойщиков с целью предупреждения аварийных ситуаций на дороге.

Рассмотрим одно из запатентованных изобретений . Данное устройство снабжено регистратором ЭКГ и объемного импеданса, электроды которого интегрированы в руль транспортного средства, приемником GPS и радиопередатчиком [1].

Устройство имеет следующие достоинства: размещение датчиков не мешает водителю выполнять работу; организована передача тревожного извещения с указанием местонахождения водителя по радиоканалу.

Недостатками устройства являются: сложность конструкции; некачественное снятие сигнала из-за постоянного перемещения рук по рулю; отсутствие механизмов остановки ТС ведет к возникновению аварийных ситуаций.

Сущность изобретения поясняется структурной схемой устройства, приведенной на рис.1.

Технический результат следующего устройства заключается в упрощении и повышении надежности работы за счет минимизации используемых элементов, удобства установки датчиков на дугеоголовье с возможностью их перемещения при использовании дуги для различных типов - размеров головы.

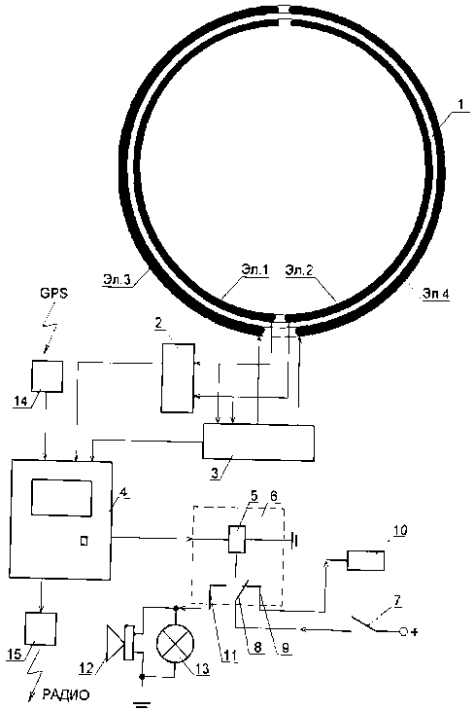


Рис. 1. Структурная схема устройства определения критического состояния водителя ТС, где 1 – руль ТС, 2 – исполнительное реле, 3 – датчик объемного импеданса, 4 – микрокомпьютер, 5 – катушка исполнительного реле, 6 – исполнительное реле, 7- клемма замка зажигания, 8 – якорь, 9 – первый контакт, 10 – прерыватель распределитель, 11- второй контакт, 12 - блок звуковой сигнализации, 13 – лампа стоп сигнала, 14 - приемник GPS, 15 – радиопередатчик.

При возникновении дремотных состояний подается звуковой сигнал, отключается двигатель и включаются лампы стоп-сигнала для информации движущихся за транспортным средством других машин. При засыпании, когда уменьшается активность коры больших полушарий, имеет место синхронизация - переход электрической активности от альфа-ритма к тета- и даже к дельта-ритму. При этом клетки мозга начинают работать синхронно: частота генерации волн уменьшается, а их амплитуда возрастает в 1,5-2 раза. Датчики могут быть установлены в любом месте пластины. В данном случае применяется биполярное отведение электродов (датчиков), которое предполагает коммутацию на входе усилителя двух активных электродов с усредненным электродом. Послед-

ний объединяет два других электрода. Биполярное отведение позволяет регистрировать разность между колебаниями электрических потенциалов под выбранными электродами [2].

На рис.2 схематично изображена схема устройства для управления механизмами двигателя при возникновении дремотных состояний.

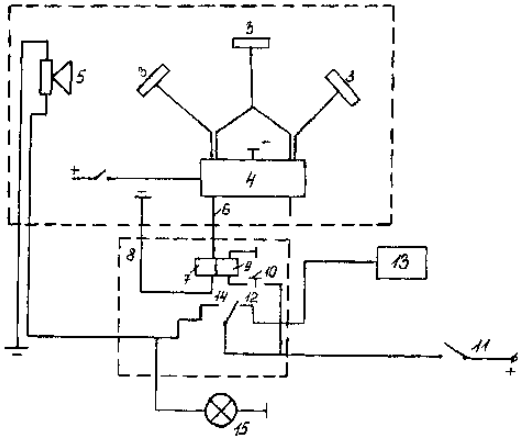


Рис. 2. Схема устройства для управления механизмами двигателя при возникновении дремотных состояний, где 3- электроды, 4 – усилитель сигнала, 5 – блок звуковой сигнализации, 6 – провод, 7 – катушка, 8 – поляризованное реле, 9 – катушка, 10 – выключатель, 11 – клемма замка зажигания, 12 – якорь, 13 – прерыватель распределитель, 14 – контакт поляризованного реле, 15 – сигнальная лампа стоп сигнала.

Рассмотренная система имеет следующие недостатки: используемый метод остановки ТС создает опасность поломки элементов трансмиссии; торможение двигателем является неэффективным способом остановки т.к. не остановит ТС за короткое время.

С учетом недостатков ранее рассмотренных примеров была разработана принципиально новая система контроля критического состояния водителя ТС. Данное изобретение также относится к технике обеспечения безопасности водителей транспортных средств и может быть использовано в системах автоматического контроля состояния водителей для предотвращения аварийного состояния. В данном случае осуществляется мониторинг состояния сердечнососудистой системы водителя ТС. Наноэлектроды для снятия сигнала размещаются на грудной клетке водителя. В качестве датчиков для съема биоэлектрического потенциала с поверхности кожи человека применяются медицинские наноэлектроды (электроды из пористой керамики с применением наночастиц серебра), разработанные в лаборатории «Медицинского приборостроения» института неразрушающего контроля ФГБОУ ВПО НИ ТПУ. Высокое качество регистрации сигнала достигается путем применения высококачественных электродов и современных электронных компонентов. Наноэлектроды из пористой керамики имеют высокие метрологические характеристики. Применение высокостабильных малошумящих неполяризующихся наноэлектродов дает возможность исключить из измерительного канала многие стандартные для такого рода приборов элементы – в первую очередь фильтры. Это позволяет снизить искажения, вносимые в тонкую структуру сигнала и повысить качество диагностики [3]. Получаемый сигнал с наноэлектродов поступает на усилитель и АЦП. Затем оцифрованный сигнал поступает на микроконтроллер , обрабатывается и передается с помощью Bluetooth на следующий микроконтроллер, который располагается на панели управления автомобиля. Микроконтроллер обрабатывает сигнал и подает сигналы управления на электронный блок управления автомобилем (ЭБУ). При возникновении критического состояния водителя через ЭБУ возможно включение режима экстренного торможения, режима автопарковки автомобиля, аварийного сигнала, стоп сигнала. Одновременно с подачей сигнала на ЭБУ, необходимая информация передается в диагностический центр, который наблюдает больного. При определенных параметрах критического состояния больного возможен вызов соответствующих служб спасения. В качестве беспроводного интерфейса передачи данных в сеть интернет рассматривается, любое доступное подключение с достаточной скоростью. В случае оснащения электрокардиографа встроенным модулем связи, предусматривается передача через GPRS/EDGE/3G связь.

Достоинствами разработанной системы являются: более эффективный и безопасный способ торможения, не повреждающий элементы трансмиссии; высокоскоростная передача данных, увеличивающая шансы на спасение человека в критической ситуации; получение устойчивого и достоверного сигнала с помощью использования наноэлектродов.

Таким образом, благодаря подобной системе, возможно не только устранение аварийной ситуации, но и ,при ее возникновении, спасение человеческой жизни.

Список литературы

1. Пат 2435681 РФ МПК *B60K28/06* , *A61B5/0295, A61B5/0402*. Устройство для контроля состояния водителя.

2. Пат 2287440 РФ МПК *B60K28/06*. Устройство для управления механизмами двигателя при возникновении дремотных и просоночных состояний оператора мобильного средства.

3. «Телемедицина, высокое разрешение, передача данных, электрокардиография, наноэлектрод»): Отчет (промежуточ.) / ТПУ.; Руководитель Лежнина И. А.. Томск, 2011. — 47 с. — Исполн. Авдеева Д. К.,Уваров А. А.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГАЗОВЫХ СРЕД

Сухарников К.В., Губарев Ф.А., Суханов В.Б.
Научный руководитель: Губарев Ф.А.
Томский политехнический университет,
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

Лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов, возбуждаемые импульсно-периодическим разрядом (ЛПМ – лазеры на парах металлов) и сегодня остаются эффективными источниками когерентного излучения видимого диапазона спектра. Благодаря уникальному сочетанию выходных характеристик ЛПМ нашли применение в промышленности, медицине и научных исследованиях [1].

Одним из основных направлений исследования в данной области является поиск новых способов накачки ЛПМ. Необходимость таких исследований обуславливается несколькими факторами. Известно, что для накачки активной среды ЛПМ традиционно применяется продольный разряд с внутренними электродами. В то же время, интерес представляет поиск новых способов создания лазерной среды, которые бы не только позволяли работать в режимах с высокими частотами следования импульсов, но и улучшили эксплуатационные характеристики лазеров, в частности повысили бы срок службы активных элементов. В этом отношении перспективными представляются ёмкостный и индукционный разряды. Ёмкостный разряд был исследован в работе [2]. В работе [3] проанализирована возможность создания различных индукционных лазеров на основе газов и твёрдых тел в диапазоне спектра от дальнего ИК до ВУФ. Приводятся результаты исследования некоторых газовых сред с возбуждением индукционным разрядом. Поэтому вполне перспективным представляется применение индукционного разряда для создания инверсии в парах металлов.

Возбуждение атомов в ЛПМ происходит в столкновениях с электронами с энергией ~3,8 эВ. В продольном электрическом поле такая энергия достигается достаточно просто. При индукционной накачке электрическое поле замыкается вокруг оси разряда, что делает затруднительным для электронов набрать энергию в несколько электрон-вольт за один оборот.

Для исследования возможности накачки лазера на парах металла (предполагается работа с бромидом меди) индукционным разрядом предложена установка, состоящая из высоковольтного источника постоянного напряжения, цепи заряда накопительной ёмкости и блока управления (рис. 1). В данной схеме реализован ступенчатый заряд основной накопительной ёмкости C_2. Такое техническое решение обусловлено необходимостью работы при напряжениях 20–40 кВ, в то время как максимальное напряжение на выходе имеющегося высоковольтного выпрямителя ВВ составляет 7 кВ. Задание требовало разработки блока запуска, контролирующего заряд конденсатора C_1 несколькими импульсами, с его последующим разрядом на индуктор $L_И$, а затем, формирование паузы для завершения переходных процессов [4]. Количество импульсов заряда для запуска тиратрона T_1 (применялись тиратроны ТГИ1-1000/25) могло изменяться от 1 до 99, количество пропущенных импульсов – от 0 до 9.

Предложенная схема формирования разряда имеет два контура возбуждения: ёмкостный и индукционный.

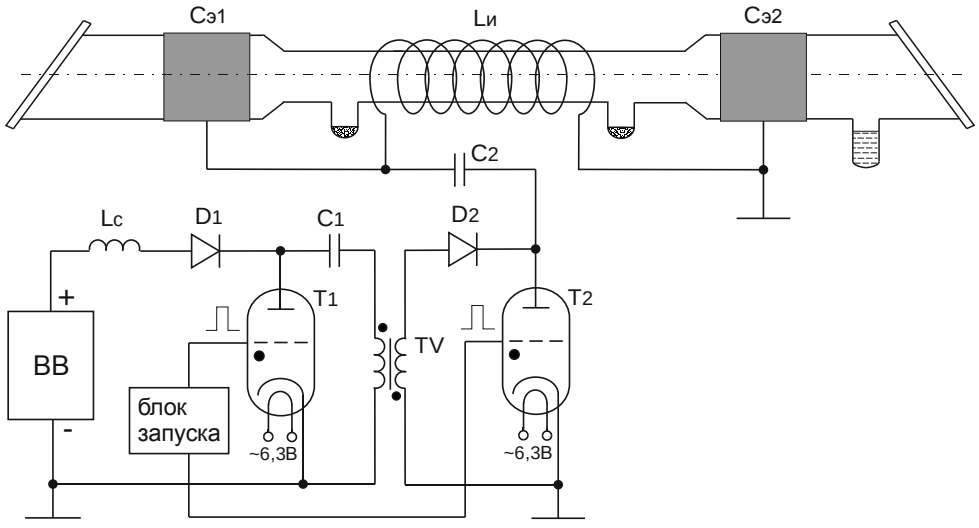
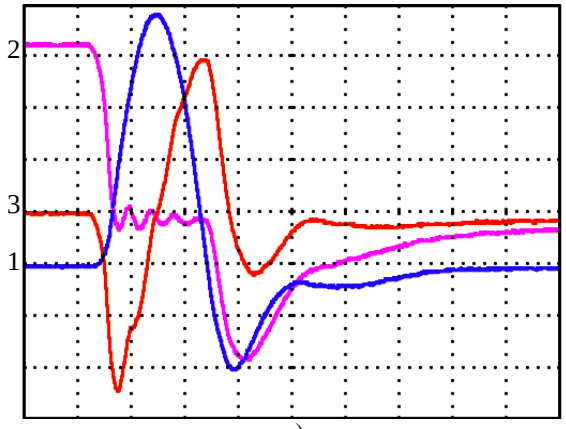


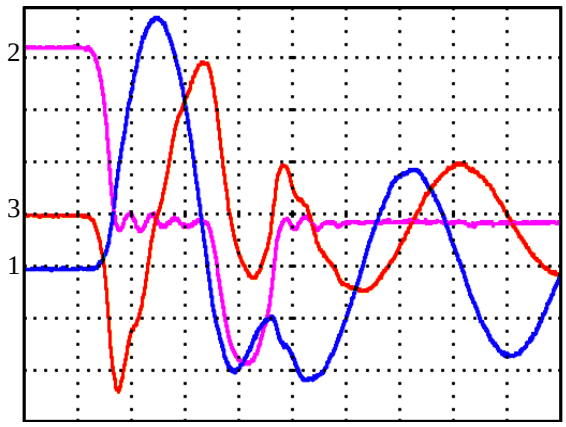
Рис. 1. Схема лабораторной установки

Возможно подключение как только индукционного возбуждения (ёмкости Сэ1 и Сэ2 отключены), так и комбинированного.

На рис. 2 приведены осциллограммы, соответствующие индукционному возбуждению, т.е. пробой плазменного канала происходит только за счёт электромагнитного поля индуктора $L_И$. Случай (а) соответствует типичному индукционному разряду, при котором только часть энергии идет в плазму, остальная часть выделяется на активном сопротивлении индуктора. Случай (б) соответствует индукционному нагреву. Происходит пробой плазмы вдоль внутренней стенки ГРТ, плазменный канал работает как вторая обмотка трансформатора, большая часть энергия передается в газовую среду.



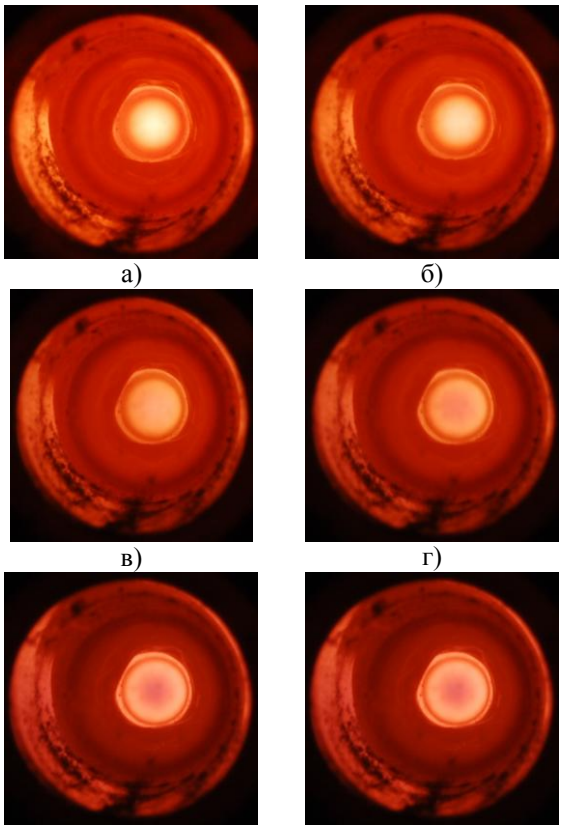
а)



б)

Рис. 2. Диаграммы тока через индуктивность $L_И$ (1) (400 А/дел), напряжение на аноде тиратрона (2) (10 кВ/дел) и напряжение на колебательном контуре (3) (10 кВ/дел). Масштаб времени — 100нс/дел.

При работе с комбинированной накачкой. электроды Сэ1 и Сэ2 включались в цепь. При увеличении напряжение на индукторе наблюдается переход преимущественно ёмкостного разряда (рис. 3, а, б) в индукционный (рис. 3, д, е). Можно предположить, что промежуточный вариант (рис. 3, в, г) имеет перспективу с точки зрения улучшения качества пучка генерации лазеров на парах металлов с ёмкостной накачкой. Продолжение данных работ станет получение индукционного и комбинированного разрядов в смеси Ne-CuBr.



а) б) в) г) д) е)

Рисунок 3. Фотографии разрядов в ГРТ

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 12-02-31811.

Литература

1. Евтушенко Г.С. Шиянов Д.В., Губарев Ф.А. Лазеры на парах металлов с высокими частотами следования импульсов. 2-е издание. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 276 с

2. Губарев Ф.А., Евтушенко Г.С. Лазеры на парах галогенидов металлов с накачкой ёмкостным разрядом. – Saarbrucken (Germany): LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 180 с.

3. Жупиков А.А., Манучарян Р.Г., Мхитарян В.М., Ражев А.М., Чуркин Д. С. Индукционные лазеры 2004–2007. // http://person.ipr.sci.am/vm/docs/Magic-Lasers_2004_2007.pdf. Дата обращения: 20.02.2013.

4. Сухарников К.В., Губарев Ф.А., Суханов В.Б. Применение индукционного разряда для накачки газовых лазеров // Сборник научных трудов II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Электронные приборы, системы и технологии» – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – С. 76–79.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МАРГАНЦА С ВНУТРЕННИМ РЕАКТОРОМ ГАЛОГЕНИДА

Тригуб М.В., Шиянов Д.В.
Научный руководитель: Евтушенко Г.С., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Институт оптики атмосферы СО РАН, 634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1
E-mail: trigub@tpu.ru

Лазеры на парах металлов (ЛПМ) в настоящее время активно вытесняются в практических применениях другими лазерами, в первую очередь твердотельными. Это связано с низкой эффективностью ЛПМ (порядка 1 %), малым сроком службы активного элемента (около 1000 часов), сложностью изготовления активных элементов, высокой стоимостью активных элементов и источников накачки [1]. Несмотря на это, существует ряд приложений, где эти лазеры остаются востребованными. В первую очередь, это неразрушающий контроль и визуализация объектов и процессов, протекающих в условиях широкополосной фоновой засветки. К системам, позволяющим наблюдать подобные процессы, относятся активные оптические системы (АОС) с усилителями яркости и метод лазерной подсветки, в котором так же возможно использование ЛПМ [2].

В большинстве работ, посвященных исследованию и применению АОС, используется активный элемент на парах меди [3] или бромида меди [4], что позволяет производить визуализацию в видимом диапазоне спектра на двух длинах волн атома меди (510,6 и 578,2 нм). Использование других активных сред на парах металлов не нашло применения, хотя возможности их использования в АОС были показаны [3].

В работе приводятся результаты исследования частотно-энергетических и усилительных характеристик лазера на парах марганца с внутренним реактором галогенида. Рассмотрена возможность применения подобных систем в качестве усилителя яркости для создания скоростных лазерных мониторов. Выбор металла обусловлен тем, что лазер на парах марганца генерирует как в видимой (λ = 534 – 554 нм), так и ИК (λ = 1.29 – 1.4 мкм) областях спектра.

Конструкция газоразрядной трубки (ГРТ) ЛПМ с внутренним реактором галогенида приведена на рис. 1. Метод основан на взаимодействии в разряде галогена 7, например (Br2), с кусочками металла 6, например (Mn), расположенными в канале 4 отпаянной ГРТ с дальнейшей диссоциацией образованного галогенида металла (MnBr) и возбуждением рабочих атомов (Mn). Ранее по такой методике была продемонстрирована генерация в парах бромида и иодида меди [5, 6].

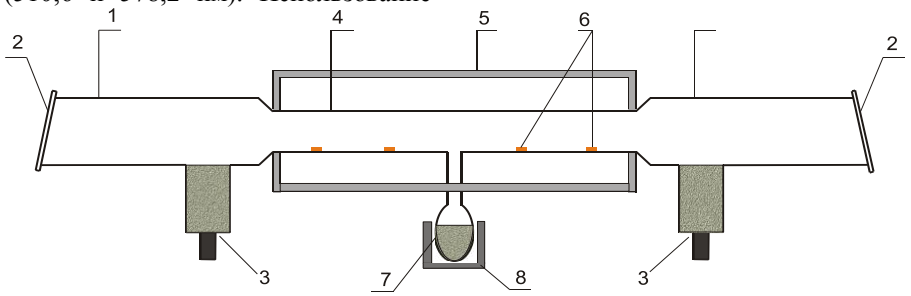


Рис. 1. Конструкция газоразрядной трубки MnBr-лазера с внутренним реактором: 1 – кварцевая трубка, 2 – выходные окна, 3 – электроды, 4 – рабочий канал, 5 – нагревательный элемент рабочей зоны, 6 – металл, 7 – генератор галогена, 8 – нагревательный элемент генератора галогена.

Такие системы простоты и безопасны в получении безводных галогенидов. В обычных лазерах на парах галогенидах металлов (ЛПГМ) рабочее вещество готовится отдельно и потом загружается в ГРТ. Появляется возможность регулирования паров галогена с низкой температурой до 150 ^{o}C, что гораздо ниже температуры контейнеров с галогенидом металла в обычных ЛПГМ - 450-550 ^{o}C. Кроме этого, возможно получение любых солей в одной ГРТ. Так же немаловажно уменьшение времени выхода лазера на рабочий режим и, в отличие от гибридных лазеров, ЛПГМ с внутренним реактором работают в отпаянном режиме.

Исследование характеристик MnBr-лазера с внутренним реактором проводилось с ГРТ диаметром 2 см и длиной 50 см. Для накачки ГРТ использовалась схема прямого разряда накопительной емкости на ГРТ с помощью таситрона ТГУ1-1000/25. Измерение электрических характеристик разряда осуществлялось с помощью датчика тока Person TM 8450, датчика напряжения Tektronics P6015A и осциллографа LeCroy Wave Jet 324. Импульсы излучения фиксировались с помощью приемника ФК-22, а мощность излучения измерителем Ophir 20C-SH. В работе измерялась суммарная по ИК и видимой области спектра мощность генерации.

Поведение мощности генерации от температуры стенки ГРТ показало, что эффективное образование соли MnBr, необходимое для достижения максимума выходной мощности лежит в области 780-800 ^{o}C, что значительно превышает рабочие температуры CuBr (650-700 ^{o}C) и тем более CuI (450-600 ^{o}C) лазеров с внутренним реактором.

Оптимальное давление буферного газа Ne составило 25-30 торр, что соответствует давлениям как стандартных ЛПГМ, так и лазеров на парах галогенидов меди с внутренним реактором. Увеличение мощности накачки от 500 до 1200 Вт приводило к росту суммарной мощности излучения до 1 Вт. К сожалению, по средней мощности излучения и КПД этот лазер уступает своему медному аналогу.

Следует особо отметить, что в представленной работе впервые в регулярных импульсах достигнута частота следования импульсов (ЧСИ) 100 кГц для лазера на парах марганца. На рис. 2 показана частотная зависимость выходной мощности. Видно, что оптимальная ЧСИ, при которой мощность излучения максимальна, - 20 кГц, соответствует оптимальной частоте лазера на парах галогенида меди [5, 6].

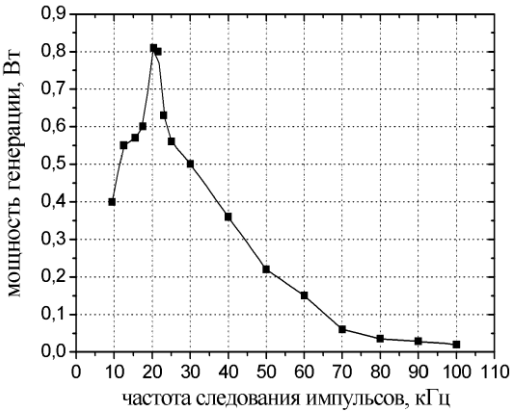


Рис. 2 Зависимость средней мощности генерации от ЧСИ накачки

Помимо частотно-энергетических характеристик, проведены исследования усилительных характеристик. Получена зависимость эффективного однопроходового усиления от температуры генератора галогена. Исследования показали, что эффективное усиление несколько ниже, чем для активной среды на переходах атома меди с внутренним реактором галогена [7]. Продемонстрирована возможность создания АОС с использованием подобных усилителей яркости (Рис. 3). При этом, визуально, качество изображения получилось несколько хуже, чем при использовании усилителя на парах переходах атома меди. Возможно, это связано с неоптимальными условиями работы активного элемента и, в дальнейшем потребуется оптимизация режима работы с целью улучшения качества изображения.

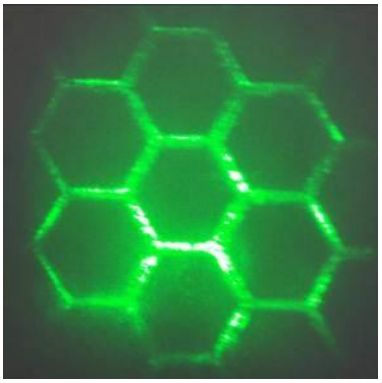


Рис. 3 Изображение металлической сетки, расстояние между гранями 0.75 мм, полученное в лазерном проекционном микроскопе, с усилителем яркости на основе активной среды лазера на парах бромида марганца с внутренним реакторомгалогенида.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №7.586.2011, РФФИ, грант № 12-02-31811

Сптисок литературы

1. Григорьянц А.Г., Казарян М.А., Лябин Н.А. Лазеры на парах меди: конструкция, характеристики и применение. М.: Физматлит, 2005.
2. Евтушенко Г.С. Шиянов Д.В., Губарев Ф.А. Лазеры на парах металлов с высокими частотами следования импульсов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 276 с.
3. Пасманик Г.А., Земсков К.И., Казарян М.А. и др. Оптические системы с усилителями яркости. / ИПН АФ СССР. Горький, 1988. 173 с.
4. Тригуб М.В., Евтушенко Г.С., Губарев Ф.А., Торгаев С.Н., Земсков К.И. Наблюдение объектов в условиях мощных фоновых засветок // Современные средства диагностики плазмы и их применение: материалы конференции VIII Российской конференции. – Москва: НИЯУ МИФИ. – 2012. – С. 117-120.
5. Губарев Ф.А., Шиянов Д.В., Ткаченко Н.Ю. Частотно-энергетические характеристики лазера на парах бромида меди с внутренним реактором галогенида // Современные техника и технологии СТТ'2010: Труды XVI международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых / ТПУ. Томск: Издательство ТПУ. 2010. Т.1. С. 184–186.
6. Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Ткаченко Н.Ю. Лазер на парах иодида меди с внутренним реактором // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т.25. №8. С.721 -726.
7. Тригуб М.В., Шиянов Д.В., Евтушенко Г.С. Усилительные характеристики активного элемента лазера на парах хлорида меди с внутренним реактором // Известия ВУЗов. Сер. Физика. – 2012.– Т.55. – №10.–с.46 – 50

КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕРКИ МАГНИТОМЕТРОВ ИНКЛИНОМЕТРА

Ульянов И.А
Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
ООО ″ТомскГАЗПРОМгеофизика″, г. Томск, ул. Фрунзе 77
E-mail: gormakov@tpu.ru

В нефтедобывающей промышленности в процессе бурения эксплуатационных или поисково-разведочных скважин глубиной до 3500 метров для решения навигационной задачи часто применяется система инклинометрическая буровая СИБ-2 с электромагнитным каналом связи. СИБ-2 предназначена для измерения в процессе бурения азимута, угла установки отклонителя и зенитного угла ствола наклонно-направленной или горизонтальной скважины. Чувствительными элементами инклинометра (рис.1) являются три акселерометра и три магнитометра ортогонально расположенных в одном корпусе.



Рис. 1. Блок чувствительных элементов инклинометра

В процессе выполнения работ по телеметрическому сопровождению строительства скважин на месторождении возникает необходимость проверить работоспособность чувствительных элементов входящих в состав инклинометрических датчиков.

Перевозка инклинометров с кустовых площадок буровых работ для поверки на базу технического обслуживания экономически невыгодна, а иногда просто невозможна. Качество работы акселерометров оценить не составляет труда, для этого необходим оптический квадрант. Проверку магнитометров, в условиях месторождения силами телеметрической партии, должен обеспечить, предлагаемый комплекс [1].

Комплекс позволяет в полевых условиях осуществить проверку соответствия действительных характеристик магнитометров инклинометра паспортным.

Это достигается путем базирования в установке комплекса, определенным образом, проверяемого инклинометра и поочередно воздействуя на его магнитометры постоянным магнитным полем известной величины и направления создаваемым кольцами Гельмгольца и катушкой.

Комплекс (рис.2) состоит из установки для проверки магнитометров 1, блока управления (БУ) 2, кабеля 3. На призмы установки базируется датчик 4 с чувствительными элементами и подключается к блоку коммутации (БК) 5, который входит в состав системы инклинометрической. Через блок коммутации на персональный компьютер в специальном программном обеспечении выводятся данные с датчика.

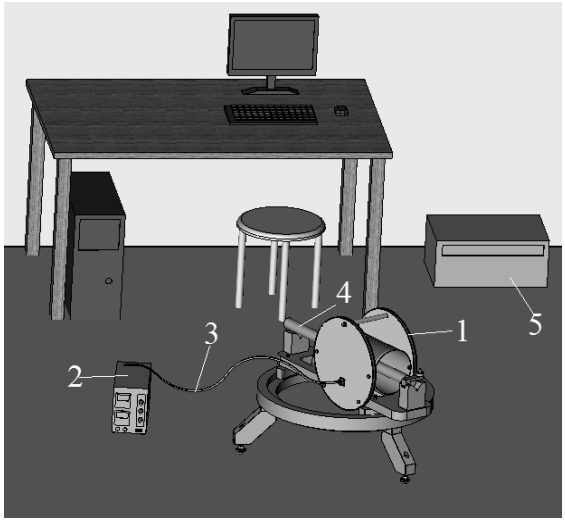


Рис. 2. Общий вид комплекса для проверки магнитометров

Установка для проверки магнитометра (рис. 3) имеет три регулируемые по высоте опоры 1 для выставки рамы в горизонтальное положение. Регулируемые опоры крепятся винтами к нижнему кольцу 2 подшипника. Рама 3 с колодками представляет собой верхнее кольцо подшипника. Такая конструкция позволяет вращать раму в горизонтальной плоскости. На раме установлены две призмы 4 для базирования инклинометра. Одна из призм является сменной, что дает возможность проверять магнитометры разных типов инклинометров. На раме закреплен источник магнитного поля, состоящий из колец Гельмгольца 5 и катушки 6. На источнике магнитного поля расположен разъем 7 для запитывания колец и катушки через кабель от блока управления. Все детали установки комплекса изготовлены из немагнитных материалов.

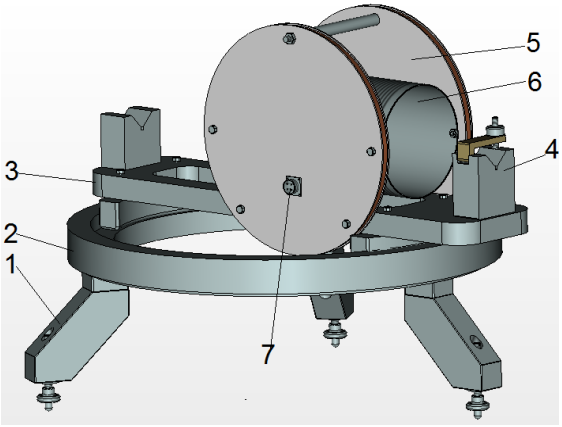


Рис. 3. Основные элементы установка:
1- регулируемая опора; 2- кольцо подшипника; 3- рама; 4 - сменная призма с прижимной скобой; 5 - кольца Гельмгольца; 6 - катушка; 7- разъем

Блок управления конструктивно выполнен в переносном исполнении. На передней панели расположены органы управления и жидкокристаллический дисплей. На задней стенке расположено гнездо для соединения кабелем с установкой и сетевой шнур для питания от промышленной электрической сети.

Блок управления обеспечивает питание обмоток колец Гельмгольца и катушки, а так же позволяет осуществлять контроль задаваемого тока и напряжения.

Технические характеристики комплекса:

Погрешность отклонения магнитных силовых линий поля создаваемого катушкой относительно механической оси базирования инклинометра на призмах в установке не более 1°;

Погрешность отклонения магнитных силовых линий поля создаваемого кольцами Гельмгольца от перпендикулярности относительно механической оси базирования инклинометра на призмах в установке не более 1°;

Создаваемое магнитное поле:

- кольцами Гельмгольца от 40 до 70 мкТл с шагом 1 мкТл для магнитометров по осям «X» и «У» инклинометра;

- катушкой от 40 до 70 мкТл с шагом 1 мкТл для магнитометра по оси «Z» инклинометра;

Выставка рамы в горизонтальное положение с погрешностью не более 0,5°;

Контроль задаваемого тока и напряжения на кольцах Гельмгольца и катушке с погрешностью 1%;

Электропитание комплекса осуществляется от промышленной сети переменным однофазным напряжением 220 В ±10%, частотой 50 ±10% Гц.

Суммарная электрическая мощность, потребляемая комплексом не более 100 Вт.

Масса и габаритные размеры составных частей комплекса должны соответствовать таблице 1.

Таблица 1

Краткое обозначение	Масса, кг	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм
Установка в сборе	17	650	640	360
БУ	2	320	250	150
Кейс транспортировочный	9.5	690	590	460

По общим требованиям безопасности комплекс соответствует ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.2.007.0–75, ГОСТ12.2.061–81.

По способу защиты от поражения электрическим током система КПМИ-0112 соответствует классу 01 ГОСТ 12.2.007.0–75.

Комплекс не содержит опасных и вредных факторов, влияющих на обслуживающий персонал, и не оказывает вредного воздействия на окружающую среду.

Заключение

Используя такой комплекс и специально разработанную методику, появляется возможность осуществлять проверку работоспособности и делать выводы о достоверности показаний магнитометров инклинометра в условиях присутствия магнитных помех непосредственно на буровой площадке (вагон-доме).

Применение в комплексе колец Гельмгольца и катушки, а так же высокая точность базирования проверяемого инклинометра, позволяет значительно снизить массогабаритные характеристики.

Благодаря применению сменных призм, достигается возможность использования комплекса практически с любыми типами инклинометров применяемых в современных телеметрических системах.

Данный комплекс обладает сравнительно низкой стоимостью и простотой в использовании, что дает возможность оснастить все телеметрические партии таким устройством.

Список литературы

1. Пат. на полезную модель. № 124790. Россия, МПК G01C25/00. Комплекс для проверки магнитометров инклинометра/И.А. Ульянов, А.Н Гормаков, А.В. Федулов. - №2012128274/28; заявл. 03.07.2012; Опубл. 10.02.2013. Бюл. № 4; Приоритет 03.07.12.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК*

Ходыревская Ю.И., Квасников К.Г.
Научный руководитель: Болотина И.О., к.т.н, доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aiger2350@yandex.ru

Все большее количество отраслей промышленности, требующих для диагностики своих продуктов современных средств неразрушающего контроля, стремится к постоянному улучшению производительности контроля.

Основой любой ультразвуковой системы (промышленной или медицинской) является преобразователь, который излучает или принимает ультразвуковые волны и преобразует полученную акустическую информацию в электрические сигналы. После специальных методов обработки электрических сигналов на экране монитора можно увидеть визуализируемые изображения объектов контроля [1].

Пьезокерамические преобразователи, применяемые в различных областях, имеют различную конструкцию, форму и структуру рабочей поверхности: от простейших плоских одноэлементных преобразователей до сложных многоэлементных антенных решеток.

Фазированные антенные решетки (ФАР) содержат от 16 до 256 отдельных элементов, каждый из которых является независимо управляемым.

Основным преимуществом ФАР по сравнению с одиночными преобразователями является их способность направлять и фокусировать ультразвуковой луч в любой точке в пределах зоны контроля, которая зависит от свойств преобразователя, таких как размер отдельных элементов, активной апертуры, геометрическими формами преобразователей [2].

Для технической реализации таких решеток необходимо разделять апертуру датчика, чтобы обеспечить устранение дополнительных шумов. Элементы массива с характеристиками точечных источников имеют небольшие размеры – порядка ($\lambda/2$ x $\lambda/2$). Таким образом, их мощность слишком мала для эффективной передачи и приема ультразвука, в случае использования пьезоэлектрического материала. Такие датчики уже не могут удовлетворить все возрастающие требования производителей по скорости и достоверности контроля.

В связи с этим, целью исследования является разработка новой конструкции линейной ультразвуковой фазированной решетки с эффективными точечными элементами.

Известно [3], что физика работы ФАР основана на принципах волновой физики. Изменяется время между серией исходящих ультразвуковых импульсов таким образом, что отдельные волновые фронты, созданные каждым элементом решетки, сочетаются друг с другом и позволяют эффективно управлять и формировать звуковой луч.

Импульсный генератор создает короткий импульс или серию импульсов с известной амплитудой и длительностью, которые производят физические колебания в датчике. Они распространяются в любой соседней среде в виде акустических волн. Генераторы импульсов, как правило, разработаны с возможностью изменения амплитуды в режиме реального времени, чтобы была возможность повлиять на уровень итогового сигнала в электронном блоке системы контроля [4].

Формирование луча относится к процессу регулировки задержки в электрических сигналах между отдельными элементами массива для того, чтобы сфокусировать акустический луч на заданной глубине и в определенной точке зоны контроля (рис. 1). Для достижения этой цели, сигналы должны быть отрегулированы как в ходе передачи, так и во время приема сигнала.

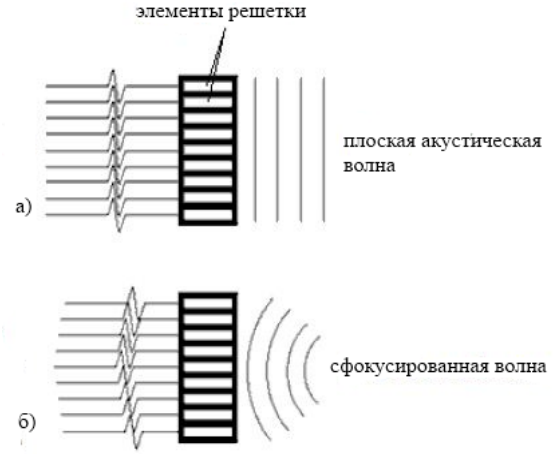


Рис. 1. Распространение сигнала в фазированных решетках: а) без задержки импульсов, б) с задержкой импульсов.

Существует три эффективных технических способа создания точечных источников фазированной решетки: укладка пьезослоев с помощью склеивания, обратное фокусирование с помощью линзы и спекание пьезослоев. Последний способ требует достаточно больших финасовых вложений в технологию производства. При склеивании слоев элементы могут располагаться без необходимости свободного пространства между двумя соседними элементами, в то время как точечные источники, созданные на основе линзы, нуждаются в расстоянии между ними около двух длин волн.

На рис. 2 показана структура с электрическими соединениями. Пьезоструктура состоит из трех отдельных слоев, частота которых в три раза выше, чем частота всей структуры. Таким образом, толщина одного слоя примерно в три раза меньше. В качестве грубой оценки можно ожидать увеличение мощности в 9 раз. Эта оценка является основной идеей для укладки трех пьезоэлектрических слоев [5].

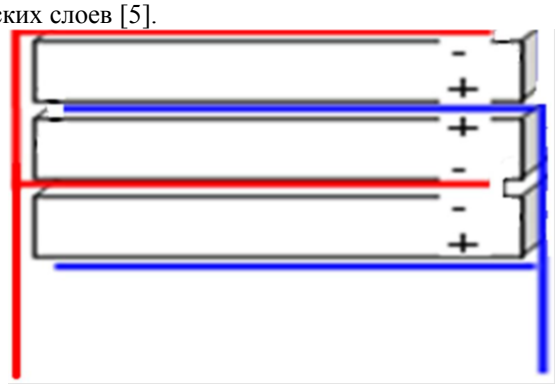


Рис. 2. Схема укладки пьезослоев.

Пьезоэлектрические элементы, образующие структуру ФАР, должны обладать высокими колебательными свойствами. Колебательные характеристики и чувствительность пьезоэлементов должны быть одинаковыми в ограниченной области. Риск недостаточного обеспечения производительности решетки требует автоматической шлифовки пьезокерамики. На рис. 3 показаны результаты исследований колебательных характеристик при ручной и автоматической шлифовки пьезоструктур.

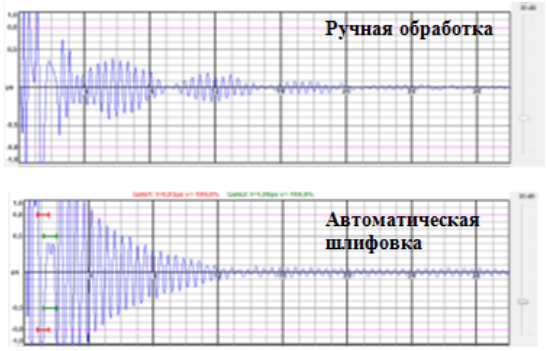


Рис. 3. Колебательные характеристики пьезоструктуры при ручной и автоматической шлифовке.

Для разрезания пьезокерамических пластин были выбраны 2 способа: с помощью пилы и лазера. Работоспособность изготовленой конструкции преобразователя исследовалась на прием и передачу сигнала в воде. Полученные осциллограммы представлены на графиках на рис. 4 . Результаты показали, что резка лазером дает лучшую чувствительность по приему и передаче сигнала пластиной.

Следующим шагом в процессе изготовления новой конструкции ФАР являлась пайка пластин. Для этого были использованы два сплава – Вуда и Розе.

В итоге был получен опытный образец ультразвуковой ФАР, состоящей из 8 элементов. Однако при исследовании колебательных характеристик такой решет все элементы имели довольно большой разброс значений по амплитудам колебаний (см. рис. 4).

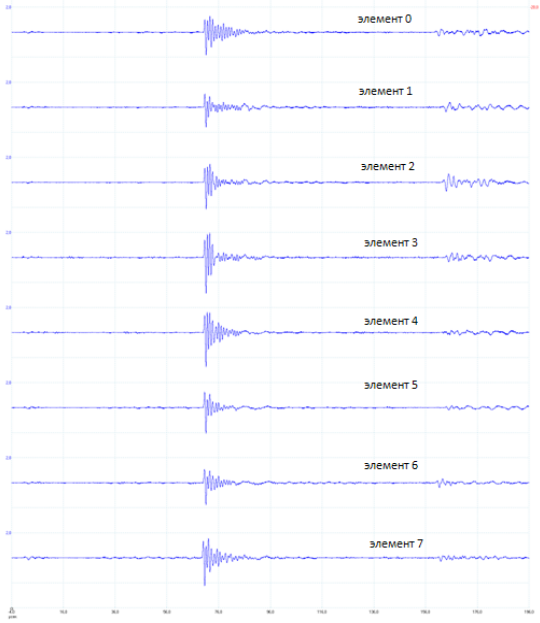


Рис. 4. Осциллограммы напряжений отдельных элементов решетки при приеме УЗ сигнала.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что предложенная технология изготовления конструкции ФАР имеет существенные недостатки. В дальнейшем планируется улучшение предложенной технологии путем применения автоматических средств для резки и пайки пьезоструктур.

Список литературы:

1. L. Lay, H. Susan. Design and manufacture of a high-frequency annular array ultrasound system for medical imaging. Kingston, Ontario, Canada: Queen's University, 2011. – 158 p.

2. Y.-F. Chang, C.-C. Chern. Frequency-wavenumber migration of ultrasonic data. Taiwan: Journal of Nondestructive Evaluation, 2006. – 25 p.

3. T. Nelligan, D. Kass. Introduction to phased array. [Electronic resource]. Olympus. Access mode: http://www.olympus-ims.com/ru/ultrasonics/intro-to-pa/.

4. C. Krebs, C. Odwin, A. Fleischer. Appleton &Lange's review for the ultrasonography examination: McGraw-Hill Prof., 2004. - 672 p.

5. M. Kroening Linear sparse Aarays – design and technology, Technical report, 2012. – 13 p.

* Работа выполнена по гос. заданию «Наука», тема № 0.1146.2013.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ ОТ ВЕСОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛИ В ВОДЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВАННЕ

Чапайкина А. В.
Научный руководитель: Вавилов Г. В., старший преподаватель
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: anastasija.ch@sibmailcom

Кабель (от голландского Kabel – канат, трос) электрический – один или несколько изолированных проводников, заключенных в герметичную оболочку, поверх который, как правило, накладываются защитные покровы.

По **назначению** кабельные изделия можно подразделить на следующие группы:

- Кабели и провода высокого напряжения;
- Кабели, провода и шнуры низкого напряжения;
- Радиочастотные кабели;
- Обмоточные провода.
- Кабели связи [1].

Одним из важнейших параметров кабелей связи, определяющим качество передачи информации, является его емкость.

Кабель представляет собой цилиндрический конденсатор, одной обкладкой которого является токопроводящая жила, а второй – металлическая оболочка. Емкость кабеля рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_r \varepsilon \cdot l}{\ln \frac{R_2}{R_1}},$$

где ε - относительная диэлектрическая проницаемость изоляционного материала;

ε_0 - постоянная диэлектрическая проницаемость, Ф/м;

l - длина кабеля, м;

R_2 - диаметр внешнего проводника, мм;

R_1 - диаметр внутреннего проводника, мм.

Кроме того, по значению емкости можно судить о геометрических параметрах кабеля: диаметре изоляции, толщине изоляции, эксцентричности и т.д.

ГОСТ 27893-88 [2] регламентирует порядок проведения выходного контроля, но тогда нет возможности контролировать емкость по всей длине кабеля. Чтобы устранить этот недостаток, лучше измерять емкость непосредственно в процессе производства, на стадии нанесения изоляции.

На выходе из экструдера кабель ещё не имеет второго электрода. В качестве этого электрода можно использовать воду охлаждающей ванны, в которую помещается кабель сразу после нанесения изоляции.

Метод измерения.

Для измерения емкости кабеля используется измерительная трубка, внутри которой находится контролируемый кабель. Воздушный зазор этой трубки заполняется водой, создавая электрический контакт между измеряемой трубкой и оболочкой кабеля. Один конец кабеля заземляется, а другой остается свободным. Данный метод приведен на рисунке 1.

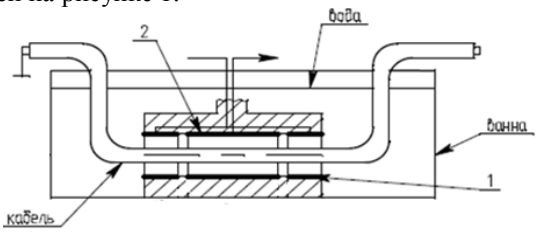


Рисунок 1. Метод измерения емкости
1 – электрод питания, 2 – рабочий электрод.

Структурная схема эксперимента приведена на рисунке 2.

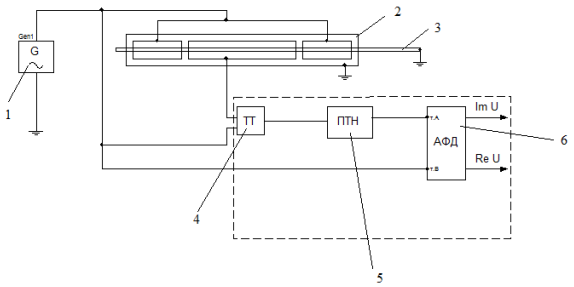


Рисунок 2. Структурная схема
1 – генератор; 2 – измерительная трубка;
3 – кабель; 4– трансформатор тока;
5 – преобразователь ток-напряжения (ПТН);
6 – амплитудно-фазовый детектор (АФД).

Измеряемое значение емкости в измерительной трубке преобразуется в значение силы тока. С помощью ПТН ток преобразуется в напряжении, который подается на АФД. На выходе АФД получаем реальное и мнимое значение напряжения.

Объектами контроля является 7 образцов кабелей с разной погонной емкостью в интервале от 160 пФ/м до 460 пФ/м, действительное значение емкости которых измеряется с помощью иммитанса АМ-3001, методом, регламентированным в ГОСТе 27893-88 [2].

Одним из влияющих факторов при измерении емкости является значение электропроводности воды, которая в частности зависит от концентрации соли.

Цель эксперимента: исследовать влияние электропроводности воды на результат измерения емкости. Для этого был проведен эксперимент при разной концентрации поваренной NaCl соли: 0, 1 г/л и 2 г/л. Результаты эксперимента приведены на рисунке 3.

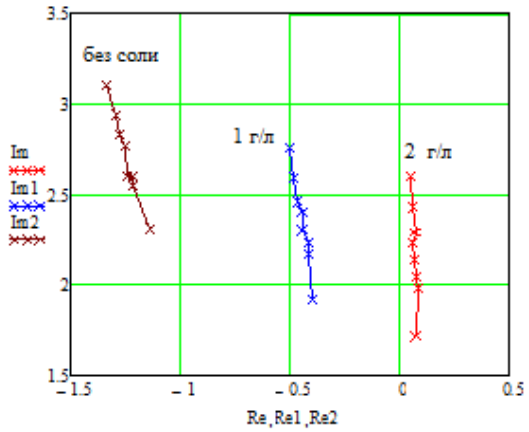


Рисунок 3. Годографы сигнала элетроемкостного измерительного преобразователя от изменения емкости кабеля и весовой концентрации соли в воде

По данным годографам можно сделать вывод о значительном влиянии концентрации соли на результат измерения. От значения концентрации соли зависит угол наклона кривой φ.

На рисунке 4 приведены зависимости измеренного амплитудного значения напряжения от емкости кабеля при различной весовой концентрации соли в воде, полученные опытным путем.

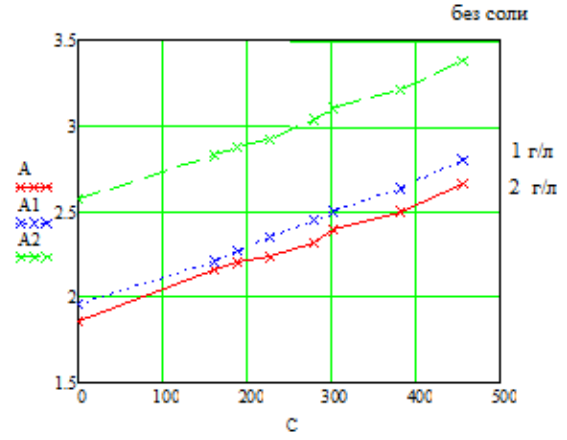


Рисунок 4. Зависимость амплитудного значения напряжения от емкости кабеля и солености воды

В дальнейшем по значению напряжения необходимо определить значение неизвестной емкости кабеля, поэтому на рисунке 5 представлена функция обратного преобразования значения напряжения в значение емкости, строим график.

Анализ результатов, представленных на рисунке 5, показывают, что для определения погонной емкости можно использовать следующую функцию преобразования:

$$C = C_0(\varphi) + k(\varphi) \cdot A,$$

где C_0 - начальная емкость;

k - коэффициент пропорциональности;

φ - угол наклона кривой (на рисунке 3)

$C_0(\varphi)$ и $k(\varphi)$ - являются функциями солености воды.

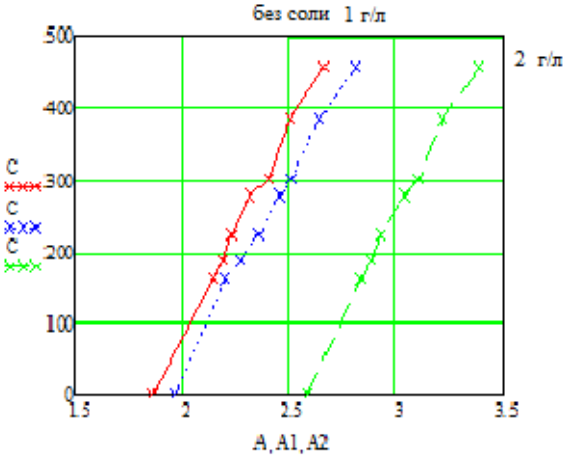


Рисунок 5. Функция обратного преобразования значения напряжения в значение емкости

Математическими средствами получены аналитические выражения $C_0(\varphi)$ и $k(\varphi)$. На основе этих выражений были построены зависимости (рисунок 6).

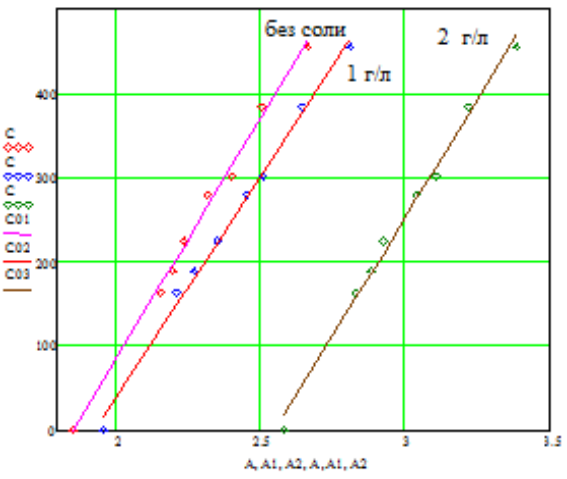


Рисунок 6. Зависимость аналитических выражений для соответствующей концентрации соли от экспериментальных значений измеренной емкости

Отклонение значения численного метода определения погонной емкости от экспериментальных данных составляет не более 5%, при условии учёта концентрации соли в воде

Литература

1. Укстин Э. Ф. Измерение характеристик кабелей электросвязи. – М. ;Энергия, 1967. – 248 с.
2. ГОСТ 27893-88 «Кабель связи. Методы испытаний»

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНДУКТИВНО-РЕЗИСТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОД-НАПРЯЖЕНИЕ

Чебуренко Д.С.
Научный руководитель: Ким В.Л., д.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: denleader@mail.ru

В измерительной и вычислительной технике, системах управления широко используются многозначные меры переменного напряжения (ММПН). Такие меры необходимы для проведения поверки, калибровки и испытаний точных устройств, приборов, комплексов и систем. Из известных методов построения ММПН в настоящее время наиболее часто применяют метод линейного преобразования напряжения однозначной меры (генератора с постоянной амплитудой выходного напряжения) в ряд дискретных уровней напряжения той же частоты. Очевидно, что частотный диапазон сигнала, воспроизводимого генератором, является одним из основных факторов, влияющих на выбор масштабного преобразователя (делителя напряжения). Правильное проектирование последнего невозможно без учета обеспечения требуемого динамического диапазона ММПН, который у современных мер равен 120…140 дБ.

В частотном диапазоне до нескольких десятков килогерц в качестве кодоуправляемых делителей напряжения наиболее приемлемыми являются резистивные преобразователи код-напряжение (РПКН) и индуктивные преобразователи код-напряжение (ИПКН). В качестве РПКН в основном применяются интегральные умножающие ЦАП с выходом по напряжению.

Недостатком таких ЦАП является низкий допустимый уровень входного (опорного) напряжения (несколько единиц вольт) и малая разрядность (до 16 бит). В отличие от этого в ИПКН сравнительно просто можно обеспечить разрядность до 30 бит или 7 декад при входных напряжениях до 300 В [1]. Однако ИПКН характеризуются большими массогабаритными показателями и низким быстродействием. В связи с этим значительный интерес представляет функциональное объединение РПКН и ИПКН [1, 2]. Такие преобразователи, как правило, строятся по двухканальной структуре. В основном канале используется ИПКН, а в дополнительном – РПКН.

На рис. 1 приведена функциональная схема индуктивно-резистивного преобразователя код-напряжение (ИРПКН) [3]. По такой схеме строятся многие зарубежные преобразователи, используемые в мостовых измерениях.

ИРПКН представляет собой 22-х разрядный двоичный преобразователь, содержащий 10-ти разрядный ИПКН и 16-ти разрядный умножающий ЦАП с числом эффективных разрядов равным 12.

ИПКН выполнен по двухступенчатой технологии на двух сердечниках *TV*1 и *TV*2. На первом жгутом из 17 проводов выполнена намагничивающая обмотка *L*3, на двух – первая и вторая восьмеричные обмотки *L*1, *L*2 жгутами из 8 проводов. Коммутация отводов обмоток производится контактами электромагнитных реле, входящими в блоки реле 1, 2.

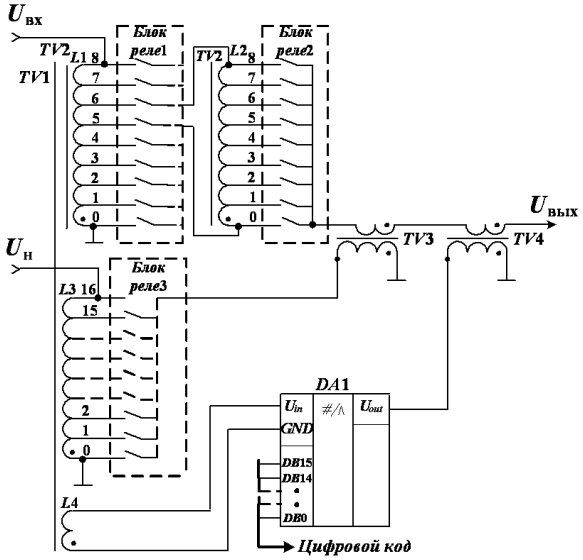


Рис.1. Функциональная схема ИРПКН

Как видно из рис. 1, 7 − 10 разряды ИПКН реализуются обмоткой *L*3, отводы которой коммутируются контактами реле блока реле 3 и первым сумматором, выполненном на двухобмоточном трансформаторе *TV*3 с коэффициентом трансформации 1:64. Другой сумматор на трансформаторе *TV*4 с коэффициентом трансформации 1:320 используется в дополнительном канале, состоящим из 16-ти разрядного умножающего ЦАП *DA*1, на вход которого поступает напряжение с коэффициентом трансформации 40:128 с отдельной обмотки *L*4, намотанной на первом сердечнике.

Заметим, что при практической реализации ИРПКН входное напряжение $U_{вх}$ и намагничивающее напряжение $U_{н}$ должны быть синфазны и часто выбирают $U_{вх} = U_{н}$.

Выходное напряжение устройства снимается с высопотенциального отвода вторичной обмотки второго сумматора и для него можно записать следующее выражение: $U_{вых} = K_{п}U_{вх} + U_{вых0}$,

где $K_{п}$ – общий коэффициент передачи устройства; $U_{вых0}$ – аддитивная погрешность.

Заметим, что аддитивная погрешность обусловлена в большей степени напряжением прямо-

го прохождения на выходе двухоктального индуктивного делителя *L*1, *L*2, т.е. падением напряжения на контактах реле и соединительных проводах.

Проведем анализ мультипликативной погрешности устройства.

Для коэффициента передачи устройства запишем:

$$K_{\text{п}} = K_1K_2 + K_3K_6 + K_4K_5K_7 \ ,$$

где K_1 – коэффициент передачи первого каскада индуктивного делителя; K_2 – коэффициент передачи второго каскада индуктивного делителя; K_3 – коэффициент передачи третьего каскада индуктивного делителя; K_4 – коэффициент трансформации отдельной обмотки *L*4; K_5 – коэффициент передачи цифроаналогового преобразователя; K_6 – коэффициент передачи первого сумматора; K_7 – коэффициент передачи второго сумматора.

Отсюда определим относительную погрешность:

$$\delta K_{\text{п}} = \frac{K_{\text{н}1}K_{\text{н}2}(\delta_1+\delta_2)+K_{\text{н}3}K_{\text{н}6}(\delta_3+\delta_6)}{K_{\text{н}1}K_{\text{н}2}+K_{\text{н}3}K_{\text{н}6}+K_{\text{н}4}K_{\text{н}5}K_{\text{н}7}} + \frac{K_{\text{н}4}K_{\text{н}5}K_{\text{н}7}(\delta_4+\delta_5+\delta_7)}{K_{\text{н}1}K_{\text{н}2}+K_{\text{н}3}K_{\text{н}6}+K_{\text{н}4}K_{\text{н}5}K_{\text{н}7}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{н}1}$, δ_1 – номинальный коэффициент передачи и относительная погрешность коэффициент передачи первого каскада индуктивного делителя;
$K_{\text{н}2}$, δ_2 – номинальный коэффициент передачи и относительная погрешность коэффициент передачи второго каскада индуктивного делителя;
$K_{\text{н}3}$, δ_3 – номинальный коэффициент передачи и относительная погрешность коэффициент передачи третьего каскада индуктивного делителя;
$K_{\text{н}4}$, δ_4 – номинальный коэффициент трансформации и относительная погрешность коэффициента трансформации отдельной обмотки;
$K_{\text{н}5}$, δ_5 – номинальный коэффициент передачи и относительная погрешность коэффициент передачи цифроаналогового преобразователя;
$K_{\text{н}6}$, δ_6 – номинальный коэффициент передачи и относительная погрешность коэффициент передачи первого сумматора;
$K_{\text{н}7}$, δ_7 – номинальный коэффициент передачи и относительная погрешность коэффициент передачи второго сумматора.

С учетом $K_{\text{н}6}$ = 1/65 = 0,015 и $K_{\text{н}7}$ = 1/320 = 0,003 формула (1) преобразуется к виду:
$\delta K_{\text{п}} = \delta_1 + \delta_2$.

Таким образом, при больших значениях коэффициента передачи, т.е. $K_{\text{н}1} \neq 0$ и $K_{\text{н}2} \neq 0$ погрешность устройства определяется в основном погрешностями старших делительных обмоток.

При работе третьего каскада (обмотка *L*3) старшие каскады устанавливаются в нулевое состояние, т.е. $K_{\text{н}1} = 0$ и $K_{\text{н}2} = 0$. Выражение для погрешности имеет вид:

$$\delta K_{\text{п}3} = \frac{K_{\text{н}3}K_{\text{н}6}(\delta_3+\delta_6)+K_{\text{н}4}K_{\text{н}5}K_{\text{н}7}(\delta_4+\delta_5+\delta_7)}{K_{\text{н}3}K_{\text{н}6}+K_{\text{н}4}K_{\text{н}5}K_{\text{н}7}}.$$

При $K_{\text{н}4}$ = 40/128 = 0,3 и $K_{\text{н}7}$ = 0,003 эта формула упрощается: $\delta K_{\text{п}3} = \delta_3 + \delta_6$.

Отсюда следует, что погрешность устройства зависит от погрешности третьего каскада.

В случае установки коэффициента передачи ИПКН, равным нулю, т.е.

$K_{\text{н}1} = 0$, $K_{\text{н}2} = 0$ и $K_{\text{н}3} = 0$ получим выражение погрешности: $\delta K_{\text{п}5} = \delta_4 + \delta_5 + \delta_7$.

Таким образом, погрешности звеньев дополнительного канала суммируются, но наиболее значимой является составляющая, обусловленная ЦАП. Как известно, максимального значения эта погрешность достигает при минимальном значении коэффициента передачи и может быть равной 100 %. Поэтому для уменьшения этой погрешности в рассматриваемом устройстве и выбран 16-ти разрядный ЦАП, вместо 12-ти разрядного.

При малых значениях коэффициента передачи, несмотря на принятые меры по уменьшению мультипликативной погрешности, погрешность ИРПКН может быть значительной. Обусловлено это ростом влияния аддитивной погрешности $U_{\text{вых}0}$ – второе слагаемое в формуле (1). В общем случае другими составляющими этого напряжения являются шумы, внешние и внутренние наводки. Очевидно, что аддитивную погрешность сильно зависящую от конструкции, экранирования и других факторов, трудно рассчитать как аналитическими, так и машинными методами. Поэтому наиболее приемлем экспериментальный метод определения аддитивной погрешности. Так как эти данные отсутствуют в [3], то оценить погрешность устройства при малых коэффициентах передачи затруднительно. Другой проблемой, указанной в работе [3], но не решенной в ней, является частотная погрешность. Несмотря на это, рассмотренный принцип построения ИРПКН и его модификации весьма перспективен, так как позволяет строить высокоточные линейные преобразователи код-напряжение с приемлемыми массогабаритными показателями и быстродействием.

Улучшить метрологические характеристики ИРПКН можно следующими путями: использование известных [1] и поиск новых способов снижения аддитивной погрешности, многоканального принципа построения ИПКН для расширения частотного диапазона, сопровождаемых математическим моделированием и экспериментальными исследованиями.

Список литературы

1. Ким В.Л. Индуктивные делители напряжения. Основы, концепции, методы, применение. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co. KG, 2012. 258 с.

2. Ким В.Л., Меркулов С.В. Кодоуправляемые индуктивно-резистивные делители напряжения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 1. С. 42–45.

3. Melcher J. Programmable Precision IVD for the Audio Frequency Range // IEEE Trans. on Instrum. and Meas. 1993. Vol. 42, № 2. P. 627–629.

ГЕНЕРАТОРЫ СИНУСОИДАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Четвериков М.А.
Научный руководитель: Ким В.Л., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mixcet@gmail.com

Введение

Генераторы широко используются для исследований, калибровки и поверки масштабных измерительных преобразователей (делителей напряжения) и аттенюаторов. Кроме этого генератор как источник напряжения может быть использован при поверке других средств измерений и устройств, используемых в электроэнергетике, электронике, связи в нормальных условиях эксплуатации.

В связи с огромным количеством генераторов, существующих на рынке, актуален вопрос выбора генераторов синусоидальных напряжений с малыми частотными и нелинейными искажениями для исследования АЧХ измерительных каналов автоматизированных систем измерений, контроля и испытаний в диапазоне частот до нескольких сотен килогерц.

Наряду со сложными и дорогостоящими многофункциональными источниками напряжения во многих случаях необходимы генераторы напряжений с приемлемой точностью и стоимостью для автоматизированных систем. В последних, как правило, используются программно-управляемые генераторы напряжений как постоянного, так и переменного тока. Функциональные возможности генераторов значительно расширятся, если обеспечить управление частотой и уровнем выходного напряжения, как в ручном, так и в программном режиме.

Критерии оценки характеристик генераторов

Сложность реализации генератора напряжений во многом обусловлена требуемыми метрологическими характеристиками. В общем же случае, можно выделить следующие характеристики генераторов синусоидальных напряжений:

- диапазон рабочих частот;
- точность установки и стабильность частоты;
- выходная мощность;
- выходное сопротивление;
- неравномерность АЧХ;
- нелинейные искажения;
- способ управления работой генератора.

Основными характеристиками являются диапазон рабочих частот, нелинейные искажения и неравномерность АЧХ.

Классификация генераторов

Генераторы можно разделить на генераторы импульсов и генераторы синусоидальных колебаний. Так как в данной статье рассматриваются последние, изучим их подробнее.

Генераторы синусоидальных напряжений классифицируют по типу колебательной системы и подразделяют на следующие виды:

- *LC*-автогенераторы;
- *RC*-автогенераторы;
- генераторы с кварцевой стабилизацией частоты;
- генераторы с электромеханическими резонансными системами стабилизации частоты.

Далее, рассмотрим подробнее виды генераторов синусоидальных напряжений. Их отличительной особенностью является то, что в их состав входят цепи или компоненты с резонансными свойствами. Благодаря им условия возникновения автоколебаний выполняется только в узкой полосе частот.

1) *LC*-генераторы

Наиболее распространённый способ получения высокочастотных синусоидальных колебаний – это применение генератора, стабилизированного *LC*-контуром, в котором контур, настроенный на определённую частоту, подключён к усилительной схеме, чтобы обеспечить необходимое усиление на его резонансной частоте [1, 2].

Основной недостаток – сложность реализации для работы на низких частотах. Например, чтобы получить частоту $\frac{1}{2\pi}$, потребовалась бы индуктивность $L = 10^{16}$ Гн при $C = 1$ мкФ, что трудно осуществить. Другим недостатком *LC*-генераторов является низкий диапазон перестройки частоты по сравнению с *RC*-генераторами.

2) *RC*-генераторы

Исключение из схемы катушек индуктивности позволяет существенно уменьшить габариты и массу генератора, особенно на низких частотах, так как с понижением частоты резко увеличиваются размеры катушек индуктивности. Однако *RC*-генераторы имеют низкую стабильность частоты генерируемых колебаний, обусловленную низкой добротностью *RC*-цепей, а также плохую форму колебаний в силу слабой фильтрации высших гармоник в спектре выходного колебания [3].

Так же к недостаткам *RC*-генераторов следует отнести тот факт, что на относительно высоких частотах они труднее реализуются, чем *LC*-генераторы: величину ёмкости нельзя снизить меньше ёмкости монтажа, а уменьшение сопротивлений резисторов приводит к падению коэффициента усиления, что затрудняет выполнение амплитудного условия самовозбуждения.

Важным достоинством *RC*-генераторов по сравнению с *LC*-генераторами является возможность их изготовления по интегральной техноло-

гии. В области звуковых частот подобные генераторы обеспечивают сравнительно высокие метрологические характеристики. Как известно дифференциальное уравнение колебательной системы второго порядка имеет вид [1]:

$$U''_{\text{вых}}(t) + (\gamma_1 - \gamma_2)U'_{\text{вых}}(t) + \omega_0^2 U_{\text{вых}}(t) = 0,$$

где γ_1 – коэффициент, характеризирующий затухания колебаний в системе без обратной связи; γ_2 – коэффициент, учитывающий интенсивность положительной обратной связи; ω_0 – частота резонанса.

При условии $(\gamma_1 - \gamma_2) \leq 0$ в системе возникнут колебания. Это уравнение можно переписать в следующем виде:

$$U_{\text{вых}}(t) + (\gamma_1 - \gamma_2)\int U_{\text{вых}}(t)dt + \omega_0^2 \iint U_{\text{вых}}(t)dt^2 = 0.$$

Уравнение может быть реализовано классической схемой на инвертирующем усилителе *DA*1, *R*1, *R*2 и двух активных интеграторах *DA*2, *DA*3, *R*3, *R*4, *C*1, *C*2 (рис. 1), построенных на операционных усилителях [4].

Генератор *SG*505 фирмы Tektronix Inc., построенный по схеме рис. 1, имеет коэффициент гармоник менее 0,001%.

3) Генераторы с кварцевыми резонаторами

Данные генераторы используются в многочисленных цифровых устройствах, измерительной технике, автоматике и радиотехнике, когда нужно получить повышенную точность и стабильность частоты. В них роль цепи, обладающей резонансными свойствами, выполняет или кварцевый резонатор, или электромеханический фильтр [5].

Достоинством такой реализации заключаются в следующем: большая стабильность, малые размеры устройства, большая долговечность, построение качественных каскадных фильтров без необходимости их ручной настройки. Недостаток – узкий диапазон подстройки частоты внешними элементами (для многодиапазонных систем эта проблема решается построением синтезаторов частоты различной степени сложности).

4) Синтезаторы частот

Синтезаторы частот являются устройствами для формирования (синтеза) дискретной сетки гетеродинных частот из одной эталонной частоты в радиотехнических устройствах. Синтезаторы частот не только формируют эту сетку частот, но и выделяют колебания любой из них, не ухудшая её стабильности, которая определяется эталонным генератором. Для задания алгоритма работы синтезатора частот используется система управления, подключаемая к синтезатору [6]. Наиболее распространённой областью применения синтезаторов частот являются системы беспроводной связи, где полоса перестройки не превышает 10%. Кроме того, синтезаторы частот широко применяются при построении систем кабельной связи, медицинской аппаратуры, ЭВМ, информационных сетей и т.д.

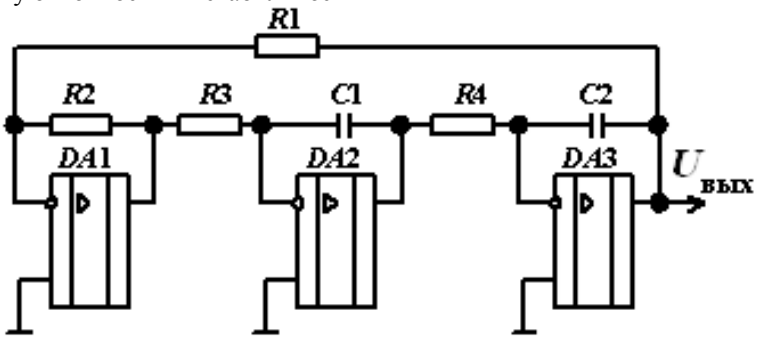


Рис. 1. Электрическое моделирование колебательной системы

Заключение

Результатом проделанной работы является обзор генераторов синусоидальных напряжений различных типов. На основе выявленных достоинств и недостатков, а так же в связи с актуальностью создания программно-управляемого генератора синусоидальных напряжений, обладающего приемлемой точностью в диапазоне частот до нескольких десятков килогерц, оптимальным вариантом является построение генератора на основе активных цепей. Это позволяет обеспечить требуемые характеристики сравнительно простыми схемотехническими решениями.

Список литературы

1. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. – М.: Мир, 1982.

2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – М.: Мир, 1993.

3. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.

4. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях. – Киев: Техника, 1989.

5. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. – М.: Высшая школа, 1991.

6. Богатырев Е.А., Ларин В.Ю., Лякин А.Е. Энциклопедия электронных компонентов. – Т. 1. – М.: МАКРО ТИМ, 2006.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ ИЗ ОБРАЗЦА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ

Хорсов П.Н.
Научный руководитель: Суржиков А.П., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: horsov_petr@mail.ru

Одним из перспективных методов контроля дефектности и напряженно-деформированного состояния является метод, основанный на явлении механоэлектрических преобразований в диэлектрических материалах под действием импульсного механического возбуждения [1]. На основе указанного метода в проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников ИНК ТПУ разработана мультисенсорная система контроля [2], позволяющая синхронно регистрировать электромагнитные отклики системой емкостных датчиков при многократном возбуждении образца механическими импульсами заданной формы с использованием высокоточного генератора. Использование многократного возбуждения дает возможность существенно увеличить соотношение сигнал/шум и тем самым достичь высокой чувствительности.

Так, при исследовании напряженно-деформированного состояния образца при одноосном сжатии с использованием мультисенсорной системы контроля удалось зафиксировать статистически надежные изменения параметров отклика при изменении давления на образец, составляющего 3% от разрушающего.

Кроме метода механоэлектрических преобразований для оценки степени напряженно-деформированного состояния используется такое явление, как электромагнитная эмиссия из диэлектрического материала под действием механических нагрузок [3]. Исследования показали, что по параметрам электромагнитной эмиссии можно давать оценку прочности материалов в условиях напряженно-деформированного состояния.

Природа указанного явления обусловлена, предположительно, также механоэлектрическими преобразованиями, но источником акустических волн являются развивающиеся под действием нагрузок трещины в локальных зонах перенапряжений.

Исходя из изложенного, можно предположить, что в сигналах отклика мультисенсорной системы контроля при механическом нагружении образца должна содержаться составляющая электромагнитной эмиссии.

Целью настоящей работы является попытаться выделить из общего сигнала отклика составляющую электромагнитной эмиссии при одноосном сжатии образца вплоть его разрушения

Образец для эксперимента был изготовлен из эпоксидной смолы с наполнением в виде песка, содержащего кварц. Размеры образца были 60X80X100 мм.

Образец помещался в пресс и подвергался ступенчатому одноосному сжатию. Величина ступеньки составляла примерно 4 МПа. На каждой ступеньке давления образец возбуждался серией из 80 импульсов заданной формы с регистрацией откликов с каждого из 8 емкостных приемников сигнала.

Разрушение образца наступило при давлении 62 МПа.

Сигнал отклика s можно представить в виде 3-х составляющих.

$$S = S_м + S_э + S_ш,$$

где $s_м$ – отклик за счет механоэлектрических преобразований; $s_э$ – отклик за счет электромагнитной эмиссии; $s_ш$ - сигнал шума.

Составляющая механоэлектрических преобразований легко выделяется из общего сигнала путем усреднения. Выделение электромагнитной эмиссии представляет более сложную задачу. В ряде случаев (при больших локальных разрушениях) эта составляющая проявляется визуально.

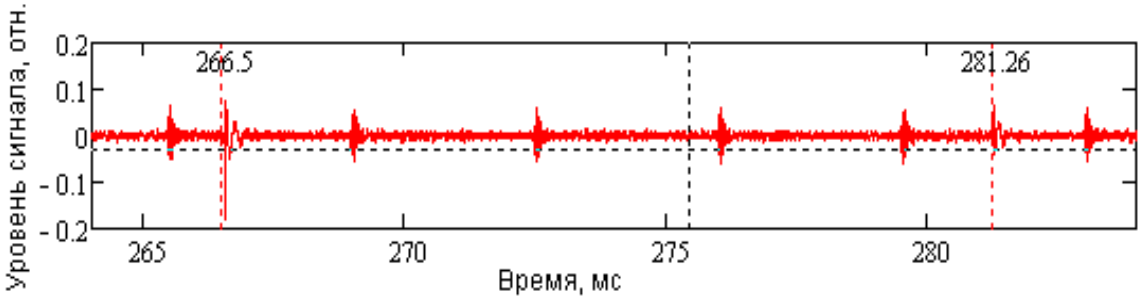


Рис. 1. Фрагмент отклика при сжатии образца давлением 54 МПа.

На рис.1. показан фрагмент временной реализации отклика при нагрузке в 54 МПа, близкой к разрушающей.

Из рисунка видно, что наряду с откликами от серии возбуждений со строгой периодичностью наблюдаются 2 выброса в отмеченные на рисунке моменты времени. В других случаях для выделения электромагнитной эмиссии необходимо использовать статистические методы обработки.

В качестве примера проведем сравнительный анализ данных по фрагментам реализаций при нагрузках 4 МПа и 60 МПа (предразрушающая нагрузка).

Сначала из фрагментов данных методом вычитания была удалена механоэлектрическая составляющая сигнала.

Оставшаяся часть сигнала, представляет собой сумму сигнала электромагнитной эмиссии и шума. В работе [3] для исследования электромагнитной эмиссии проводился спектральный анализ данных, из которого делался вывод о смещении спектра в область более низких частот с увеличением нагрузки.

Поэтому и в настоящей работе были рассчитаны спектры фрагментов оставшейся части сигнала. Их амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) показаны на рис. 2.

Как видно из рисунка, имеет место смещение спектра отклика под большой нагрузкой (верхний график) в низкочастотную область по сравнению с откликом при малой нагрузке (нижний график). Полученные результаты находятся в соответствии с выводами других авторов.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что мультисенсорная система контроля позволяет изучать электромагнитную эмиссию из образцов в процессе механического нагружения объекта исследования.

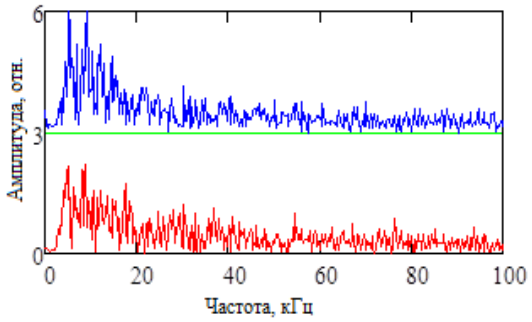


Рис.2. АЧХ фрагментов откликов при давлении на образец 4 МПа (нижний график) и 60 МПа (верхний график).

Список литературы

1. Фурса Т.В., Хорсов Н.Н., Батурин Е.А. Источники акустоэлектрических преобразований в бетонах. // ЖТФ.-1999.-Т. 99.- Вып. 10.- с. 51 – 55.
2. Суржиков В.П. , Хорсов Н.Н. , Хорсов П.Н. Мультисенсорная система для исследования дефектности диэлектрических материалов // Контроль. Диагностика. - 2011 - №. 11 - С. 17-20
3. ВострецовА.Г. и др. Прогнозирование разрушения горных пород по спектральным характеристикам сигналов электромагнитного излучения // ФТРПИ.-1998.-№4.-С.47 -.51.

MICROWAVE MOISTURE METERING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Buyantuev V. V. Group 1BM21
Scientific advisor: Shiyan V. P. cand. sc. (Physics and Mathematics), Associate Professor.
Linguistic advisor: G.V. Shvalova, senior teacher.
The National Research Tomsk Polytechnic University, Institute of Nondestructive Testing,
Department of Physical Methods and Quality Control Devices, Tomsk, Russia
E-mail: buyntuev@sibmail.com

Modern technological methods of agricultural production are largely associated with the moisture content. Excess or lack of moisture in the material affects its physical and chemical, physical, mechanical and performance properties. Rapid and accurate determination of the water content in the process of production and during operation is essential. In modern processes there are universal devices monitoring humidity wide range of agricultural materials. It is obvious that the widespread introduction of the necessary means and instruments for monitoring moisture in the economy and their correct operation will give significant technical and economic effect. [1]

Grain moisture is one of the main factors affecting the duration of storage without deterioration and loss. Humidity value of grain and other agricultural products is included in the delivery and acceptance, as it affects their net weight that is the real value.

Grains in their structure are capillary-porous bodies. [1] This is inherent in the structure of chemically bound water W_{bound} = 5…15 %. Chemically bound water can't be removed by drying or spinning.

Methods for measuring the humidity can be divided into direct and indirect. [1] In the direct method is the direct separation of the material on the dry matter and moisture. In the indirect method measures the value functionally related to moisture content of the material. Indirect methods require pre-calibration in order to establish the relationship between moisture content of the material and the measured value.

The most promising of the indirect methods is dielcometric method in the microwave range. The choice of this range is dictated by the dielectric properties of the water which determine the high sensitivity of the method for moisture content while minimizing the impact of so-called "non-informative" confounding factors. Also, this method has the advantages like non-contact, large informative capacity, speed, simple and inexpensive equipment. [2]

One method of microwave moisture metering (amplitude) is based on measuring the attenuation of electromagnetic energy transmitted through the wet material. Because of the asymmetric arrangement of the oxygen-hydrogen bridges that form an angle of 105 ° water molecule becomes a "natural" dipole. Thus, placed in an electromagnetic field water molecule starts to vibrate, turning along the field lines, this leads to a weakening of the electromagnetic pulse. So, 1 cm of water weakens the radio wave signal (in the microwave range) 10,000 times, at the same time, hundreds of meters of sand, clay, limestone practically delay the signal. [3] Thus, the attenuation depends on the moisture content and is given by:

$$N = 8{,}68 \cdot \alpha_в \cdot W \cdot \rho \cdot k \cdot D + |\Gamma|,$$

where $\alpha_в$ - water attenuation in dB / m; W - moisture; D - the thickness of the material, m; k - empirical constant, м^3/кг; ρ - density of the wet material, м^3/кг; $|\Gamma|$ - module of the reflection coefficient at section boundaries of the "material-to-air."

An important advantage of microwave moisture meters are: the possibility of non-contact measurement (in free space), high sensitivity, small effect on the results of measurements of the chemical composition of the material.

Existing microwave methods are divided into [1]:

1. Methods of free space - the test material is placed between the two antennas.
2. Resonator method - the test material is placed in the cavity of resonator.
3. Waveguide methods - the test material is placed in a section of the waveguide line.
4. Probe techniques - probe is immersed in the test material.

In this article, we will focus on the waveguide method. The essence of this method is to place the test material into the cavity of the waveguide. But in this case the size of the material is limited. And this method doesn't provide non-contact measurement. At the same time, the localization of waves in a waveguide cavity leads to increased sensitivity of the moisture meter. Thus, it becomes possible to measure the characteristics of the material at low values of the moisture content and weight of the sample. But one of the problems which limit the rapidity of the developed microwave moisture meter is the route of administration of the material in the volume of the waveguide. [1]

To resolve this issue was designed waveguide probe. It is a U-shaped waveguide section 23x10 cm (Figure 1), in the lower part of which is cut-through slot in the broad wall of the waveguide. Cuvette is inserted into the slot was made of plexiglas and have the next dimensions: length - 70 mm, width - 14 mm, wall thickness - 2 mm. Plexiglas was chosen for the production of the cell because its dielectric and physical properties is quite acceptable. In particular, the dielectric loss tangent for Plexiglas is 0.02-0.06, and the dielectric constant is 3,8-4,2. Also plexiglass is easy to work and cutting.

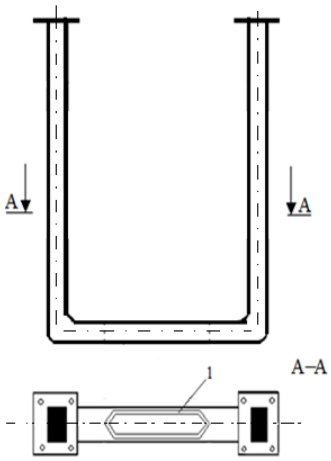


Figure 1. U-shaped waveguide probe:
1 - cell is inserted in a slot waveguide.

The voltage standing wave ratio (VSWR) by voltage and the weakening of the sensor produced in order to choose the optimal operating frequency. The measurements were made with a panoramic VSWR meter R2-61 in the range of 8.5 to 12.5 GHz. Circuit for measuring VSWR waveguide sensor is shown in Figure 2. The minimum value of VSWR is observed at a frequency of 11.7 GHz (Figure 3a).

$$|\Gamma| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1},$$

$$|\Gamma| = \frac{1{,}9 - 1}{1{,}9 + 1} = 0{,}3.$$

Modulus of the reflection coefficient $|\Gamma|$, in turn, characterizes the reflected power:

$$P_{omp} = P_{nad}|\Gamma|^2 = 1 \cdot 0{,}3^2 = 0{,}09,$$

where P_{omp} and P_{nad} - reflected power and the incident power, $|\Gamma|$ - module of the reflection coefficient. This suggests that if on the material falls 100% (P_{nad} = 1) of power, it affects only 0.09 of the energy. In amplitude moisture meter for accurate determination of moisture reflection coefficient should go to zero. In Figure 3b shows the VSWR detector filled with water on the frequency.

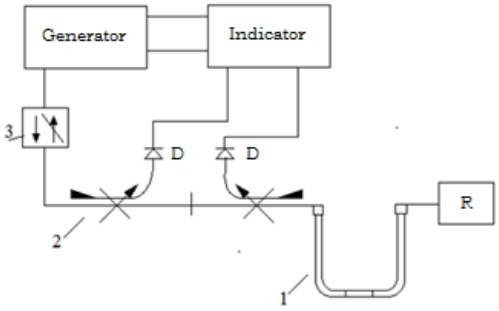


Figure 2. Circuit for measuring VSWR:
1 - waveguide probe, 2 - directional coupler, 3 - Isolation attenuator, D- detector, R- matched load.

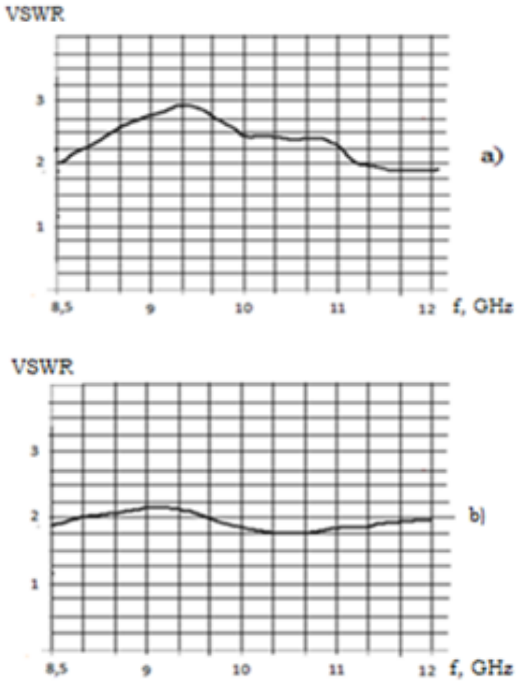


Figure 3. Dependence on the frequency of the sensor VSWR: a) with an empty cuvette, and b) with the cuvette filled with water.

Circuit for measuring attenuation in Figure 4. Attenuation values obtained are shown in Figure 5. As can be seen from Figure 5a, the minimum attenuation occurs at a frequency of 8.7 GHz. But since the value of VSWR at a given frequency is not equal to the minimum should select the frequency of the generator is equal to 11.7 GHz. In this case, the value of VSWR is more important than the value of attenuation. At a given frequency attenuation is equal α = 5.5 dB. In an "ideal" waveguide line attenuation shouldn't happen, in our case this attenuation can be explained by the weakening of the dielectric loss and partial radiation in space.

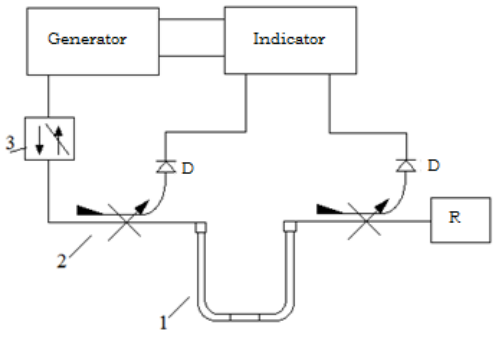


Figure 4. Circuit for measuring attenuation. 1 - Waveguide probe, 2 - directional coupler, 3 - Isolation attenuator, D - detector, R - matched load.

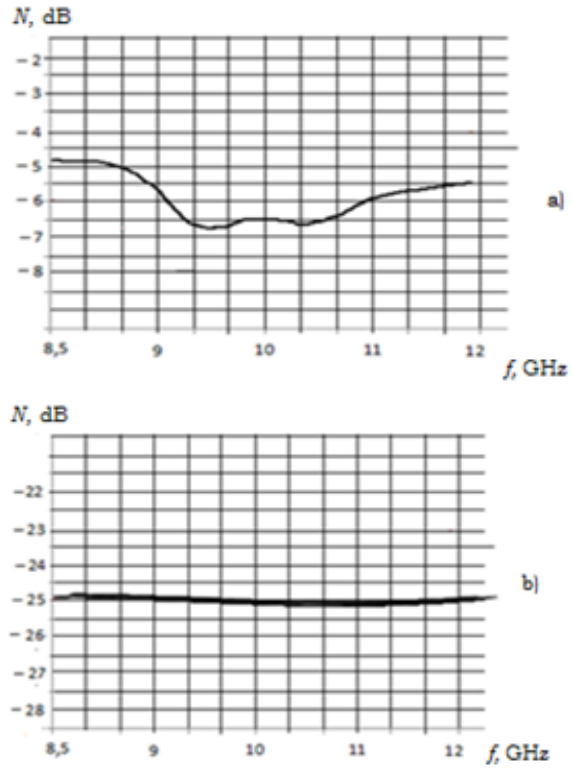


Figure 5. Reduce dependence on the frequency of the sensor: a) with an empty cuvette, and b) a water-filled cuvette.

At the operating frequency (f = 11,7 GHz) were measured attenuation for wheat and oats with a given humidity. Humidity set based on the formula [4]:

$$W\ (\%)\ = 100\ (m_0\ -\ m_1)/m_0,$$

where m_0 - mass of the sample, g (wet grain); m_1 - mass of the sample after drying, g (absolutely dry grain). To determine the moisture content of grain to the rigging of mass m = 12 g (oven dry grain) are sequentially added to the water and after each addition was measured the energy attenuation. The result is shown in Figure 6. Grain moisture asked in Table 1.

Table 1. The amount of water.

W, %	m_w, ml
0	0
4	0,45
8	0,89
12	1,34
16	1,79
18	2,01
20	2,24

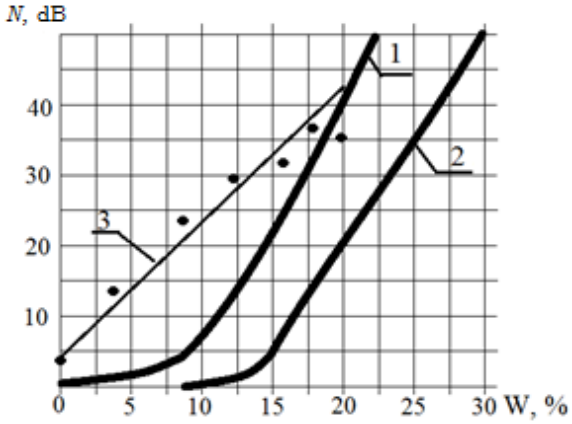


Figure 6. The dependence of the attenuation of microwave energy from the grain moisture: 1 - calculated dependence for wheat, 2 - calculated dependence for grain oats, 3 - an experimental plot for wheat.

A rejection in part of the experimental data from the calculations can be explained instrumental error, and possible violation of the preparation of the sample.

In conclusion one must say the creating precise and reliable microwave moisture meters are capable of working in difficult operating conditions, is one of the most pressing problems. The theoretical basis of the microwave moisture metering is described in the paper. We designed waveguide probe of amplitude moisture meter. The proposed design of the waveguide probe can quickly make the filling controlled trial.

Based on the experimental results to select the optimal operating frequency f = 11.7 GHz. This choice is determined by the lowest values of the electrodynamic probe characteristics (such as attenuation of electromagnetic energy N = 5.5 dB and voltage standing wave ratio VSWR = 1.9)

This method is suitable for field measurements of humidity of agricultural products when you need to quickly and accurately obtain reliable results.

The results of this work can be the input for the development of the layout of the microwave amplitude moisture meter in the future.

References

1. Benzar V.K., Technique of Microwave Moisture Metering. - Moscow: Higher School, 1974. - 352 p.

2. Berliner M.A. Moisture Measurement. - Moscow: Energiya, 1973. - 400 p.

3. Krichevsky E.S., Volchenko A.G., Humidity Control is Solid and Bulk Materials. - M. Energoatomizdat, 1980. - 165 p.

4. GOST 13586.3-83 - Grain. Acceptance procedures and sampling methods.

DEVICE FOR CONTROL OF THE HORIZONTAL BOREHOLE POSITION

E.V. Golodnykh, V.N. Borikov
Scientific adviser: V.N. Borikov, PhD, Associate Professor
Linguistic advisor: T.S. Mylnikova, senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: evgen_ferrum@mail.ru

Obtaining reliable and operational values of natural gamma radiation is the main problem to be solved in the process of horizontal oil and gas well drilling. Implementation of the device embedded in the construction of the drill string to provide control over spatial orientation of the drilling tool relative to overlying earth formation in the process of horizontal drilling in the reservoir can solve the problem. The device can be referred to as the device for the control of the horizontal borehole position. The accuracy and time of horizontal well drilling in the reservoir depends on metrological and operational characteristics of the device.

The concept of the designed device

The device for the control of horizontal borehole position (Fig. 1) contains the main 2 and directional 3 blocks of gamma-ray logging sensors installed in the casing. The directional block of gamma-ray logging sensors is placed into a lead body 4 with a window 5 for directional gamma recording which is physically correlated to the toolface position. Sensors are placed in the recess of the measuring gamma-module case 1.

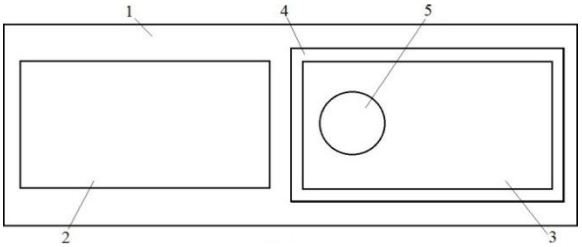


Fig.1. Scheme of the measuring gamma-module case with the block of sensor gamma ray

1 is a gamma-module case; 2 is the main sensor; 3 is a directional sensor; 4 is a lead body; 5 is a window.

The block of gamma-ray logging sensors is a highly efficient detector. It consists of two nodes which contain the block of the detector and high voltage power supply. When power is supplied to the device output there occur a series of pulses with reverse polarity. The frequency of pulses is directly proportional to the natural gamma radiation measured. The gamma-ray detector is a transparent sodium iodide crystal doped with thallium - NaJ(Tl) [1]. The molecules can scintillate, i.e. emit photons of light when exposed to gamma – quanta radiation. The photons are received by a photomultiplier tube and cause the flow of electrons to the anode.

The electronics used enhances the performance of the device. Amplifiers, discriminators and high voltage power sources are placed in one case with the detector, that provides optimal electrical performance and make the device compact. Flexible dynamic casing increases accuracy and provides the stability of the sensors. The casing covers and protects the entire unit absorbing external shocks and vibrations while maintaining the concentric position in the sealed casing. The suspension system of the photomultiplier tube is supported by radial springs, which form a stable node, and reduce vibration. This type of the design makes possible to increase its sensitivity. The method of the design allows using bigger crystals within the same geometric volume. Increasing the size of the crystals enhances the sensitivity of the device by approximately 20%. [2] Instead of traditional glass in the viewing hole, sapphire, which is a more durable material with better transmission characteristics, can be used. A thin wall titanium case weakens gamma radiation in a less degree which increases the performance.

The principle of the device operation

The uniqueness of this device (Fig. 2) is that it uses two blocks of gamma-ray logging sensors: the main and directional ones.

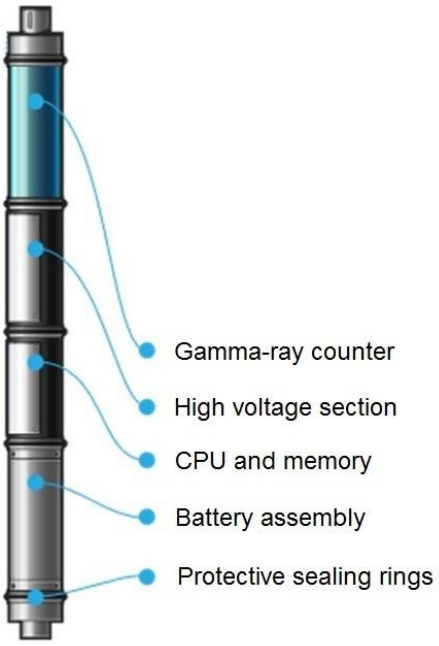


Fig.2. Measuring gamma-module

In the process of drilling a well to a productive reservoir gamma radiation will be measured by the main block of gamma-ray logging sensor 2, which affects measuring gamma-radiation of the nearby rocks.

Reservoir (sandstone), in contrast to the caprock (clay), is characterized by significantly low values of gamma-radiation. The average value of the sand natural radioactivity is 10 - 15 Bq/kg, however for clay it is 50 - 80 Bq/kg (Radionuclide activity units represent the number of disintegrations per unit of time, 1 Bq = 1 disintegration per second). Over a fixed period of time, radioactive nucleus emits a number of nucleons, proportional to the number of nucleons remaining in its structure:

$$dN = \lambda N dt \qquad (1),$$

where dN is the number of nucleons emitted from the nucleus with the total number of nucleons N over the time dt, and λ is experimentally measured constant of the substance radioactivity. The above empirical formula is a linear differential equation which can be solved as the function describing the number of nucleons in the nucleus remaining at time t:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad (2),$$

where N_0 is the initial number of nucleons in the kernel.

The radioactivity constant indicates how fast the kernel disintegrates. Traditionally not the radioactivity constant but the half-life of the nucleus is measured.

Increasing values of gamma-radiation in the direction of drilling indicate that the drilling string approaches the boundary of the reservoir. To determine the change in the gamma-radiation value the directional block of gamma-ray logging sensor is switched on (Fig. 1). After that, the drill string is reversed by 360 ° with simultaneous measuring gamma-radiation in each rotation sector by the block of gamma-ray logging sensor. The analysis of gamma-radiation values allows the operator to locate the boundary of the reservoir relative to the drilling string and maintain the drilling process.

Main issues and solutions recommended for implementation of the project

Choice of the detector. The accuracy of measuring gamma-radiation of rocks depends on the choice of the detector. Scintillation method is based on the detection of short flashes of light - scintillations arising in certain substances while passing through it charged particles. High light output is one of the main characteristics when selecting a detector. The energy resolution and dependence of scintillation decay time on temperature are significant as well. A single crystal sodium iodide doped with thallium NaJ(Tl) meet these requirements.

Choice of PMT. A photomultiplier tube is used to convert the scintillator light flashes into electric current pulses [4]. An important characteristic of the PMT is the diameter of the photocathode and thermal, shock and vibration resistance. The PMT made by the company HAMAMATSU meets these requirements [5].

Providing vibration and shock resistance. All design elements of the device must be protected against aggressive environmental effects, such as vibration and shock which can destroy the detector and damage electronic circuits. To solve this problem a dynamic flexible casing that absorbs external shocks and vibrations can be used.

The main technical and metrological requirements of the device for the control of horizontal borehole position

The device must provide a durable stability of its metrological parameters in operating process.

The range of radioactivity registration must be from 0 to 100 mR/hr; energy resolution for gamma line 662 keV up to 10%; energy range of detected gamma rays 0.2-3 MeV; basic measurement error up to 10%.

In relating to maintenance in aggressive environment, the device must withstand vibrations: 5 - 30 Hz, 25 mm - swing 30 - 500 Hz, 20 G, in all axes. Ma[limit (shock): 1000 G for 0.5 ms, the sine 0.5 on all axes.

Operating temperature range: -20 °C to +150 °C, the maximum permissible operating pressure 60 MPa.

In the process of exploitation to prevent impermissible deformations of constructions protective cover must be made of high-strength metal alloys.

References

1. Pat. 2007560 RU. IPC E21B47/022. Device for the control toolface of the borehole / D.A. Bernstein, V.A. Rapin, V.A. Chesnokov. Patent holder: Research and Production Company "Geophysics", publ. 15/02/1994.

2. Gamma module [electronic resource] / URL: http://www.newsco-russia.ru/mwd-gamma.html. Date circulation: 02/18/2013.

3. V.V. Sidorenko, Y.A. Kuznetsov, A.A. Ovodenko. Ionizing radiation detectors. - L.: Sudostroeniy, 1984. – 240.

4. N.A. Soboleva. Photoelectric devices. M.:Nauka. 1965. – 217.

5. PMT of HAMAMATSU [electronic resource] / URL: http://www.hamamatsu.su/feu.htm. Date circulation: 02/18/2013.

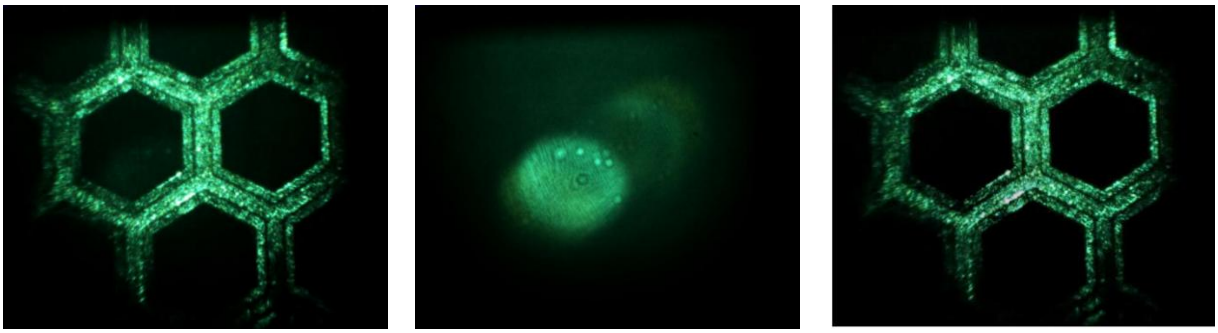
PROCESSING OF THE IMAGES OBTAINED BY LASER MONITOR

E.Z. Dashinimaeva [1], M.V. Trigub [1,2]
Scientific advisor: G.S. Evtushenko, DSc**,** professor
Linguistic advisor: T.S. Mylnikova, senior teacher
[1]Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Avenue, Tomsk, Russia, 634050
[2]V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev square, Tomsk, Russia,
E-mail: zhen_da@mail.ru

The main problem of nondestructive testing is to determine the parameters of materials, components, units and products without damage in order to obtain information on its quality and condition. One type of non-destructive testing is optical control based on the analysis of interaction of optical radiation with the object under control. There are different methods of optical nondestructive testing [1], and active optical systems (AOS) with brightness amplifier should be attributed to a separate class of methods. The Laboratory of Quantum Electronics, IAO SB RAS, Tomsk, and the Department of Industrial and Medical Electronics TPU are engaged in the development of techniques for laser and nondestructive testing, which allow visualization of fast processes, including processes that are shielded by powerful background light. These techniques include a laser projection microscope that makes possible to obtain a magnified image with amplified brightness on a big screen, and laser monitor to monitor processes in real-time mode with high time resolution [2].

Hardware methods to change the quality of the images obtained by AOS with brightness amplifier, i.e. to reduce the distortions introduced by the system in the resulting images have been investigated in a number of research studies [2, 3]. These methods include the synchronization system of the brightness amplifier and recording equipment, the operating mode chosen for the brightness amplifier to minimize the background light (thereby, to increase the contrast) and etc [2]. In addition, distortions which may occur in the resulting image are almost impossible to take into account using hardware methods only. Such distortions are the uneven gain profile, presence of the lens flare, uneven background and etc.

The development of an algorithm for processing images obtained by AOS became possible with the advent of the software for image processing. The paper considers software methods that make possible to change the quality of images and to process them in order to determine the parameters of the observed object or process (for example, displacement determination).



a) b) c)

Fig.1. Background subtraction

Fig.1 shows the images of the grid obtained in the first experiments. It is seen that the image includes a background and lens flare, which may cause significant distortion and difficulties in further analysis and image processing (because the flare brightness and the object brightness are approximately of the same level). To take into account this fact, the flare images were shot (Fig.1b), and the background and the fare were subtracted from the object image. At the same time, as the object occurred in the field of view, the brightness intensity of the object and the flare redistributed, and as a result, the brightness of the flare became much less intensive. Therefore, the correction factor for the image with flare should be imposed before subtracting. The resulting image of the object is shown in Fig.1c. Thus, sharper image of the grid was possible to obtain and the lens flare and background effects were virtually removed. All operations were performed using the software environment ImageJ that is available and free of charge.

The following experiment was performed to demonstrate the ability of automated displacement determination. The images of a high contrast object (metal plate), which are controllably moved, were obtained. The registration of the object was carried out after changing its position. MATLAB and ImageJ environments were used to determine the displacement vector. It was assumed that the initial image is taken at the first point in time, and the next image is taken after its displacement.

Fig.2 shows the initial (a) and final (b) images of the object with the displacement vector and the corre-

sponding pixel brightness along the indicated dotted line. There is a flare on the image because of spurious reflections from the lens placed in front of the object as it was in the first case [2]. In this case, presence of the flare on the image does not affect the correct object displacement determination (point A and B). The average value of the displacement on X-axis is 52 pixels. Moreover, the shift along the Y-axis implies the misalignment location of the object and the laser monitor circuit optical elements. According to measurements obtained by ImageJ, the displacement was 54 pixels. Thus, the algorithm proposed and its realization in MATLAB makes possible to determine the displacement of the observed object or the distance of the displacement in an automatic mode with high accuracy.

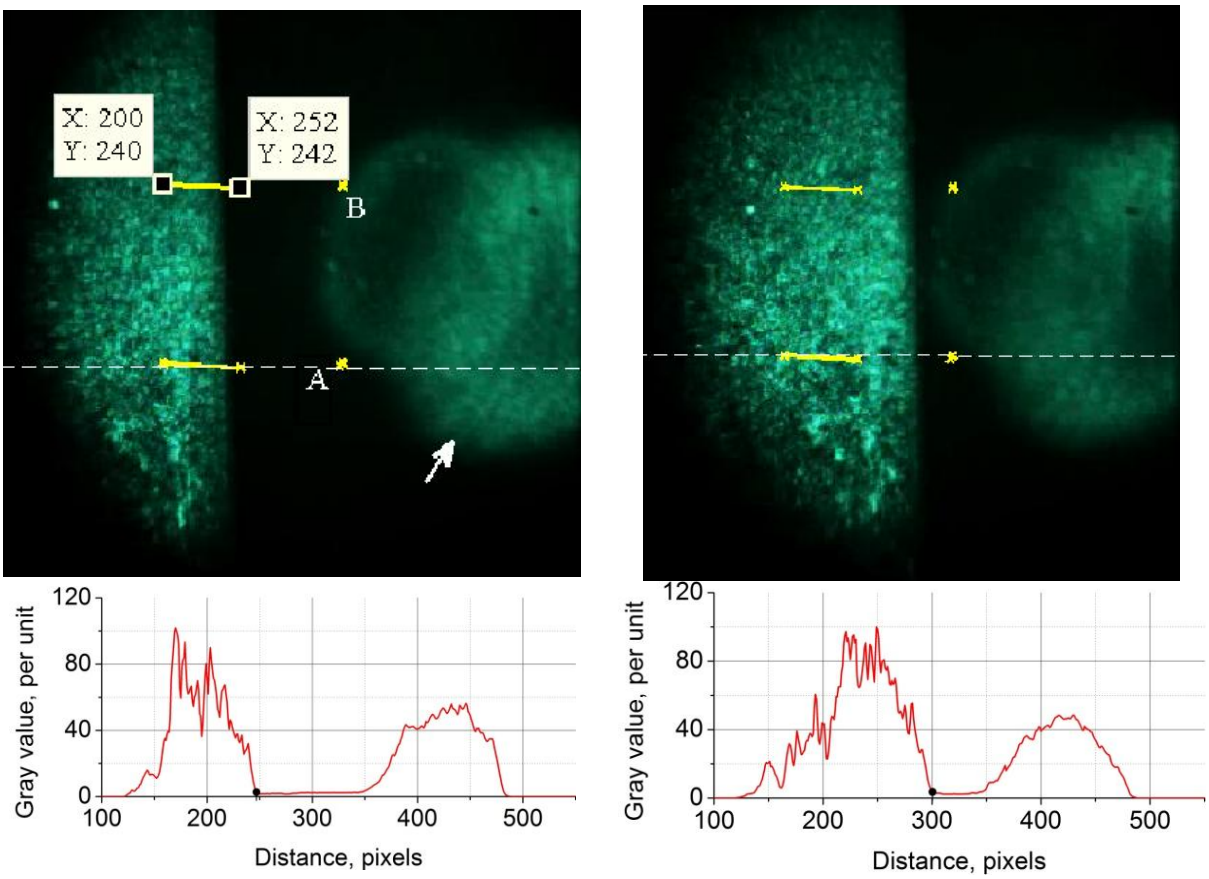


Fig. 2. The images of the object with the indicated displacement vector and pixel brightness along the dotted line

A method for accounting the flare and the background images obtained by AOS with a brightness amplifier is suggested in the paper. It is shown that this method enhances obtaining a sharp image of the object. In the future, we plan to study how the flare brightness changes in the absence and presence of the researched object, and to calculate the correction factor. The paper considers the experimental determination of the object displacement algorithm. This algorithm provides sufficiently high accuracy. It is necessary to consider the possibility of getting artifacts in the image (flare) that may distort the real picture. Moreover, there are limitations in visualization of the processes where the object gets significantly changed, which makes it difficult to find the maximum correlation function.

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, State contract №7.586.2011;

References

1. S.S. Sawicki Methods and means of nondestructive testing // Electronics teaching aid. - Minsk. - 2012. – P.183 (in Russian).

2. M.V. Trigub, G.S. Evtushenko, F.A. Gubarev, S.N. Torgaev. Laser with the ability to monitor single-frame image photography //Control.Diagnosis. - 2011, Vol. Specials - P. 140-143 (in Russian).

3. E.Z. Dashinimaeva, M.V. Trigub, G.S. Yevtushenko Optimization of the laser monitor operating mode // Proceedings of the International Youth Conference: Laser physics, nanostructures, quantum microscopy. - Tomsk. TSU. - 2012. - P.32-37(in Russian).

DIGITAL AUTOMATIC LEVEL CONTROL SYSTEM DESIGN

Demyanovich D.N.
Scientific advisor: Prof., Dr. Soldatov A.I.
Language advisor: Prof., Dr.Troitsky O.Y.
Institute of Non-destructive testing at National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin av., Tomsk, 634050, Russia
E-mail: sparrow@tpu.ru

Introduction

There are many practical areas where problems have been solving using the automatic control theory. In this work, we consider the solution of the problem of output value level control. Let us examine a system for investigation and statement of a problem.

Figure 1. shows the block diagram of the device, to form the harmonic and modulated signals with low level of phase noise in a wide frequency range and capacity. Generator produces harmonic signals with constant magnitude level in a given frequency range, and then this signal is converted to the desired signal frequency and magnitude level using the frequency multiplication blocks (B1,B2,B3). To generate the required level the feedback circuit, consisting of a directional coupler (DC), diode detector (D) and the block of automatic level control (ALC) is used [1]. DC is used to transmit the output high-frequency signal to the feedback circuit, the level of the signal being detected with the help of D. Thus, low-frequency signal enters to the ALC block where it is compared with the reference signal and then control signal for the controlled attenuators in blocks B is formed.

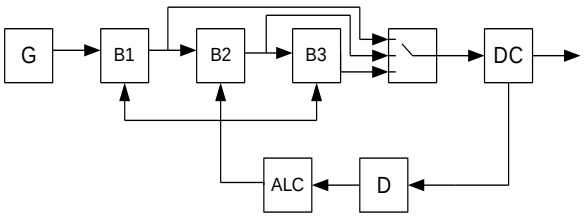


Fig.1. The structure of the harmonic signal generator.

Problem statement

As it follows from Fig.1 driving the frequency multiplication blocks in the case of the serial connection is carried out in parallel by one and the same control signal. This method is used to gain wider control range of the device output signal level. A disadvantage of this method is different regulation work range of different B, i.e. for the different frequency ranges of the signal. So the most narrow range will be at work with only B1. From the automatic control theory view point the static characteristic of the controlled object (CO) will change when the B2 and B3 are connected. This is shown in Fig.2. Connecting B increases steepness of the static characteristics.

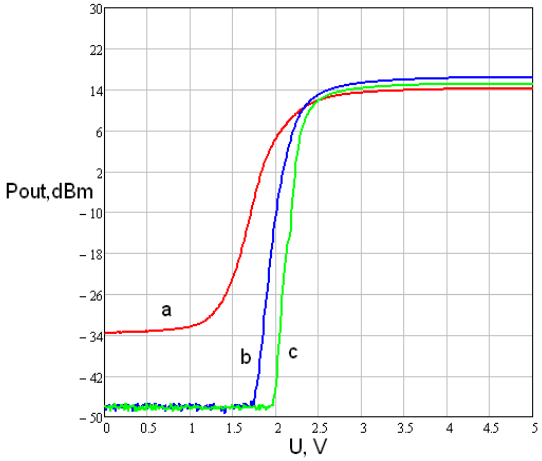


Fig.2. Static characteristics of the controlled object.
a — B1,
b — consistently B1 and B2,
c — consistently B1,B2 and B3.

System design

Let us now consider this device from automatic control theory view point. At the first step, we'll obtain the structural scheme of the automatic level control system, as depicted in Figure 3. There the ALC block is presented in the form of two components: the element of the deviation and the control unit (C). The structure of the controlled object consists of the whole chain of the consistently connected blocks (B, DC, D). A reference signal is x(t). Comparing it with output signal y(t) we shall obtain error signal e(t). Control unit realises a control rule forming control signal u(t) by means of error signal e(t). Such a scheme of deviation control system allows to eliminate the influence of the disturbance z(t).

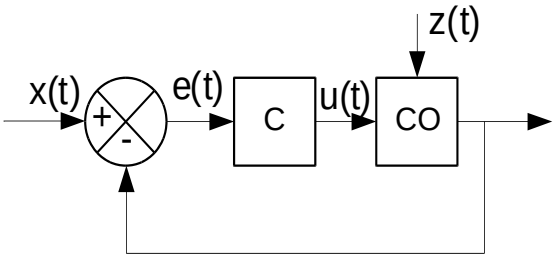


Fig.3. A structural scheme of the automatic level control system.

On the basis of such representation of a system solve the problem of controlling it's output value necessary to obtain the transfer function (TF) of the control object, and then to obtain the parameters of the

regulator in accordance to the required quality control. Let's give one classical approaches to solve this problem. We experimentally determine the logarithmic amplitude-phase frequency response characteristic (Bode diagram), find it's approximation representation and then obtain the transfer function of the CO [2]. In this devices we can connect sequentially three frequency multiplication blocks (B1,B2,B3), depending on the desired output frequency. Accordingly, CO changes and regulator parameters, calculated for one B, are not optimal.

This work presents the development and implementation of digital automatic level control system. Such a system is a modern way of control, which allows adjust control more easy (comparing to analog control system) or add any correction parameters or correction chain to the digital part of the system. In this case we'll have possibility to change regulator parameters according to the program changing CO, i.e. connection B2 and B3.

As in the case of a digital control system a software is realised, we can, as well, introduce control signal conversion in it in such a way, that output signal magnitude (in dBm) will change linearly when the reference signal changes linearly. Hence it is necessary to convert a detected signal in the feedback in such a way, that it will correspond to the reference signal. Both of these conversions solve the problem with a nonlinear static characteristics of the B and D.

Here, the logarithmic amplitude-phase frequency response characteristic of the CO, obtained by experimental way, is presented in Fig.4. Decreasing response frequency is about 0.1 MHz.

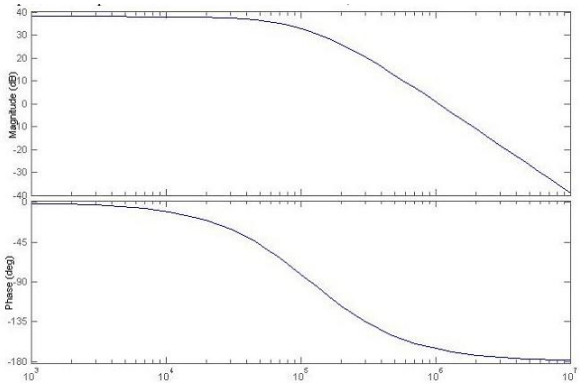


Fig.4. Bode diagram of the CO.

As it follows from the frequency response of the CO, for a smaller time of the transition process, it is necessary to have high-speed ADC and DAC for the implementation of the regulator with the differential component, ensuring the rise of the frequency response in the region of high frequencies for closed loop system [3]. Under their absence it is possible to realize integral control, excluding thereby the static error in the steady state. Since the CO is stable, then it is possible to set a new value directly without the use of correction devices and the closed loop. After a certain interval of time, for which the CO reaches a steady-state level, feedback is closed and then correction device (integrator) is switch on. This implementation allows to create a high speed system. For the described algorithm of control the scheme of the digital part will be as shown in Fig.5.

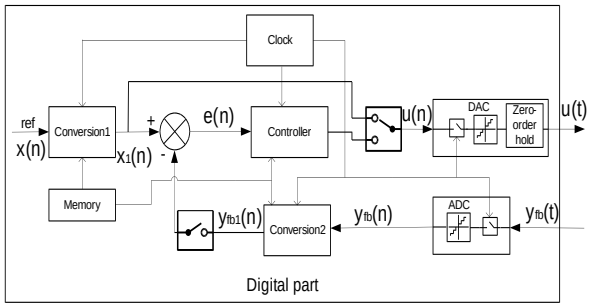


Fig.5. A digital part of the system with the described algorithm of control.

Implementation and experimental results

Digital automatic control system is realized with the available hardware. They include 16-bit ADC AD7694, DAC AD5541, and FPGA ALTERA EP1C3T144C8N. ADC and DAC are controlled by the FPGA via the SPI. The realisation of the described algorithm gives the following diagrams (Fig.6)

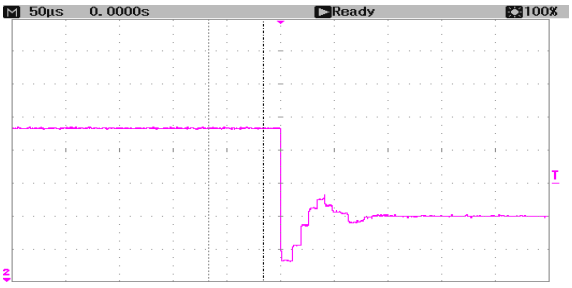


Fig.6. The reference change reaction of the system which uses described algorithm.

Conclusion

As a result the statement problem to provide an automatic adjustment of the output signal with a short time of the transition process is solved. The proposed solution is suitable for stable systems. If the high-frequency path has a considerably uneven frequency response, system must have the preset levels value frequency table [4].

References

1. Bryant, G. H. Principles of Microwave Measurements, IEE Electrical measurement series 5 - Peter Peregrinus - London, 1997.

2. Besekersky V.A. Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya (Automatic control systems theory) – «Professya»-SPb,2003.

3. Kester W. Mixed-signal and DSP design techniques – Analog Devices Inc,2003.

4. Nash E. Uluchsheniye vozmozhnostey besprovodnyh peredatchikov putem kalibrovki moshnosti (Improve the capabilities of wireless transmitters) - Besprovodnye Tehnologii – Spb,2010, pp.60-64.

ELECTROMECHANICAL ACTUATOR BASED ON ELECTRIC MOTOR-SPEED REDUCER-FLYWHEEL MECHANICAL SYSTEM FOR ATTITUDE CONTROL OF SMALL SATELLITE

Polyakov M.V., Polyakova A.V.
Scientific advisor: Dmitriev V.S., doctor of technical science, professor
Linguistic advisor: Shvalova G.V., senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 654050, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: plemjaschka@mail.ru

The development of the space industry requires continuous improvement of space engineering elements by means of new technical solutions and technologies.

Nowadays, majority of spacecrafts contain attitude control system, providing required position of satellite's body in space for necessary tasks and operations performance. One of the basic functional units of attitude control system is an actuator, which generates actuating torques, providing turn and design programmed motion of satellite.

Nowadays, electromechanical actuators (EMA) are widely used as a control moment generators in attitude control systems of a space crafts (especially small space vehicles). EMA designed on the basis of brushless direct current electric motor (BLDC motors) and flywheel, which is mounted on the motor [1] (Fig.1). This type of actuator also called «reaction wheel» or «momentum wheel».

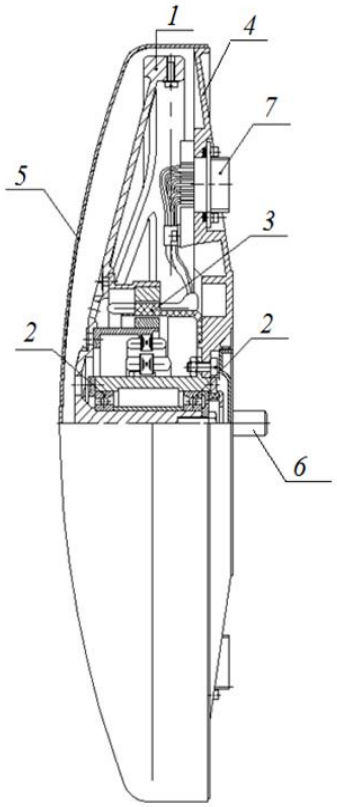


Fig.1 – Reaction (momentum) wheel (1-flywhell, 2 – ball bearing, 3 – stator of electric motor, 4 – body, 5 – hermetic housing, 6 – shaft, 7 – electrical connector).

The disadvantage of this type of electromechanical actuators consists in the continuous electric drive's rotor rotation during operation time. As a result, there is constant power consumption and ball bearing degradation.

The ongoing work presents new modification of electromechanical actuator of small spacecraft attitude control systems. This actuator consists of micro electric motor (EM), harmonic speed reducer, flywheel, which is mounted on the reducer's output shaft, and switch clutch.

Flywheel of exploited actuators, based on reaction (momentum) wheel, is mounted on the electric motor's shaft and is rotated with an angular speed of several thousand rpm. In contrast to reaction wheel, angular motion of flywheel in the modification is performed through the harmonic speed reducer and the operating angular speed is within hundreds rpm.

In contrast to classic design of electromechanical actuator, the principal feature of this modification is the using of harmonic speed reducer, because harmonic gear drive meets the dynamic requirements to reduction gearboxes best [2].

The switch clutch function provides rigid mechanical connection of flywheel and reducer's output shaft during operation and their mechanical disconnection at the non-operating time.

In addition, the actuator has the magnetic damper, generating braking torque to provide flywheel forced braking at the non-operating time.

The new modification of electromechanical actuator, as well as the classic design actuator, the control moment $M_{упр}$ is generated in compliance with expression (1):

$$M_{упр} = \frac{dH}{dt} = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = J \cdot \ddot{\varepsilon}, \qquad (1)$$

where H – EMA angular momentum, $N{\cdot}m{\cdot}s$;

J – moment of inertia of the flywheel;

Ω – angular speed of flywheel rotation;

$\ddot{\varepsilon}$ – angular acceleration, generated by electric motor

The block diagram of the considered actuator with harmonic speed reducer is shown in Figure 2.

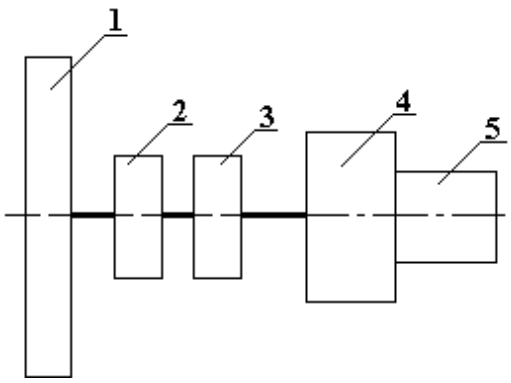


Fig.2–Actuator block diagram (1 – flywheel, 2 – magnetic damper, 3 –switch clutch, 4 – harmonic speed reducer, 5 – micro electric motor).

The sequence diagram of the considered actuator operation is shown in figure 3.

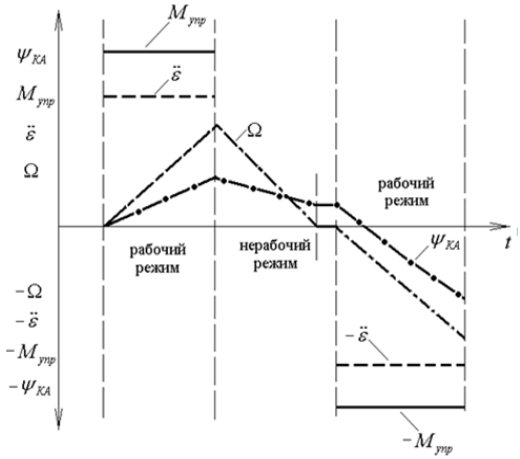


Fig.3 –Sequence diagram of the actuator operation ($\psi_{КА}$ – deviation angle of the spacecraft, $M_{упр}$ – control moment of the actuator, $\ddot{\varepsilon}$ – flywheel angular acceleration, generated by electric motor, Ω – angular speed of flywheel rotation).

When angular rotation of the spacecraft body relative to the center of mass for performing necessary operations is required, switch clutch provide rigid mechanical connection of flywheel and reducer's output shaft. Electric motor of the electromechanical actuator, receiving incoming electric signal, generates control moment $M_{упр}$ and start to rotate flywheel with constant angular acceleration $\ddot{\varepsilon}$. The angular speed of flywheel rotation Ω is increased linearly and, in compliance with the law of angular momentum conservation, body of spacecraft is rotated in the opposite direction.

After commission of required rotation, switch clutch disconnect flywheel and reducer's output shaft, electric drive is switched out, control moment $M_{упр}$ is equal to zero. Magnetic damper apply braking torque, which provide forced braking of flywheel.

Angular speed of flywheel rotation is decreased and, therefore, position of satellite body in the space is insignificantly changed (Fig.3)

Figure 4 shows the considered modification with harmonic speed reducer of electromechical actuator.

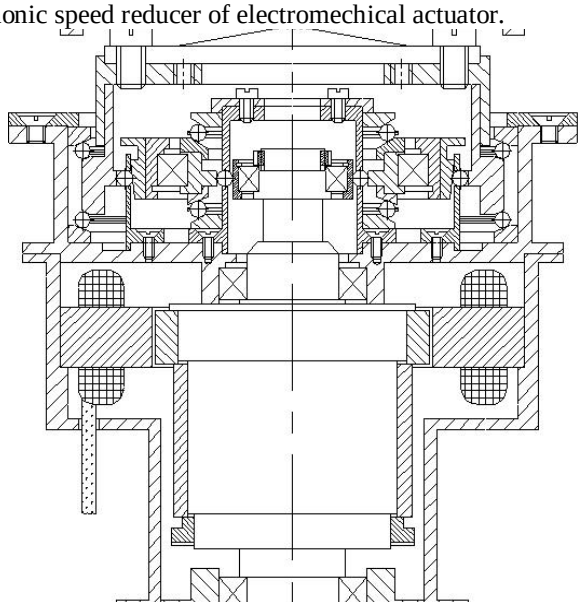


Fig. 4 – EMA modification with harmonic speed reducer

Considered electromechanical actuator modification of attitude control system for small satellite has definite benefits in comparison with exploited actuators, based on reaction (momentum) wheel:

1. Math model is much simpler. This is considerably simplify calculations for the design and parameters optimization of EMA.
2. Life time of actuator is increased because of operation within low angular speeds range
3. There is no need in unloading system for electromechanical actuator.
4. Energy consumption is decreased.
5. Mass characteristic is improved.
6. Actuator control unit is simplified.
7. General reliability of «actuator – control unit» system is increased.

Considered modification of electromechanical actuator is effective for using in attitude control systems of small satellites, because they require considerable minimization of mass and dimensional parameters and energy consumption.

References

1. Gladyshev G.N., Dmitriev V.S., Kopytov V.I. Spacecraft Control Systems. Tomsk, TPU, 2000, 207 p.
2. Yangulov V.S. Harmonic gear and screw mechanisms and drives.Tomsk, TPU, 2008, 190 p.
3. Raushenbach B.V., Tokar E.N. Spacecraft attitude control. «Science» publishing, chief editorship of physical-mathematical literature. Moscow, 1974.

REMOTE CALIBRATION USING LABVIEW VIRTUAL INSTRUMENT TECHNOLOGY

Khudonogova L.I.
Scientific advisor: Prof., Dr. Muravyov S.V.
Language advisor: Prof., Dr. Troistky O.Yu.
National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: likhud@tpu.ru

1. Introduction

Measurement instruments calibration is a significant part of the metrology activities. The recent development of information technologies allows implementing the calibration procedures on the basis of automated measuring instruments and computers interaction via the Internet.

Remote calibration is performed for devices installed on sites other than its permanent calibration facility, normally by the common method associated with relevant instruments and exchanging information related to the calibration with its customers, without personnel of the accredited laboratory being present [1].

Usually, remote calibration system provides such functions as:

- remote control and monitoring the measuring equipment;
- measurements which are performed at a customer location but controlled remotely by the calibration facility;
- transmitting data, relating to calibration and environmental conditions, to the customer, if necessary; and
- access to measurement and calibration history and other related data of each instrument [2, 3].

Remote calibration allows to carry out measurements faster and more efficient, especially in cases when the calibration of some instruments is more expensive than instruments cost. Besides, sometimes equipment that needs to be calibrated is inaccessible for people because of the hard usage environmental conditions.

This paper presents remote calibration system, which is realized using the LabView virtual instruments (VIs) technology.

2. General description of the remote calibration system

In the paper the remote calibration system which has been developed in the Department of computer-aided measurement systems and metrology in TPU is considered.

The remote calibration system is executed on a client-server architecture. Program for remote calibration is consists of two VIs: client-VI and server-VI.

Server-VI is opened and run on the computer directly connected to the test equipment. The needed software such as LabView with the set of specific instrument drivers must be installed on the servers' computer. Test equipment is connected with the server computer via GPIB interface. Client-VI can be run on every remote computer that has Internet connection. Client computer does not require any additional software installation.

Server-VI receives the commands from the client-VI and sends them to the test equipment via the selected interface. It reads the measurement data from the instruments and transmits this information to the client-VI over the Internet connection. In this system, the server-VI has to be run first, and the client-VI will then connect to it using information about the IP-address and the port number of the computer.

Front panels of the client-VI and server-VI, which are intended for digital multimeter NI PXI-4072 remote calibration in AC Voltage mode, are shown in Fig. 1 and Fig.2 appropriately. Test equipment includes multifunctional calibrator Fluke 5520A and digital multimeter NI PXI-4072 as a device to be calibrated. Connection between client-VI and server-VI is implemented using TCP/IP technology.

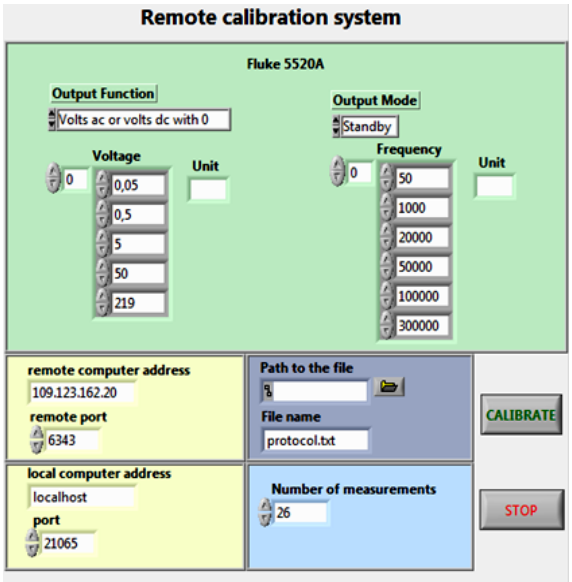


Fig.1. Client-VI front panel of the remote calibration system

After connecting test equipment to computer and running both server-VI and client-VI, user specifies the IP-addresses and ports numbers of the remote and local computers. On the client-VI front panel, user selects calibrator output function (e.g., "Volts AC or volts DC with 0 Hz" to measure AC voltage) and enters the desired calibrator output values.

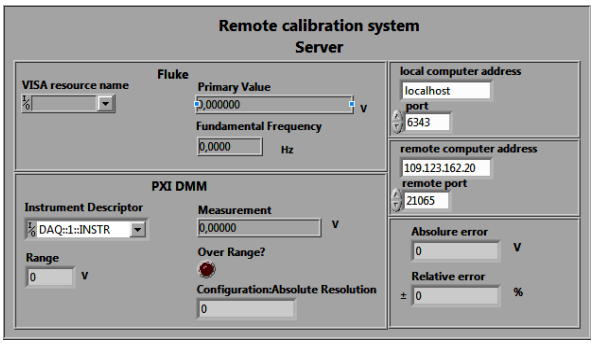


Fig.2. Server-VI front panel of the remote calibration system

Calibration points' parameters are selected in accordance with the documentation for the test equipment. The calibration points for digital multimeter NI PXI-4072 includes following points:

- for the base measurement range on each decimal range six measurement points;
- for the other measurement ranges on each decimal range five measurement points.

Every calibration point has distinct frequency. Calibration points are formed automatically in the way shown in Fig. 3.

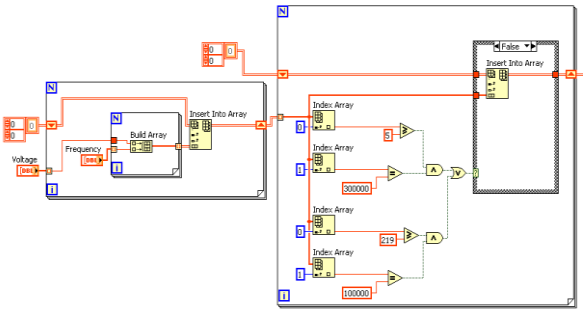


Fig.3. Calibration points' formation

The remote calibration system performs calibration in automatic mode. System requires the user's involvement only in the part of setting the calibration points. When server-VI receives the calibration points' parameters it sends them in sequence to the calibrator, and one by one reads values measured by multimiter.

The automatic calibration process is started by pushing "CALIBRATION" button on the client-VI front panel. During the calibration process the appearance of the cursor on the front panel of the client-VI will change to the system busy cursor. While calibration process the notification "Calibrating in process. Please wait…" will appear on the front panel.

The client commands are then sent via the TCP/IP to the server which runs the calibration process and returns the measurement data to the client. The results are presented in the client-VI front panel as calibration protocol that contains columns of numerical data and light-emitting diodes (leds). The calibration protocol is also recorded to the file on the client computer, and measurement data can be copied from this file for further processing by the user.

The calibration protocol includes the following information:

1) Rated value;
2) Fundamental frequency;
3) Measured value;
4) Range;
5) Absolute error;
6) Related error;
7) Permissible error.

To check whether the instrument passed the calibration, system compares the measurement error with the passport error values. If one of the absolute errors exceeds the permissible error value, the led opposite the exceeded value will become red. AC accuracy specifications of the digital multimeter have the following form. The 2 year accuracy of the meter is ±(% of reading + % of range) at the operating temperatures (23 ± 10) °C. Based on the above specifications, the uncertainty at AC voltage reading can be found. For example, for AC voltage reading of 3.0000 V with a frequency of 100 Hz (measured at 5.0000 V range) the uncertainty is ±(3.000×0.0005 + 5.0000×0.0002) V = ±(0.0015 + 0.001) V = ± 0.0025 V (or 0.083%) [4].

3. Conclusion

Remote calibration system provides remote execution of the calibration procedure, automatic acquisition and rapid calibration results processing. The main advantage of remote calibration is that calibration procedure is automated, and it is required just minimum human's involvement. Remote calibration system based on virtual instrument technology has client-server architecture that allows to send commands and to receive data remotely via the TCP/IP protocol. Today remote calibration technology is urgent for implementing in large companies, which have a lot of branches distributed all over the world, and it is necessary to provide intensive equipment calibration schedule.

References

1. TCTF Guidelines for Remote Calibration. Technical Committee on Time and Frequency, NMIJ, first version, 2012. – 10 p.

2. M. Jurčević, H. Hegeduš, M. Golub (2010). Generic System for Remote Testing and Calibration of Measuring Instruments: Security Architecture// Measurement science review, vol. 10, no. 2, pp. 50-55.

3. M. M. Albu, A. Ferrero, F. Mihai, S. Salicone (2005). Remote Calibration Using Mobile, Multiagent Technology// IEEE Transactions on instrumentation and measurement, vol. 54, no. 1, pp. 24-30.

4. Muravyov S.V. Measurement information systems. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Press, 2005. – 110 p.

THE CALCULATION OF TEMPERATURE FIELD OF FLUXGATE SENSOR CONTROLS THE MAGNETIC ENVIRONMENT OF THE QUANTUM COMPUTER

Khusnulina A.L.
Scientific director: Ogay V.E., assistant
Linguistic director: Chudinova A.I., senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, 30 Lenina
E-Mail: AlenaXyc@gmail.com

Introduction

The elements of quantum computer (qubits) are very sensitive to external magnetic field. The system for creating magnetic vacuum is designed to ensure the working conditions of qubits. It helps to minimize influence of external magnetic fields.

To track the effectiveness of this system, you need a magnetic field meter that measures the magnetic field at the operating temperature of the quantum chip (from 20 to 50 mK) with accuracy upper than 1 nT [1-2].

Planar fluxgate sensors are more widely used as magnetic field sensors at low temperatures [3-4].

This paper is about the estimation of time for the establishment of thermal equilibrium that necessary to ensure the functioning of the fluxgate sensor at cryogenic temperatures in the proposed type of sensor design.

To solve this problem three-dimensional model of the thermal field in the single-component fluxgate in CAD COMSOL Multiphysics was constructed.

Geometry construction

Fluxgate sensor consists of two PCBs with excitation coils. On the back side of one of which the core and two printed circuit boards with reading coils are glued.

Boards with excitation coils are connected by a superconducting wire and than boards with readout coils are glued on the both sides of the construction got.

The topology of the circuit board with an excitation coil is in Figure 1, the topology of the circuit board with a reading coil presented in Figure 2a, the geometry of the given PCB in the CAD COMSOL is in Figure 2b.

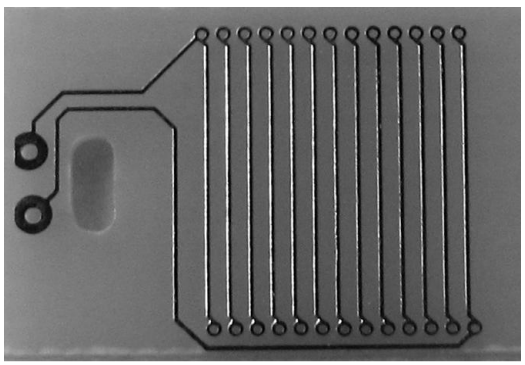
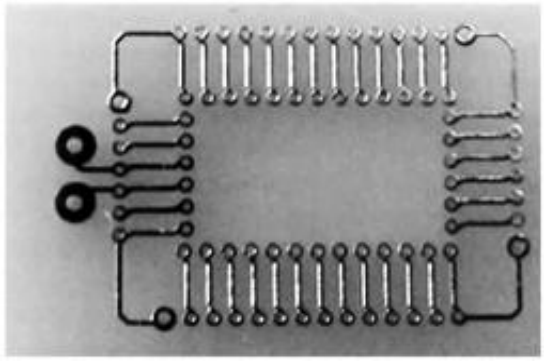


Figure 1. Printed circuit board with reading coils



a)

b)

Figure 2. Printed circuit board (a) and the geometry of the printed circuit board (b) with an excitation coil

Figure 3 shows the geometry of the assembled fluxgate sensor.

Boards in the picture are located at some distance from each other for the correct demonstration of the elements.

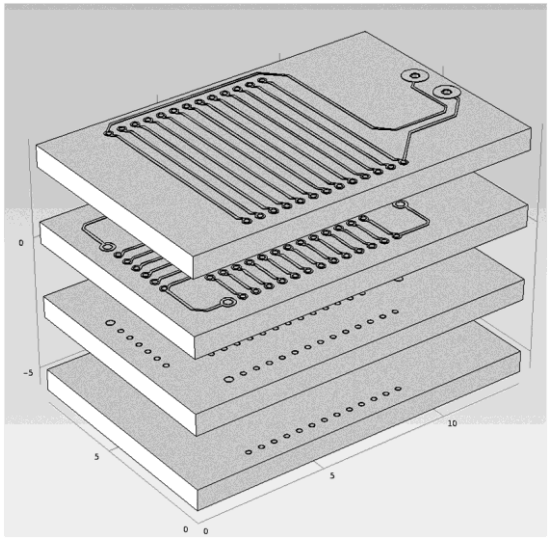


Figure 3. The mutual position of PCB ferroprobes

Materials assignment

Conductors on printed circuit boards are made of copper which has high thermal conductivity at low temperatures. Copper wires are coated with lead-tin alloy with the superconducting transition temperature of about 5.3 K to give superconducting properties to the coils. Conductor coils are connected by a copper-clad NbTi wire.

Core is made of the material FINEMET [5]. And circuit boards are made of textolite.

Set of the boundary conditions

Heat is generated just on the core of sensor because coils operate in superconducting mode and thermal energy is not evolving on them. Ferroprobes cooling occurs through pathways that connect directly the sensor and the charge cooling which in its turn is at the temperature of 4 K.

Fluxgate sensor is situated in vacuum so there are no heat losses through the other surfaces there. Heat losses can be neglected because of the radiation.

Heat losses in the core are 37 W / kg for the saturation field of 1 T and frequency of 10 kHz [6]. So, for the field of 1.23 T and 20 kHz heat losses are over 91 W / kg. The FINEMET density is $7{,}3 \cdot 103$ kg/m^3 which makes heat 0.0125 W/m^3

Thus, the temperature of 4 K on cooling board and fluxgate sensor are created as the boundary conditions because the sensor is in temperature equilibrium with the cooling plate before the measurement.

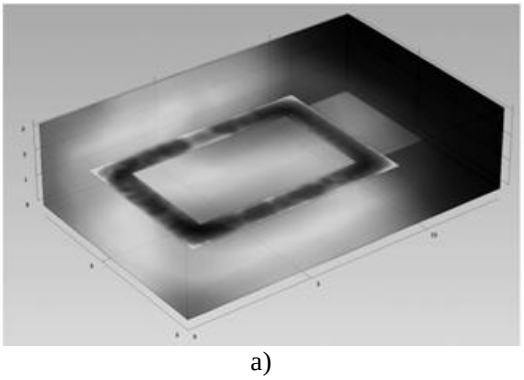
In the fluxgate sensor core heat emission is set to 0.0125 W/m^3.

Results

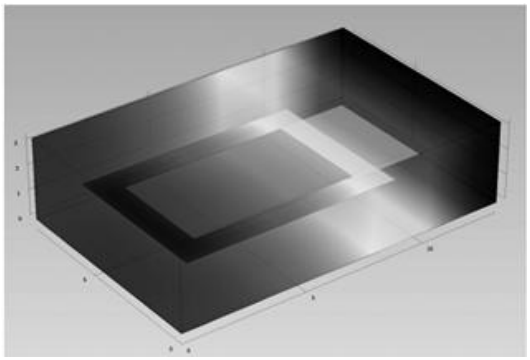
The research of the temperature field fluxgate sensor is not a trivial task because of the presence of internal heat sources caused by the passage of current in the coils of fluxgate. It is important to know the volumetric heat emission rate in researching heat transfer in such cases.

The results of a two-step dynamic simulation of heat distribution (general and more detailed) showed that the thermal stabilization occurs at the 535th second.

The distribution of the thermal field at the beginning of core heating and at the moment of stabilization is in Figure 4.



a)



b)

Figure 4. The distribution of the thermal field at the 20th second (a) and at the 535th second (b) since the beginning of the fluxgate sensor excitation

Conclusion

The results of simulation showed that while applying superconducting coils of excitation coils and reading coils heat generation dramatically minimizes in the process of fluxgate sensor work and thermal equilibrium occurs at the 535th second after energizing the field on the coil fluxgate sensor. Consequently, the fluxgate sensor is ready for use 10 minutes later after power-up which is several times smaller than that of the existing analogue.

The work was supported by the Federal Target Program "Research and Research-Pedagogical Personnel of Innovation Russia" for 2009-2013under the state contract № 14.740.11.0950.

References

1. Johnson M.W., Amin M.H.S., Gildert S. et al. Quantum annealing with manufactured spins // Nature, Vol. 473, Issue 7346, 2011, pp. 194–198.

2. Uchaikin S., Likhachev A., Cioata F. et al. 3D magnetometer for a dilution refrigerator // Proceedings of the 26th International Conference on Low Temperature Physics (LT26), August 10-17, 2011, Beijing, China, Institute of Physics at Chinese Academy of Sciences.

3. Uchaikin S.V. Fluxgate Magnetometer for Cryogenics. // Proceedings of the 21st International Conference on Low Temperature Physics (LT21), Czechoslovak Journal of Physics, 1996, 46, S5, 2809.

4. Ando B., Baglio S., Bulsara A.R., Trigona C. Design and characterization of a microwire fluxgate magnetometer // Sensors and Actuators A, Vol. 151. – 2009. – P. 145-153.

5. Finemet. EMC Components // Materials Magic, Hitachi. April 2007.

6. Nanocrystalline soft magnetic material // Materials Magic, Hitachi. – April 2005.

MAGNETIZING CURRENT RESTRICTION

Beykov M. V.
Scientific adviser: Prof. Dr. Kazantsev Y.M.
Language advisor: Prof., Dr. Troitsky O.Y.
Institute of Non-destructive testing at National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin av., Tomsk, 634050, Russia
E-mail: Beykovmv@gmail.com

Abstract

For a full-bridge switching-mode power supplies different turn-on and turn-off delay times of power semiconductors and different on-state voltages of the valves would cause an unbalance of the positive and negative volt-seconds applied to the high frequency transformer within a pulse period and would result in transformer core saturation.

This paper propose a concept for actively ensuring a symmetric magnetization with switching frequency of the transformer magnetic core of power supply based on measurement and restriction of the magnetizing current. The magnetizing current is determined by subtraction of the transformer primary and the secondary currents being weighted according to the transformer turns ratio. Currents are measured by two DC-current sensors. Subtraction is realized by special circuit based on digital signal processor.

1. Introduction

It's well-known that when full-bridge switching mode power supply (SMPS) is designed the attention should be paid to transformer reversal. Ideally the magnetic core of transformer is switched by symmetric volt-seconds applied to the transformer within a pulse period. However, in practice the power semiconductor on-state voltages, ohmic losses, finite transistor turn-off times, delay times of the transistor gate drive circuits and the ripple of the input filter capacitor voltage cause a deviation of the actual voltage applied to the transformer primary side from the ideal voltage shape which is assumed for the calculation of the relative on-time of the power transistor in order to guarantee a transformer volt-seconds balance. It may result in the unbalance of positive and negative volt-seconds applied to transformer. It causes displacement of magnetic hysteresis loop from point O up to point O1 (fig.1).

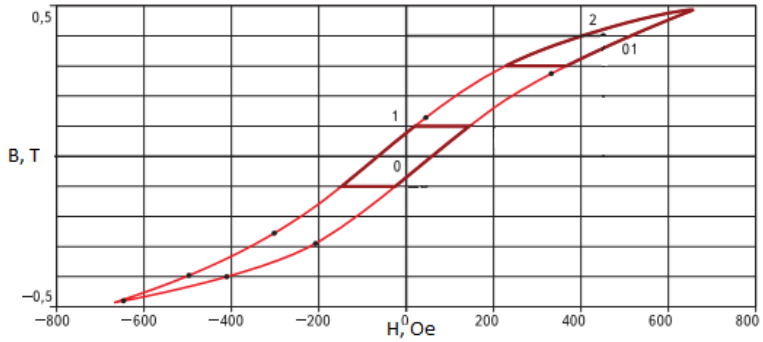


Fig.1. Hysteresis loop displacement

Furthermore, it may bring about one-way magnetic core saturation and huge current surges (fig.2).

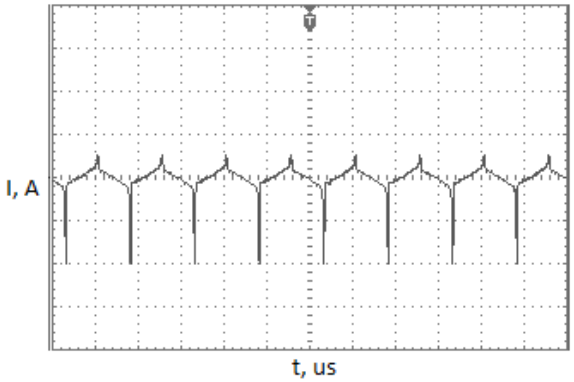


Fig.2. Magnetizing current

It reduces system reliability and efficiency due to additional losses, and increases electromagnetic influence.

A simmetrization of the magnetic core switching by passive means, i.e. by the insertion of ohmic resistor or by an artificial increase of parasitic wire resistances is not possible or sufficient for high efficient systems.

Inserting an air-gap in the transformer core would result in an increase of the maximum tolerable magnetizing current [1], which would reduce the resistance values required for a passive symmetrization. However, a magnetizing current being too high in magnitude results in a significant distortion of the mains current and in an increase of the conduction losses of the power semiconductors.

Alternatively, as proposed in [1], [2] a blocking capacitor could be connected in series with the transformer primary for ensuring the symmetric magnetic reversal. The voltage which then actually is applied to the transformer primary winding does only contain components with switching frequency. However, as it has become clear by a closer experimental analysis of

this concept, a resonance between the main inductance of the transformer and the blocking capacitor might occur.

Therefore, the appropriate way to prevent the SMPS against one-way magnetic core saturation is an actual problem.

2. Measurement of the core reversal

There is a lot of approaches to measure the magnetizing current. Some of them are based on magnetic short-circuit of flux via additional cores. It assumes to use split-type magnetic core or to split or drill the core that decreases durability of magnetic core. So that it makes it non-manufacturing. Besides, these methods are low speed response and low sensitive. Therefore, they are uncommonly used.

Another way is to use special reversal sensors that provide signal prorated magnetizing current.

The easiest way to realize such kind of sensor is to use two DC-current sensors measuring the primary and secondary transformer current. Then these signals are subtracted according to the transformer ratio

Finally, there is a signal prorated to magnetizing current that is used for restriction of magnetic saturation. It provides the signal with high speed response and sensitivity.

3. Magnetizing current restriction

Protection SMPS against one-way magnetic saturation is obtained by magnetizing current restriction. The point is to limit the magnetizing current under acceptable level depended on other factors and can be determined experimentally.

This method has a huge disadvantage: the level of magnetizing current restriction is fixed and it results in undesirable current surges while low primary voltage is occurring (fig.3). It reduces efficiency of SMPS and increase electromagnetic influence.

To avoid this operation condition it's considered to use additional sensor to measure the primary voltage.

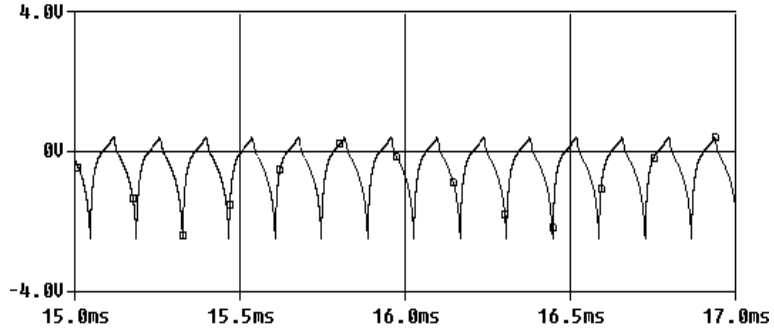


Fig.3. Magnetizing current at low primary voltage

Sensor output signal is used to calculate the acceptable level of magnetizing current restriction according to the primary voltage. It allows to reduce the undesirable current surges (fig.4) under any primary voltage and obtained appropriate result.

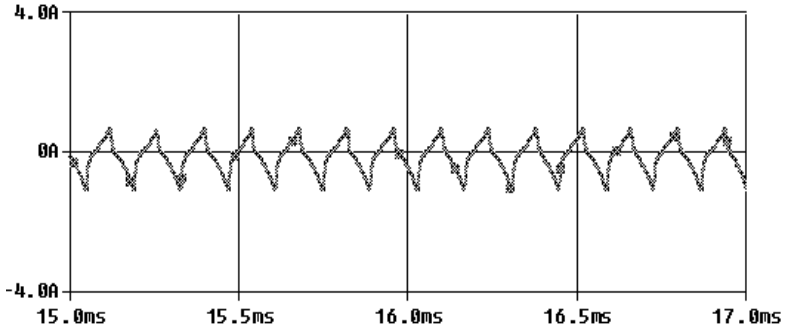


Fig.4. Magnetizing current at low primary voltage

4. Conclusion

Without active control of the magnetizing current there is the possibility of an unreliably high magnetizing current possibly resulting in a saturation of the transformer of SMPS. If methods are employed which allow higher magnetizing current and passive symmetrization, the increased magnetizing current distorts the ideal input current shape.

The presented approach to provide the one-way saturation protection allows to design SMPS having high efficiency, reliability and low electromagnetic influence.

References

1. Patel R. Detecting impending core saturation in switching-mode power converters. Proceeding of the 7th National solid-state power conversion conference, pp. B-3/1–B-3/11 (1980).

2. Pankau J., Leggate D., Schlegel D., Kerkman R,. and Skibinski G. High frequency modeling of current sensors. Proceeding of 14th IEEE applied power electronics conference, Dallas, Vol. 2, March 14-18, pp. 788-794 (1998).

СЕКЦИЯ 3

Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств

SECTION 3

Technology, equipment and machine-building production automation

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РУЖЕЙНЫХ СВЁРЛ ДИАМЕТРОМ 2,22ММ

Бабаев А.С.
Научный руководитель: Кирсанов С.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: temkams@mail.ru

При производстве топливной аппаратуры (форсунки, распылители и др.) возникает потребность в сверлении глубоких отверстий диаметром менее 3 мм. Для этой цели чаще всего используют «классические», а в последнее время и цельные твёрдосплавные ружейные свёрла, выпуск которых относительно недавно освоил ряд немецких фирм: *Botek, Guhring, Tiefbohrtechnik.*

«Классическое» ружейное сверло (рис. 1, а) состоит из твёрдосплавного наконечника припаянного к стальному стеблю. У цельного твёрдосплавного ружейного сверла (рис. 1, б) наконечник и стебель составляют единый твёрдосплавный стержень. Его модуль упругости более, чем в 3 раза превышает модуль упругости стебля «классического» ружейного сверла. Поэтому по сравнению с последним цельные твёрдосплавные ружейные свёрла обладают большими жёсткостью, прочностью, виброустойчивостью и, как следствие, большей производительностью. Отсюда следует, что эти свёрла должны обладать и разными технологическим возможностями, сведения о которых в литературе отсутствуют. В этой связи в ОАО «Барнаултрансмаш» были проведены сравнительные испытания ружейных свёрл обеих конструкций (рис. 1) специально изготовленных по нашим чертежам фирмой *Botek*, руководству которой автор приносит глубокую благодарность.

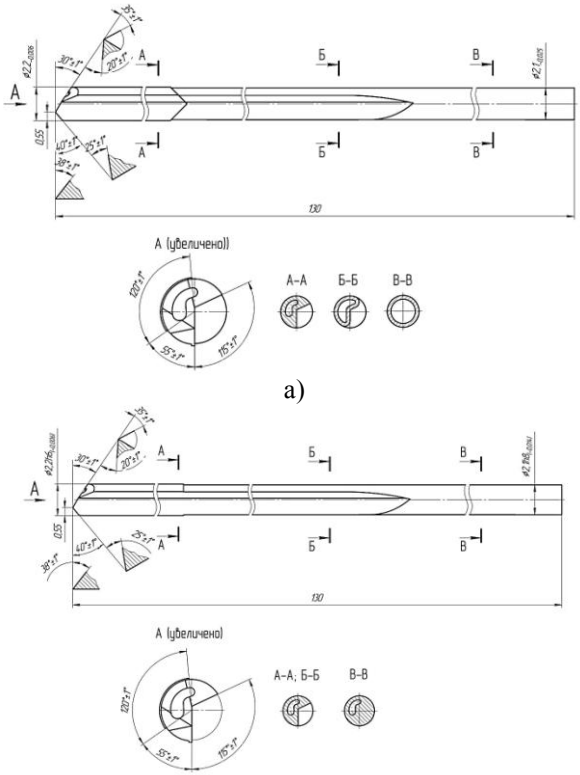
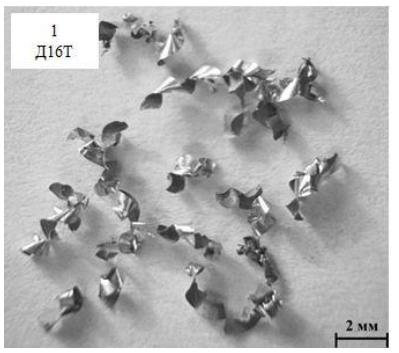


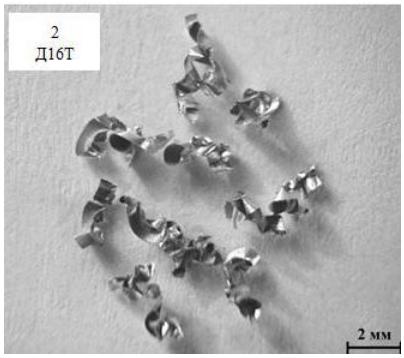
Рис. 1. Ружейные свёрла: а – «классическое»; б – цельное твёрдосплавное

Испытания проводили путём сверления на станке модели *BEM* 84/0,25 фирмы *SIG* (Швейцария) отверстий диаметром 2,22 мм и глубиной 60 мм в заготовках из стали Сталь 45, чугуна СЧ15 и дюралюминия Д16Т. Режим сверления: частота вращения сверла n=7100 мин$^{-1}$ (скорость резания V=49 мм/мин), подача – $S_М$=63 мм/мин, давление смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) марки МР-7 p=4…5 МПа.

Всего было просверлено 18 заготовок по три заготовки для каждого сочетания конструкции сверла и обрабатываемого материала. Диаметр отверстий измеряли нутромером повышенной точности фирмы *Carl Ziess* (Германия), предварительно разрезав заготовки на кольца шириной 7 мм. Шероховатость отверстий контролировали профилометром-профилографом *Form Talysurf* фирмы *Rank Taylor Hobson* (Великобритания).

В процессе сверления осуществлялся непрерывный контроль образующейся стружки, при этом во всех случаях стружка имела транспортабельную форму, не зависящую от конструкции сверла (рис. 2).





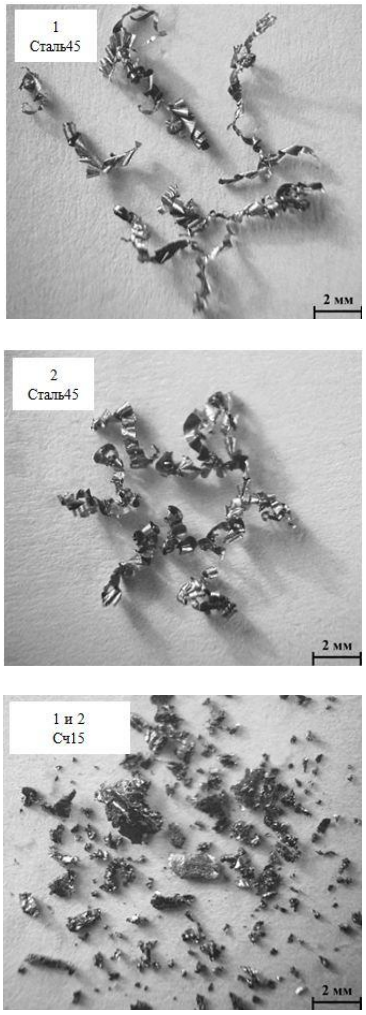
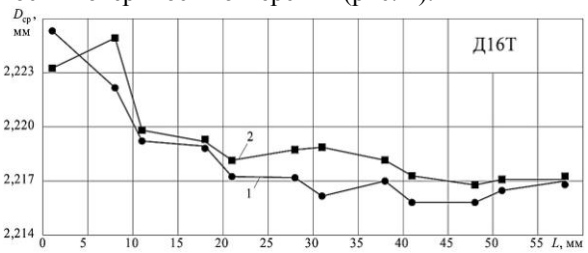


Рис. 2. Формы стружки, образующейся при сверлении глубоких отверстий ружейными свёрлами Ø2,22
(1- «классическое» сверло,
2 – цельное твёрдосплавное сверло)

Измерения диаметров отверстий показали, что при засверливании имеет место повышенная разбивка отверстий (рис. 3). При этом цельные твердосплавные ружейные свёрла благодаря большей жёсткости обеспечивали и большую разбивку отверстий. А из-за пониженной выглаживающей способности этих свёрл, также вызванной высокой жёсткостью стебля, наблюдается рост шероховатости поверхности отверстий (рис. 4).



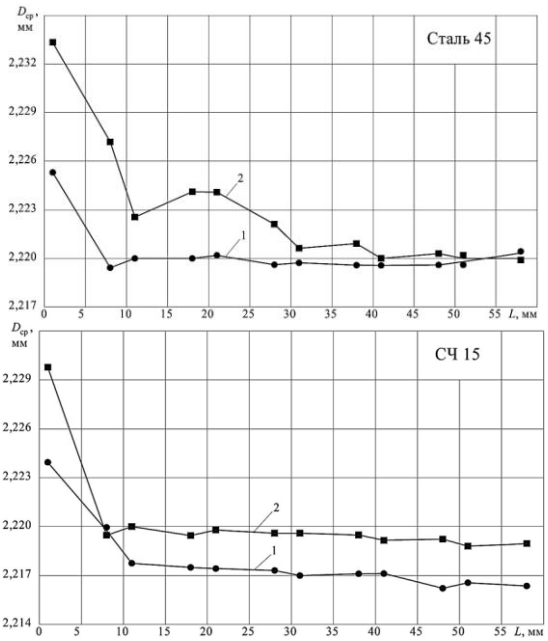


Рис. 3. Изменение среднего диаметра $D_{ср}$ отверстий по их длине L:
1 – «классическое» ружейное сверло;
2 – цельное твёрдосплавное ружейное сверло

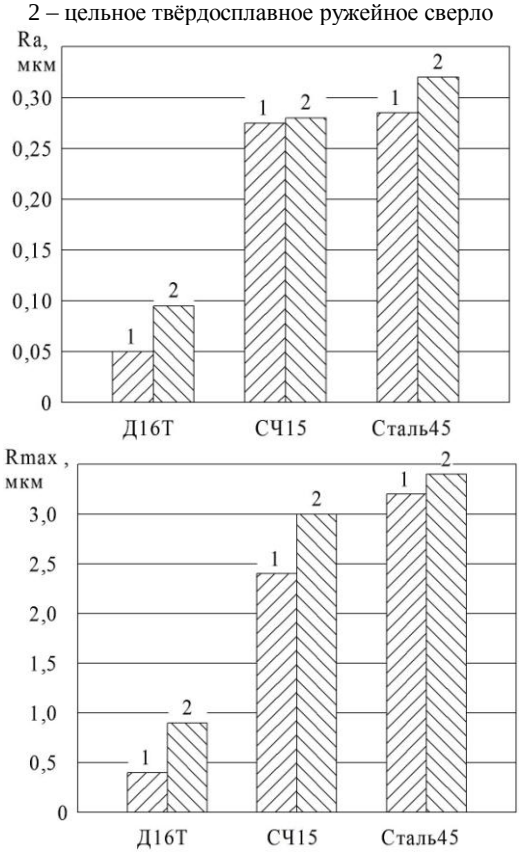


Рис. 4. Шероховатость поверхности отверстий просверленных ружейными свёрлами:
1 – «классическими»; 2 – цельным твёрдосплавными

Установленные закономерности позволяют более обоснованно подходить к назначению диаметров ружейных свёрл и к разработке маршрута обработки глубоких отверстий с точки зрения достижения требуемой точности и шероховатости поверхностей отверстий.

ВЛИЯНИЕ «СУХОГО» ПОЛИРОВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТВЁРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Бабаев А.С., Шаповалов К.Ю.
Научный руководитель: Кирсанов С.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: temkams@mail.ru

Подготовка рабочих поверхностей режущих инструментов перед нанесением износостойкого покрытия оказывает существенное влияние на его физико-механические характеристики [1]. В последнее время для этой цели дополнительно применяют «сухое» полирование инструментов, осуществляемое на полировальных установках фирмы *MultiFinish* (Германия). На силу сцепления покрытия с подложкой оказывает воздействие шероховатость, при этом увеличение площади взаимного контакта повышает адгезию покрытия. В настоящей статье приведены результаты исследования влияния «сухого» полирования на достигаемые параметры шероховатости твёрдосплавных образцов.

В исследовании в качестве инструментального материала использовали пластинки из однокарбидного твёрдого сплава ВК8 по ГОСТ 3882-74. Различную исходную шероховатость образцам задавали шлифованием алмазными кругами зернистостью 100/80 (группа I), 63/50 (группа II), 28/20 (группа III) и полированием алмазной пастой зернистостью 2/1 (группа IV) на войлоке.

Образцы каждой группы подвергали «сухому» полированию на установке модели *MFD*100 фирмы *MultiFinish* (рис. 1) в абразивной смеси, состоящей, по рекомендации фирмы, из 70% *SiC* зернистостью 0,8…1,3 мм и 30% гранул скорлупы грецкого ореха зернистостью 0,8…1,3 мм.

Контроль шероховатости образцов выполняли на оптическом интерферометре модели *NewView* 7300 фирмы *Zygo* (США). На каждом образце в трёх местах измеряли трёхмерный параметр шероховатости, который в соответствии с *ISO/DIS* 25178-2:2010 вычислялся по формуле [2]:

$$Sa = \frac{1}{MN} \sum_{k=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \left| Z_{jk} \right|,$$

где M – количество точек на профиле, N – количество профилей в пределах измеряемого участка, Z – высотная координата точки. Обработку результатов измерений шероховатости выполняли с помощью программы *MetroPro* фирмы *Zygo*. Одним из важных достоинств трёхмерного измерения топографии поверхности является визуализация с помощью компьютера и вычисление новых значимых параметров, например, площади контакта, которые не представляется возможным оценить при традиционном подходе [3].

Работа по поиску оптимальных режимов «сухого» полирования твёрдосплавного инструмента выполнялась в следующей последовательности:

1. Исследовали влияние частоты вращения образцов при «сухом» полировании на шероховатость их поверхностей.

Условия эксперимента: частота вращения образцов n=20; 40; 60 мин$^{-1}$, время полирования t=7 мин. Для каждого сочетания частоты вращения и исходной шероховатости брали по три образца из твёрдого сплава марки ВК8 (всего 27 образцов).



Рис. 1. Установка *MFD*100 фирмы *MultiFinish*, предназначенная для «сухого» полирования осевого режущего инструмента

Влияние частоты вращения образцов на интенсивность уменьшения шероховатости оценивали коэффициентом

$$K = \frac{Sa^{и} - Sa^{к}}{Sa^{и}} \cdot 100\%,$$

где $Sa^{и}$ - исходная шероховатость образцов, мкм; $Sa^{к}$ - конечная шероховатость образцов, мкм.

Исследование показало (табл.), что с увеличением частоты вращения образцов коэффициент интенсивности уменьшения шероховатости растёт. При этом, чем меньше исходная шероховатость, тем меньше коэффициент K, а при «сухой» полировке образцов из группы IV шероховатость наоборот увеличивается за счёт появления на поверхности борозд, оставленных частицами *SiC*, входящими в состав полировальной смеси.

Таблица 1. Влияние частоты вращения образцов на шероховатость их поверхностей (ВК8, t=7 мин)

n, мин$^{-1}$	$\frac{Sa^{и}}{Sa^{к}}$ группа I	K, %	$\frac{Sa^{и}}{Sa^{к}}$ группа II	K, %	$\frac{Sa^{и}}{Sa^{к}}$ группа III	K,%
20	0,275 / 0,258	6	0,155 / 0,140	10	0,072 / 0,072	0
40	0,337 / 0,286	15	0,153 / 0,132	14	0,062 / 0,060	0
60	0,326 / 0,266	18	0,155 / 0,131	16	0,062 / 0,063	0

Для повышения адгезионной прочности покрытия с подложкой последняя должна обладать наибольшей площадью контакта с покрытием. При исследовании трёхмерной текстуры поверхности установить повышение этой площади после «сухого» полирования можно за счёт изменения параметров по *ISO* 4287 1996, описывающих кривую относительной опорной площади профиля так же известную под названием кривая Аббота-Файрстоуна (рис. 2) [3]. Например, параметр *Mr1* указывает на значение уровня сечения вершин профиля в процентах от величины наибольшего выступа позволяет, а *Rpk* – среднее арифметическое значение высот вершин, расположенных выше выбранного уровня сечений профиля. При одновременном уменьшении величины параметра *Rpk* и уменьшении процентного значения *Mr1* происходит повышение доли материала, приходящегося на участок выше средней линии профиля (впадины), что увеличивает фактическую площадь контакта поверхности подложки с покрытием.

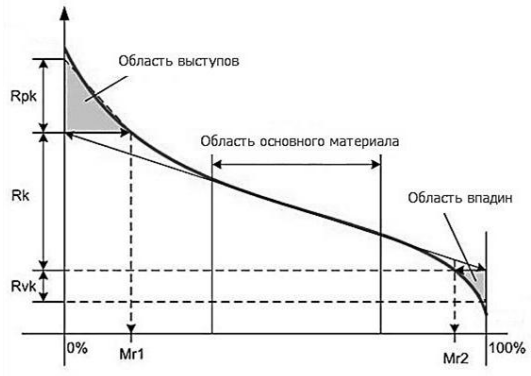


Рис. 2. Кривая относительной опорной площади профиля по *ISO* 4287 1996

В указанном эксперименте уменьшение параметра *Mr1* происходит в пределах 2…8%, а параметра *Rpk* – 13…25%, что при нанесении износостойкого покрытия будет положительно сказывать на адгезионной прочности, особенно при работе в тяжёлых условиях.

2. Исследовали влияние времени «сухого» полирования на шероховатость образцов.

В предыдущем эксперименте получено оптимальное значение числа оборотов при «сухом» полировании (n=40 мин$^{-1}$), при котором происходит достаточное снижение шероховатости. Так же на этой частоте вращения установка в меньшей степени, чем на более высоких оборотах вращения, подвержена вибрациям, возникающим за счёт высокой угловой скорости и смещения центра масс при вертикальном закреплении инструмента. Поэтому в данном эксперименте принимаем следующие режимы: частота вращения образцов n=40 мин$^{-1}$, время полирования t=0; 2; 4; 6; 8; 12 мин. Для каждого значения исходной шероховатости брали по 3 образца из твёрдого сплава марки ВК8 (всего 12 образцов) и последовательно их подвергали «сухому» полированию.

Было установлено (рис. 3), что экспериментальные зависимости сглаживания рельефа микронеровностей поверхностей образцов от времени процесса носят немонотонный характер. Целесообразно ограничивать время «сухого» полирования в интервале от 4 до 8 минут, т.к. большая длительность процесса полировки не даёт ощутимых результатов. Кроме того, чем ниже исходная шероховатость, тем менее заметен результат применения «сухого» полирования.

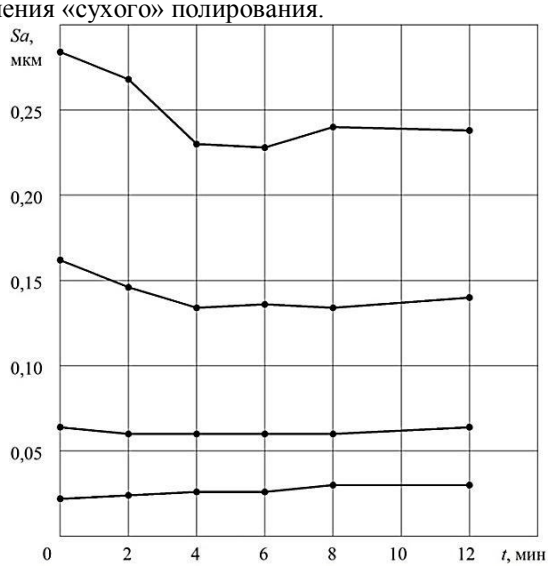


Рис. 3. Влияние времени t «сухого» полирования на шероховатость образцов (ВК8, n=40 мин$^{-1}$)

3. Исследовали влияние содержания (%, мас.) кобальта в твёрдом сплаве на шероховатость образцов.

Условия эксперимента: частота вращения образцов n=40 мин$^{-1}$, время полирования t=7 мин. Для четырёх значений исходной шероховатости брали по 3 образца трёх марок твёрдых сплавов: ВК3-3% *Co*, ВК8-8% *Co*, ВК15-15% *Co* (всего 36 образцов).

Измерение шероховатости показали (рис. 4), что с увеличением содержания кобальта процесс изменения микрорельефа при «сухом» полировании происходит интенсивнее, что объясняется меньшей твёрдостью *HRA* твёрдого сплава. При этом поверхность образцов имеющих низкую ис-

ходную шероховатость ($Sa^{и} \leq 0{,}05$ мкм) становится заметно грубее. Происходит это в связи с тем, что острые кромки зёрен *SiC* царапают полированную (группа IV) поверхность твёрдого сплава.

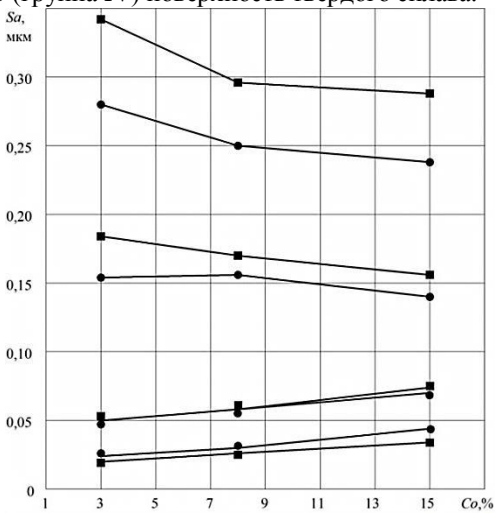


Рис. 4. Влияние содержания кобальта (%, мас.) на шероховатость образцов: ■– исходная шероховатость; ●– шероховатость после «сухого» полирования (n=40 мин$^{-1}$ и t=7 мин)

Выводы:

1. «сухое» полирование заметно снижает шероховатость поверхностей образцов;
2. установленные зависимости позволяют обоснованно подходить к выбору режимов «сухого» полирования твёрдосплавного инструмента;
3. «сухое» полирование влияет на площадь опорной поверхности профиля, что позволяет ожидать в результате «сухой» полировки повышения адгезионной прочности после нанесения покрытия.

Список публикаций

1. Наноструктурные покрытия. Под. Ред. А.Кавалейро, Д. де Хоссона. – М.: Техносфера, 2011. – 752с.

2. Р. Лич Инженерные основы измерений нанометровой точности: Учебное издание. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 400с.

3. Д. Уайтхауз Метрология поверхностей. Принципы, промышленные методы и приборы. – М.: Издательский Дом «Интеллект», 2009. – 472с.

ВРАЩАЮЩАЯСЯ ЭЛЕКТРОДНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЧИСТКИ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫМ МЕТОДОМ

Байменшин А.М., Журавлев М. В., Шубин Б. Г.
Научный руководитель: Шубин Б. Г., к. ф.-м. н., с. н. с.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aman.1989@mail.ru

Дуговая сварка продолжает оставаться одной из наиболее распространенных технологий сварочного производства. В большей степени это относится к сварке плавящимся электродом. Что касается сварки неплавящимся электродом, то по объемам применения она заметно уступает сварке плавящимся электродом. В то же время обе технологии продолжают развиваться и совершенствоваться.

Объем потребления сварочной проволоки остается неизменно высоким и имеет тенденцию к росту, которая по прогнозу экспертов будет сохраняться и в ближайшем будущем, что приведет к стабилизации применения покрытых электродов на уровне 15-20%. Примерно такой уровень потребления электродов уже достигнут в европейских странах с развитой экономикой.

Основными факторами, определяющими результат механизированной дуговой сварки, являются: качество электродной проволоки, эффективная защита зоны сварки, правильный выбор источников питания и сварочного оборудования в целом, профессиональная квалификация сварщика и техническая культура производства. Для потребителя важны такие характеристики электродной проволоки, как:

- допустимое отклонение от номинального диаметра;
- постоянство химического состава;
- состояние поверхности;
- обеспечение надежности токоподвода;
- временное сопротивление разрыву;
- диаметр намотки и собственное напряжение «закрутки»;
- размеры кассет и катушек для проволоки;
- вид намотки и упаковки.

Актуальной проблемой технологии сварки является очистка поверхности используемой проволоки. При автоматической сварке необходимо удалить с поверхности проволоки разного рода загрязнения, так как они значительно увеличивают контактное сопротивление, что приводит к ухудшению качества сварки.

Обработка сварочной проволоки может быть осуществлена несколькими способами. В настоящее время в основном используется дорогостоящая омедненная сварочная проволока.

Основное назначение медного покрытия заключается в обеспечении хорошего электрического контакта при подаче сварочного тока на проволоку. Но, с экологической точки зрения применение медного покрытия на сварочной проволоке приводит к опасному загрязнению производства и окружающей природы. Кроме того, качество сварного шва снижается при использовании омедненной проволоки.

В качестве альтернативы омеднению ведущие мировые производители освоили выпуск проволо-

ки со шлифованной и полированной поверхностью. Ее стоимость на 5 .. 8% выше, чем омедненной.

Недостатком этих методов подготовки проволоки является интенсивное корродирование сварного шва в атмосфере влажного воздуха.

Существуют и другие методы для очистки поверхности, но не все они является экологически чистыми, безопасными, малозатратными и эффективными.

В связи с этим необходимы недорогие (как по стоимости, так и в эксплуатации) установки для очистки поверхности, которые бы обеспечивали ее высокую коррозионную стойкость. Этим требованиям отвечает плазменно-дуговой и электроискровой способы обработки поверхности.

Плазменно-дуговые установки позволяют экологически чисто, высококачественно и дешево очистить и обезгазить сварочную проволоку перед ее применением. При этом одновременно осуществляется термовакуумная обработка сварочного материала, что еще больше повышает качество сварки. Стоимость плазменно-дуговой очистки сварочной проволоки существенно ниже, чем кислотная или другая очистка.

Перспективным, по нашему мнению, представляется электроискровой метод очистки поверхности металла. Этот метод также является экологическим чистым и в отличие от плазменно дугового позволяет обрабатывать проволоку диаметром до 1мм.

Ранее проводились работы по исследованию очистки поверхности металла электроискровым методом [1], [2]. В данных работах показана возможность очистки металла от коррозии электроискровым методом. Но в данных работах исследования проводились на листовой стали, а не на проволоке. Для проведения экспериментов на проволоке была разработана электродная система с вращающим электродом, позволяющая обработать ее поверхность. (рис. 1).

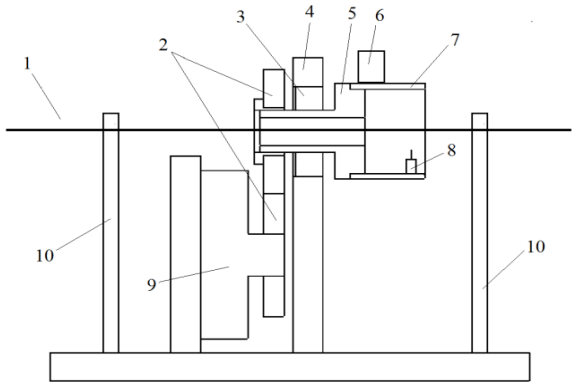


Рис.1. Электродная система: 1 – проволока (катод), 2 – шестерни, 3 – подшипник, 4 –опора, 5 – втулка, 6 – угольная щетка, 7 – латунный цилиндр, 8 – высоковольтный электрод, 9 – двигатель, 10 – направляющие стойки.

Электродная система состоит из двух электродов. Роль низковольтного электрода выполнят очищаемая проволока 1. Высоковольтным электродом является латунный цилиндр 7 с вольфрамовым наконечником 8. Латунный цилиндр закреплен на опоре 4 при помощи изолирующей втулки 5 и подшипника 3. Вращение высоковольтного электрода осуществляется двигателем 8 при помощи двух шестерен 2. Высокий потенциал передается на высоковольтный электрод при помощи угольной щетки 6. Чтобы проволока на участке обработки была прямой, ее пропускают через две направляющие стойки. Также направляющие стойки предназначены для того, чтобы обеспечить плавность хода проволоки и ее заземление.

Для подачи проволоки предназначена система состоящая из подающей и принимающей катушек с приводом вращения принимающей катушки. При вращения привода проволока наматывается на принимающую катушку проходя через вращающую электродную систему.

Скорость движения проволоки и скорость вращения высоковольтного электрода выбирается таким образом, чтобы очистить всю поверхность.

Был сделан расчет скорости вращения высоковольтного электрода. За основу в расчете берется то, что высоковольтный электрод вращается вокруг проволоки, оставляя на ней очищенные пятна с диаметром d. Каждое следующее пятно перекрывает предыдущее на 50% по диаметру. После полного оборота по окружности проволоки получается очищенная линия с шириной равной диаметру пятна. Таким образом скорость движения проволоки и вращения электрода зависят от частоты генератора, диаметра эрозионного пятна и диаметра проволоки. Учитывая выше изложенное можно вывести следующие выражения:

$$N = \frac{\pi \cdot d}{0{,}5 \cdot d_{пятно}}$$

$$\nu = \frac{d_{пятно} \cdot f}{d}$$

$$\vartheta = \frac{0{,}5 \cdot d_{пятно} \cdot f}{N}$$

ν – частота вращения электрода.
ϑ – скорость движения проволоки.
d – диаметр проволоки.
$d_{пятно}$ – диаметр пятна.
N – количество пятен по окружности проволоки.
f – частота генератора.

Вследствие обработки на проволоке получается винтовая спираль с перекрытием в половину d.

Список литературы

1. Егоров Ю. П., Журавлев М. В., Ремнев Г. Е., Слободян М. С., Стрелкова И. Л., Шубин Б. Г. Электроискровая очистка поверхности стали 08Г2С // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 2. – С. 63-67.

2. Егоров Ю. П., Журавлев М. В., Ремнев Г. Е., Слободян М. С., Стрелкова И. Л., Шубин Б. Г. Формирование аморфного приповерхностного слоя при электроискровой обработке стали 08Г2С // Изв. вузов. Физика. – 2011. – №11/3. – С. 175-178.

ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ И ЧИСЛА ПРОХОДОВ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКЕ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ Р6М5

Белобородов Е.О., Хамматов А.Н.
Научный руководитель: Хайдарова А.А., к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: evgeniy_white_beloborodov@mail.ru

В современных условиях ресурсоэффективности и энергосбережения одной из наиболее актуальных задач тяжелой промышленности является повышение надежности и эффективности эксплуатации оборудования. Энергоэкономичность объектов машиностроения напрямую зависит от снижения потерь мощности на преодоление сил трения и потерь материала деталей в результате износа. Задачу экономии материала во многих случаях решают поверхностным упрочнением деталей. Постоянно ведется поиск новых методов упрочнения и восстановления деталей машин, среди которых активно развиваются дуговые методы наплавки [1], газотермические способы нанесения покрытий [2], наплавка с использованием высококонцентрированных источников энергии [3-5].

В качестве упрочняющих материалов в последнее время рассматриваются новые композиционные материалы на основе стали Р6М5, которые наряду с высокой прочностью и износостойкостью обладают трещиностойкостью, что позволяет применять их при знакопеременной нагрузке. Среди методов нанесения таких материалов широко используется вакуумная электронно-лучевая наплавка, влиянию режимов которой на формирование структуры и свойств покрытий посвящено большое количество работ [6,7]. В связи с ограниченностью применения данного способа при упрочнении поверхностей крупногабаритных деталей механизмов и машин рассматривается способ плазменной порошковой наплавки [5,8]. Несмотря на объем проведенных исследований в настоящее время отсутствуют данные по влиянию числа проходов и поперечных колебаний на формирование структуры и свойств наплавленного металла на основе стали Р6М5. Поэтому целью данной работы является исследование структуры и свойства покрытий на основе стали Р6М5, полученных методом плазменной порошковой наплавки при введении поперечных колебаний плазмотрона и изменении количества слоев и в процессе наплавки.

Методика и материалы исследования.

Плазменно-порошковую наплавку производили с использованием установки УПН-303УХЛ4, серийно выпускавшейся ВНИИЭСО. Расход транспортирующего и защитного газа составлял 10…16 л/мин, расход плазмообразующего газа – 2 л/мин. В качестве защитного и плазмообразующего газа использовался аргон высшего сорта по ГОСТ 10157-79 (99,993 %). В качестве наплавляемого материала использовали порошок стали Р6М5 с гранулометрическим составом 100…350 мкм. Порошок наплавляли на пластины из стали 20 толщиной 10 мм. Расход порошка составлял 1,9 кг/ч. Сила тока и скорость плазменной наплавки были отработаны в исследованиях [9], поэтому в данной работе наплавку производили при силе тока (I) 200 А со скоростью (Vсв) – 6 м/ч. На рис. 1 представлены схемы нанесения покрытия.

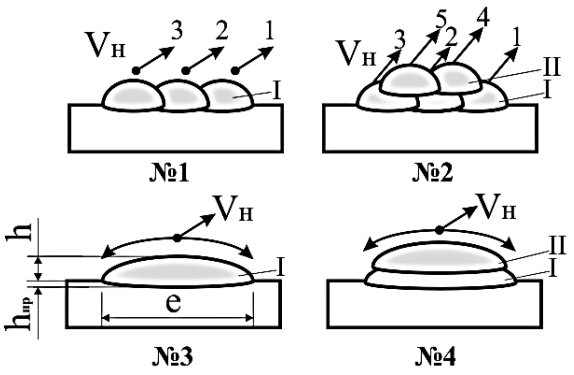


Рис. 1. Схемы наплавки

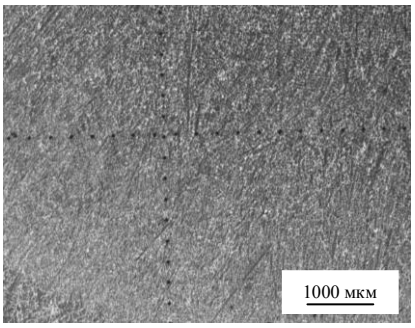
Исследования макро- и микроструктуры производили с использованием микроскопа OLYMPUS GX51 и комплекта прикладных программ SIAMS 700. Травление осуществляли в два этапа. Первый этап заключался в выявлении сетки карбидов методом окунания в нагретый до 60…80 °С реактив $K_3[Fe(CN)_6]$:КОН:H_2O=1:1:10 с выдержкой от 1,5 до 10 мин. Второй этап заключался в выявлении мартенсита в реактиве HNO_3:C_2H_5OH=1:20.

Величину зерна матрицы оценивали линейным методом А. Розиваля. Микротвердость наплавленного металла измеряли на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 2 Н.

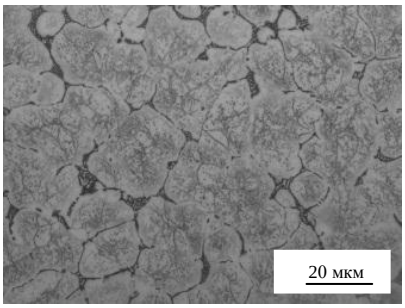
Результаты эксперимента.

При обеспечении заданной ширины наплавки поочередным наложением валиков на горизонтальную поверхность пластины, высота наплавленного слоя в 2…3 раза превышает высоту слоя, получаемого при введении поперечных колебаний. Это связано с одинаковым объемом порошка, используемого для одного ниточного валика при многопроходной наплавке и широкого валика, получаемого при введении поперечных колебаний.

Наплавленный металл имеет литую структуру (рис. 2, а), с аустенитно-мартенситной матрицей. По границам зерен выделяются эвтектические карбиды типа M6C (рис. 2,б). Объемная доля эвтектики варьируется от 9 до 11% независимо от схемы наплавки.



а



б

Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла

Анализ микротвердости наплавленного металла свидетельствует о частичном отпуске при наложении второго слоя как при использовании многопроходной наплавки, так и при введении поперечных колебаний (рис. 3). Средний уровень твердости металла, наплавленного по первой и третьей схеме, в среднем составляет 8 ГПа. При выполнении наплавки по второй и четвертой схемам микротвердость снижается на 15%.

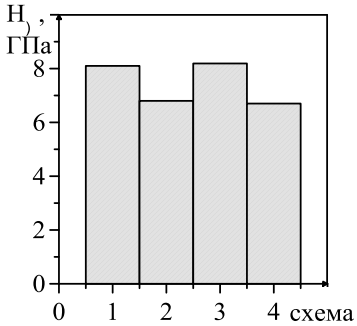
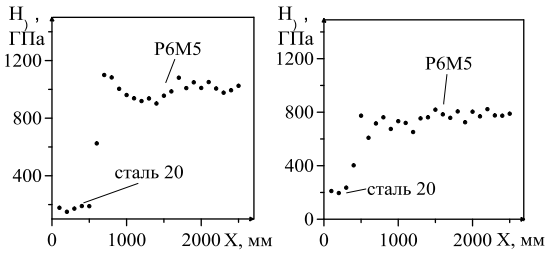


Рис. 3. Гистограмма среднего уровня твердости в зависимости от схемы наплавки

Снижение внутренних напряжений при повторном воздействии термического цикла наплавки способствует выравниванию микротвердости по толщине наплавленного металла (рис. 4,б).



а Схема №3 б Схема №4

Рис. 4. Распределение микротвердости по толщине наплавленного металла, выполненного по схеме 3 (а) и по схеме 4 (б)

У границы сплавления при наплавке по всем представленным схемам наблюдается увеличение микротвердости, вызванное частичной закалкой металла при быстром теплоотводе в основной металл.

По результатам работы можно сделать следующий вывод: послойное выполнение наплавки требуемой высоты способствует снижению среднего уровня твердости упрочняющего слоя на 15%, что может негативно отразиться на его износостойкости.

Список литературы:

1. Колганов Л.А. Сварка. Резка. Пайка. Наплавка. – 4-е изд. – М.: Дашков и К, 2008. – 408 с.
2. Вопнерук А.А., Валиев Р.М., Базилевский А.А. Применение газотермических покрытий для защиты от абразивного износа // Технологии обработки поверхности . – 2010. - №4. – С. 68-72.
3. Гнюсов С.Ф., Гнюсов К.С., Игнатов А.А., Толмачев К.А., Дураков В.Г. Вакуумная электронно-лучевая наплавка карбидосталей // Сварочное производство. – 2009. – № 7. – С. 18–23.
4. Kwok C.T., Cheng F.T., Man H.C. Microstructure and corrosion behavior of laser surface-melted high-speed steels // Surface & Coatings Technology. – 2007. – № 202. – P. 336–348.
5. Гладкий П.В., Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменная наплавка (обзор) // Сварочное производство. – 2007. – № 2. – С. 32–40.
6. Гнюсов С.Ф., Гнюсов К.С., Игнатов А.А., Толмачев К.А., Дураков В.Г. Вакуумная электронно-лучевая наплавка карбидосталей, ч.III Влияние числа проходов на структурно-фазовое состояние композиционных покрытий на основе стали Р6М5 //Сварочное производство, 2009. -№ 7 -с. 18-23.
7. Гнюсов С.Ф., Дураков В.Г. Структура и износостойкость покрытий на основе стали Р6М5 //Письма в «Журнал технической физики», 2010. - Вып. 16. -т. 36 -с. 19-23
8. Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменно-порошковая наплавка режущего инструмента // Сварочное производство. – 2008. – № 11. – С. 28–31.
9. Хайдарова (Романова) А. А., Дегтерев А. С. Структура и свойства покрытий на основе стали Р6М5, полученных способом плазменной порошковой наплавки // Известия Томского политехнического университета. - 2012 - Т. 320 - №. 2 - С. 95-99.

СИСТЕМА ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЗКИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ 5-КООРДИНАТНЫХ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Бессараб А.С.
Научный руководитель: Чердынцев Е.С., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: intaabs@gmail.com

Введение

На современных высокотехнологичных предприятиях занимающихся изготовлением деталей на станках с ЧПУ используют специальное программное обеспечение, которое можно условно назвать «виртуальный станок». Перед тем как отправить управляющую программу на «настоящий станок», можно её сначала проверить на «виртуальном станке», на котором средствами трехмерной графики визуализируется весь процесс срезания металла фрезой с заготовки. Подобная предварительная проверка позволяет оценить правильность траекторий движения инструмента, избежать недостаточное или лишнее снятие материала, экономить ресурсы за счет бесплатного «виртуального» материала, проводить замеры и предотвратить столкновения, способные привести к критическому ущербу станка [1].

Современным условиям производства соответствуют примерно следующие требования к системе: заготовка максимального размера 300x300x300 мм должна обрабатываться с точностью 5 микрон (0.005мм); поддержка настраиваемого режущего инструмента, поддержка командного управления.

В ходе исследования на примере 5-координатного фрезерного станка Fanuc-6M (рис. 1) составлены алгоритмы и программная реализация (рис. 2) с использованием инструментария: C++, MS Visual Studio, Direct3D, Qt (graphical user interface).

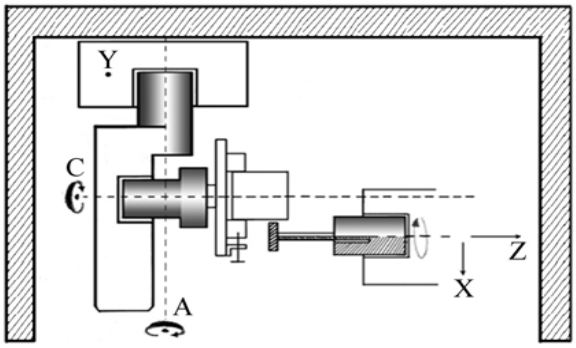


Рис. 1 Пятикоординатный станок Fanuc-6M

Все алгоритмы полностью авторские и разработаны в ходе длительного планирования "на бумаге". Сторонние алгоритмы и методы не используются.

Всё программное обеспечение также полностью разработано автором с использованием собственной системы 3d-визуализации (3d-engine).

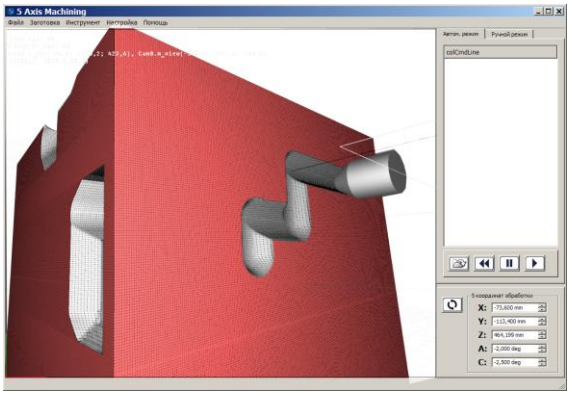


Рис. 2 Программная реализация

Заготовка

Если произвести простые расчеты, становится ясно, что для хранения заготовки размерами 300x300x300 мм с точностью обработки достигающей 5 микрон (0.005 мм), потребуются гигабайты информации. Необходима более эффективная модель данных обеспечивающая сжатие без потерь.

В данном случае удобно использовать так называемые карты высот. На рис. 3 показаны случаи использования карт высот подходящие для различных видов резки.

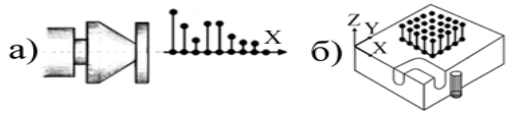


Рис. 3 Карты высот (а - одномерная карта высот для токарной обработки, б - двухмерная карта высот для 3-координатной обработки)

В данном исследовании для 5-координатной обработки (резка заготовки может происходить с любой стороны детали, под любым углом) в качестве решения разработана модель данных, условно обозначаемая в данной работе как «карта высотных отрезков» (рис. 4).

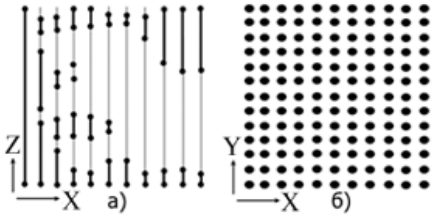


Рис. 4 Карта высотных отрезков для обработки на 5-координатном станке

Карта высотных отрезков напоминает собой двухмерную карту высот, однако в каждой ячейке

(далее называемой высотой) хранится не одно значение высоты, а множество отрезков. Карта высотных отрезков обеспечивает очень эффективное сжатие без потерь информации.

Для осуществления оптимизации по скорости выполнения алгоритмов пространство заготовки разбивается на сектора (рис. 5). При обработке не попавшие в пересечение с фрезой секторы сразу исключаются.

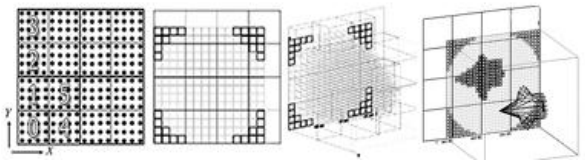


Рис. 5 Разбиение пространства заготовки на секторы (здесь в 1 сектор попадает 16 наборов высотных отрезков)

Режущий инструмент

Самым эффективным из исследуемых способов оказался способ представления режущего инструмента в виде тела вращения с образующей в виде ломаной линии. Режущий инструмент состоит из некоторого количества конических участков, формирующих контур в виде ломаной линии (рис. 6). Из конических участков формируются цилиндрические и эллиптические.



Рис.6 Общее представление режущего инструмента как множества цилиндрических и конических участков.

Реализация поддержки режущего инструмента разного типа показана на рис. 7.

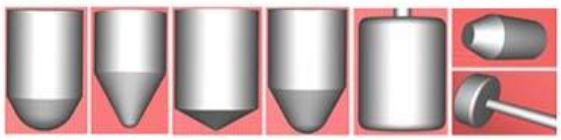


Рис. 7 Поддержка режущего инструмента разного типа

Резка

В системе используются достаточно сложные оптимизированные в плане скорости выполнения алгоритмы для нахождения пересечений и резки. По найденным точкам пересечения производится изменение структуры заготовки.

В алгоритмах резки для расчета пересечений (аналитическая геометрия) используются преобразования из одной системы координат в другую (линейная алгебра). Для этого подсчитываются специальные матрицы перехода.

Алгоритмам резки можно дать обобщенное описание. Сначала проверяется, в какие сектора заготовки попал режущий инструмент. При этом координаты режущего инструмента переводятся в локальную систему координат заготовки, производится нахождение пересечений фрезы с секторами.

Затем система переходит к вычитанию материала из объема заготовки. Из секторов, в которые попала фреза, координаты точек каждого высотного отрезка переводятся в локальную систему координат режущего инструмента, производится нахождение точек пересечения, отсечение отрезков попавших внутрь фрезы, и возврат(вставка) высотных отрезков, из которых удалена некоторая часть, обратно в локальную систему координат заготовки.

Визуализация

Для визуализации карта высот преобразуется в поверхность из треугольников. Реализация визуализации показана на рис. 8., рис. 9. На рис. 10 показана автоматическая резка на основе считывания и выполнения G-код программы.

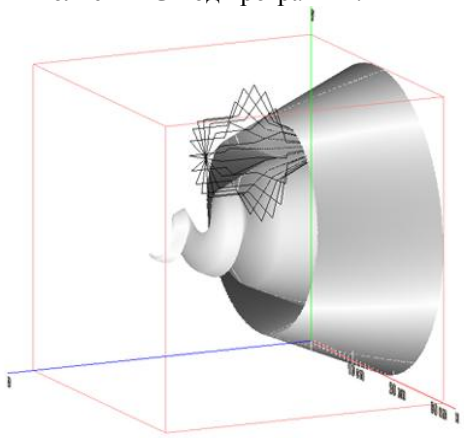


Рис.8 Визуализация карты высотных отрезков

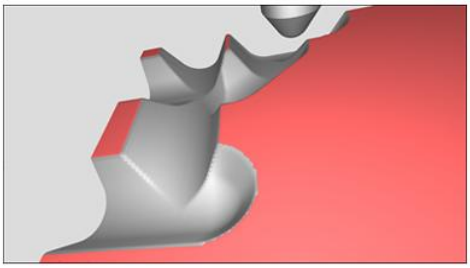


Рис. 9 Визуализация карты высотных отрезков



Рис.10. Автоматическое управление путем считывания и выполнения G-code программы.

Заключение

В ходе исследования удалось реализовать основные требования поставленной задачи.

Список литературы

1 Ловыгин А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система.- М.: Эльф ИПР, 2006. 440 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗВЕРШИННОГО РЕЗЦА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОСОУГОЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ

Вербицкая О.Ю., Филиппов А.В.
Научный руководитель: Филиппов А.В., ассистент
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская 26
E-mail: avf@tpu.ru

Косоугольное точение безвершинным резцом осуществляется инструментом с прямолинейной режущей кромкой, повернутой на угол ω по отношению к оси заготовки (см. Рис. 1). Основными направлениями исследования этого метода является определение влияния угла наклона режущей кромки на качество обработанной поверхности и силу резания в процессе обработки. Однако существуют разнообразные подходы к описанию геометрических параметров инструмента, силовых и деформационных процессов в зоне стружкообразования. В связи с этим было решено рассмотреть геометрические параметры процесса, используя метод векторной алгебры и положения ГОСТ [1].

Одной из важных характеристик процесса механической обработки является глубина резания. При косоугольном продольном наружном точении безвершинным резцом глубина резания вдоль режущей кромки будет переменной, её максимальное значение будет в точке О (см. Рис. 1), что определяется формулой (1).

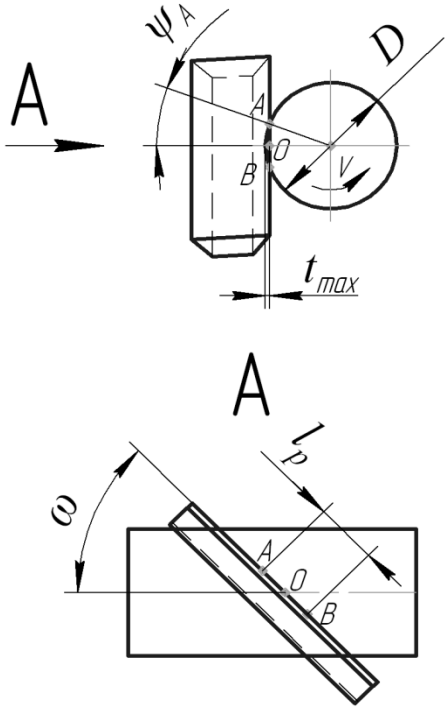


Рис.1. – Схема к определению рабочей длины режущей кромки безвершинного резца

$$t_{\max} = \frac{D \cdot \left[1 - \cos\psi_A\right]}{2} \qquad (1)$$

где ψ_A – угол наклона основной плоскости.

Рабочая длина режущей кромки есть длина участка главной режущей кромки, находящаяся в соприкосновении с поверхностью резания [2].

Авторы работ [2, 3] для определения рабочей длины режущей кромки приводят формулу (2):

$$b = \frac{\sqrt{R^2 - r^2}}{\sin\lambda} \qquad (2)$$

где R – радиус обрабатываемой поверхности;

r – радиус обработанной поверхности;

λ – угол наклона режущей кромки.

В ходе построения геометрической модели процесса косоугольного точения было установлено, что формула (2) дает не точный результат, имеет место погрешность порядка 4% во всем диапазоне изменения диаметра обработки, глубины резания и угла наклона режущей кромки.

С целью устранить имеющуюся погрешность в расчетах, была выведена формула (2), проверка проводилась графически в среде трехмерного моделирования Компас 3D. Совпадение результатов рассчитанных по формуле (3) и измеренных графически составило боле 99%, что входит в допущенную погрешность округления.

$$l_p = \left| \frac{D \cdot \sin\psi_A}{\sin\omega} \right| \qquad (3)$$

где ψ_A – угол наклона основной плоскости.

Значение ψ_A можно определить по формуле:

$$\psi_A = \pm \mathrm{arccos}\left(\frac{D - 2t_{\max}}{D}\right)$$

На рисунке 2 представлен график зависимости изменения рабочей длины режущей кромки от глубины резания для различных значений угла наклона лезвия ω при постоянном значении диаметра обрабатываемой заготовки. Как видно из графика с увеличением глубины резания будет увеличиваться рабочий участок режущей кромки, причем увеличение будет большим при меньших значениях угла ω.

На рисунке 3 представлен график зависимости изменения рабочей длины режущей кромки от диаметра обрабатываемой заготовки. как видно из графика с увеличением диаметра, lp будет увеличиваться.

Стоит отметить, что характер представленных зависимостей (см. Рис. 1, 2) достаточно одинаков, так максимальное увеличение lp будет при значении ω=30°, увеличение lp с ростом t_{max} и D будет постепенно затухать во всех случаях.

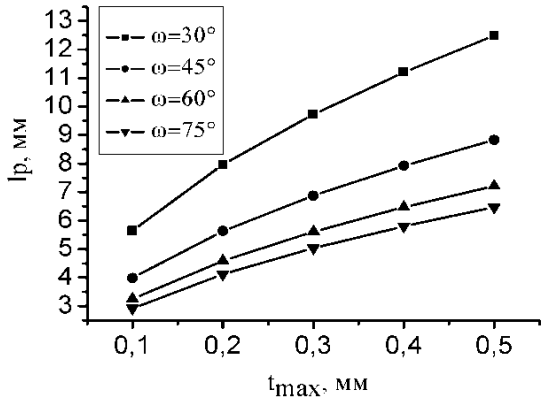


Рис. 2. – График зависимости изменения рабочей длины режущей кромки от максимальной глубины резания для различных значений ω, D=20 мм

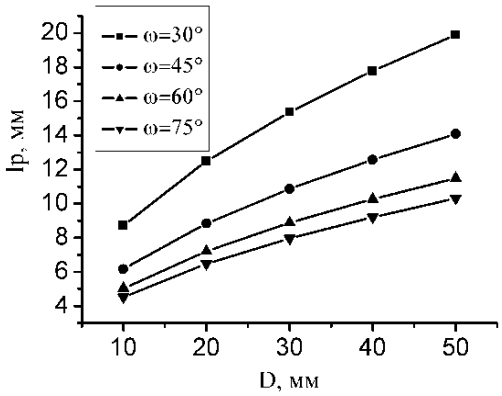


Рис. 3. – График зависимости изменения рабочей длины режущей кромки от диаметра обрабатываемой заготовки для различных значений ω, t_{max}=0,5 мм

Определение значения lp является важной задачей при проектировании безвершинного резца, и определении геометрических параметров процесса косоугольного точения, поскольку позволит установить предельные значения t_{max}, D и ω при эксплуатации инструмента.

Для исследования процесса косоугольного точения безвершинным резцом возникла необходимость спроектировать инструмент с возможностью крепления в его корпусе сменной многогранной пластины (СМП) из твердого сплава и поворотной частью для изменения угла ω. Так же важным является возможность изменения переднего угла инструмента γ, который оказывает существенное влияние на деформационные процессы в зоне резания. На основе этих требований была разработана трехмерная модель безвершинного резца (см. Рис. 4).

Поворотная часть 3 устанавливается в державку 4, для точного базирования предусмотрен укороченный конус Морзе В18, фиксация углового положения осуществляется при помощи гаек 5.

К поворотной части 3 при помощи винтов крепится сменная опорная часть 2, в которую устанавливается СМП. Опорная часть изготавливается таким образом, чтобы обеспечить требуемое значение переднего и заднего угла инструмента.

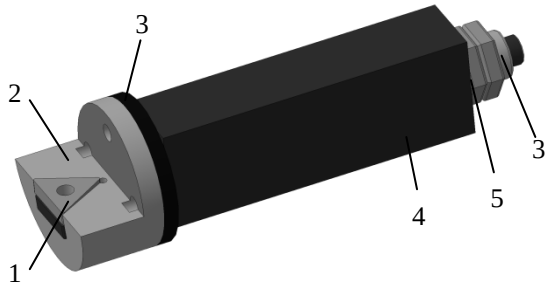


Рис. 4. – 3D модель безвершинного резца для косоугольного резания: 1 – СМП, 2 – сменная опорная часть, 3 - поворотная часть, 4 – державка, 5 – гайка

Применение СМП треугольной формы обусловлено широкой распространённостью пластин данного типа, достаточно большой протяженность режущей кромки (в работе может участвовать до 19 мм) и возможность использовать все три режущее кромки по мере их износа.

Выводы:

1. Как видно из графиков (Рис. 2, 3) на процесс косоугольного точения безвершинным резцом существенное влияние оказывают диаметр обрабатываемой заготовки и глубина резания.

2. Представленная конструкция безвершинного резца позволит, провести исследования процесса косоугольного точения варьируя значения угла наклона режущей кромки и переднего угла инструмента, в широком диапазоне глубины резания и диаметра обрабатываемой заготовки.

Список литературы

1. ГОСТ 25762-83 Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий. 45с.

2. Галоян Г.П. Теоретические основы нового процесса диагонального точения с обоснованием путей его реализации: дис. канд. техн. наук: Спец.05.03.01. / Г. П. Галоян ; Ереванский политехнический институт им. К. Маркса. Ленинаканский филиал; Ленинакан, – 1986. – 157 л.

3. В.Ф. Бобров. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. М., Машгиз, 1962. – 152 с.

ОБОРУДОВАНИЕ ПОГРУЖЕНИЯ ЗАБИВНЫХ СВАЙ

Всяких К. А., студент
Научный руководитель: Мартюшев Н.В., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: martjushev@tpu.ru

Для устройства свайных фундаментов применяют забивные, винтовые и набивные сваи. Два первых типа свай изготовляют на заводах, а третий устраивают на месте из монолитного железобетона или в сочетании со сборными элементами заводского изготовления. В настоящее время на стройках массовое применение (более 90 % от общего объема применяемых свай) получили главным образом забивные железобетонные сваи квадратного сечения 0,2х0,2...0,4х0,4м длиной до 20м. Для интенсификации процесса погружения забивных свай реализуются два основных направления: создание технических средств, с помощью которых можно обеспечить требуемые для погружения свай нагрузки при уменьшенной массе оборудования, и средств, изменяющих силовое взаимодействие сваи с грунтом по разделяющим их поверхностям и уменьшающим тем самым сопротивляемость грунта погружению сваи, что в конечном счете приводит к снижению требуемых внешних нагрузок, а следовательно, и к меньшей массе оборудования. В первом случае применяют сваебойное оборудование — свайные молоты, копры и копровое оборудование, которые передают свае ударную нагрузку. Дополнительно к вдавливающей нагрузке, которая передается в виде сил гравитации — собственных и взаимодействующих с ней рабочих органов, свае передается часть кинетической энергии падающего на нее ударного рабочего органа. Ударный метод погружения свай широко применяют в строительстве, практически в любых грунтовых условиях, кроме скальных.

Наиболее массово для забивки свай используют копры и копровое оборудование. Сваи заводского изготовления погружают в грунт с помощью копров, перемещающихся по свайному полю на собственном, обычно рельсовом, ходу. Копры служат для подъема и установки свай перед погружением в требуемой точке свайного поля и обеспечения их направления при погружении вместе с погружателем.

Копер состоит из нижней рамы (рис.1) с ходовыми тележками 2, поворотной платформы 6, опирающейся на нижнюю раму через опорно-поворотное устройство, с расположенными на ней силовой установкой (обычно электрической), механизмами (в том числе одной или двумя лебедками для подъема и установки в рабочее положение сваи и погружателя), органами управления, кабиной и противовесом, мачты 3 и механизмов 4 и 5 для изменения ориентации мачты относительно платформы. В зависимости от принятой технологии работ копер комплектуют свайными молотами, вибропогружателями или вибромолотами. Базовая часть копра — нижняя рама, ходовые устройства, поворотная платформа с опорно-поворотным устройством, а также грузоподъемные механизмы по своему устройству и принципу работы сходны с аналогичными узлами самоходных кранов.

Рабочий процесс копра состоит из его передвижения к месту установки сваи, ее строповки, подтягивания, установки на точку погружения по предварительно выполненной разметке, выверке правильности ее положения, закрепления на свае наголовника, предохраняющего ее от разрушения при ударном погружении, установку на сваю погружателя, расстроповку сваи, ее погружение с последующей выверкой направления, подъем погружателя и снятие с погруженной сваи наголовника. Для передвижения копра используют собственное ходовое оборудование. Если размеры и конфигурация свайного ппля таковы, что с одной установки рельсового пути нельзя погрузить в грунт все сваи, то для работы используют несколько копров, работающих каждый на своем рельсовом пути, или перекладывают рельсовый путь после выполнения работ с прежней его установки. После, перемещения копра его надежно стопорят стояночными тормозами или другими устройствами.

Для выполнения всех грузоподъемных операций используют одну двухбарабанную или две однобарабанные лебедки раздельно для подъема сваи и погружателя. Для правильной установки сваи и ее фиксирования в требуемом начальном положении мачту оборудуют упорами, иногда за хватами в ее нижней части. Для наводки сваи на требуемую точку свайного поля требуется две степени свободы мачты. Обычно это достигается поворотом платформы и изменением вылета мачты. Еще одна степень свободы нужна для корректировки направления последующего движения сваи в процессе се погружения.

В представленной на рис. 1 параллелограммной схеме подвески мачты к поворотной платформе вылет мачты изменяется гидроцилиндрами 5, а ее наклон — гидроцилиндром 4. Копры, у которых мачты обладают описанными выше тремя степенями свободы, называют универсальными. При отсутствии одной какой-либо из этих степеней свободы копёр называют полууниверсальным, а при наличии только поворотного в плане движения — простым. Рабочий цикл простых копров по сравнению с универсальными и полууниверсальными более продолжителен за счет увеличения затрат времени на вспомогательные операции, которые в среднем составляют более половины продолжительности всего рабочего цикла.

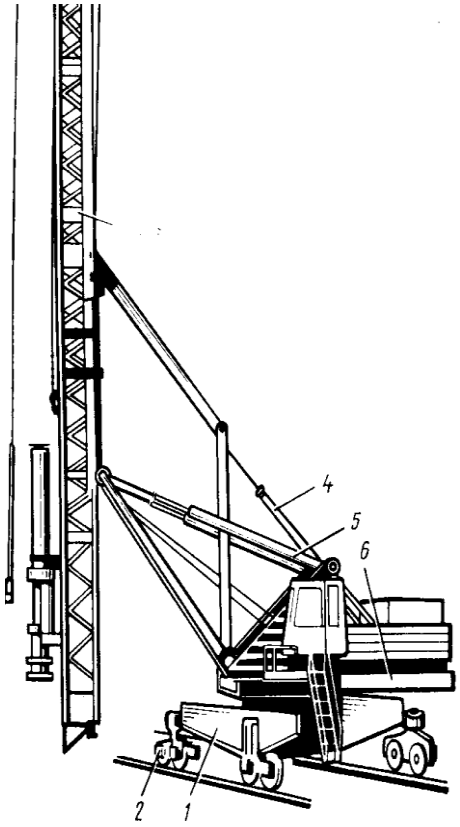


Рис. 1. Универсальный копёр на рельсовом ходу

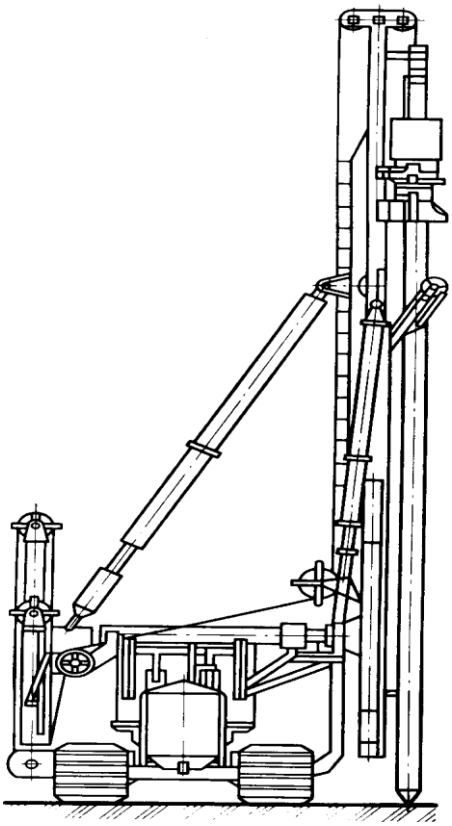


Рис. 2. Копровое оборудование на базе гусеничного трактора класса 100 кН

В строительстве применяют также копры на гусеничном ходу, изготовленные на базе одноковшовых экскаваторов.

В промышленном и гражданском строительстве широко применяют копровое оборудование, навешиваемое на различные базовые машины (тракторы, автомобильные краны, одноковшовые экскаваторы). Отечественная промышленность выпускает копровое оборудование для работы со сваями длиной 3...12 м. Копровое оборудование на базе тракторов класса 100 кН автономно по энергообеспечению, маневренно на строительной площадке, надежно в эксплуатации. Его недостатком являются большие затраты времени на маневровые движения трактора при установке сваи в заданную точку свайного поля. Мачту располагают сбоку (боковая навеска) (рис. 2), сзади или спереди трактора (фронтальная навеска). По сравнению с фронтальной боковая навеска улучшает обзорность рабочей площадки, позволяет повысить производительность оборудования, исключив в некоторых случаях, особенно при линейном однорядном расположении свай, непроизводительные маневровые движения машины при переходах к новому рабочему месту.

Анализ работы копров и копрового оборудования показывает, что навесное оборудование на базе автомобильных кранов применяют при малых рассредоточенных объемах свайных работ и необходимости быстрого перебазирования (пробные сваи при инженерно-геологических исследованиях, строительство линий электропередач, трубопроводов большой протяженности и др.).

Список литературы

1. Зиякаев Г.Р., Саруев Л.А., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий, №6.3 (13), с. 61-65

2. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Исследование эффективности балансировки жидкостным автобалансирующими устройствами // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 1. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/107-7919

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Влияние эллипсности и эксцентриситета резервуара на точность автоматической балансировки // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 2. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/108-8472

4. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Стационарное вращение неуравновешенного ротора, частично заполненного жидкостью при действии сил внешнего трения // Современные проблемы науки и образования – 2012. – № 6. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/106-7825

СОЗДАНИЕ ПРИКЛАДНОЙ БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ В СРЕДЕ КОМПАС-3D

Висторопский А.Д., Жохов Р.В.
Научный руководитель: Чумаченко Г.В., к.т.н., доцент
Донской государственный технический университет, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
E-mail: gchumachenko@dstu.edu.ru

Очень часто при создании сборок в программе КОМПАС-3D используются модели, отличающиеся друг от друга только значениями своих параметров. Обычно это типовые детали – втулки, кольца, пластины и т.п. При вставке в сборку модели с диска в этой сборке не создается копия модели, а формируется ссылка на ее файл. Таким образом, для вставок типовых моделей, имеющих различные комбинации значений параметров, необходимо иметь на диске столько файлов этих моделей, сколько вставок предполагается сделать.

Для решения этой проблемы и сокращения времени создания сборок, создают одну параметрическую модель и уже при вставке в сборку изменяют ее параметры. Такие модели хранятся в собственных библиотеках или уже имеющихся в среде КОМПАС-3D. Модели, созданные в библиотеке, не являются отдельными файлами, а входят в единый файл библиотеки.

Использование в работе библиотеки моделей упрощает поиск готовых компонентов, создание однотипных моделей и ускоряет создание сборок.

Одним из направлений НИРС на кафедре ЛХОМ ДГТУ является «Моделирование литейных процессов». В настоящие время ведется работа над созданием библиотеки литейной оснастки для ПГС форм.

Для создания библиотеки в меню «сервис» выбирали «менеджер библиотек» и в контекстном меню команду «добавить описание – библиотеки документов» (рис.1). Созданной библиотеке присваивали соответствующее название.

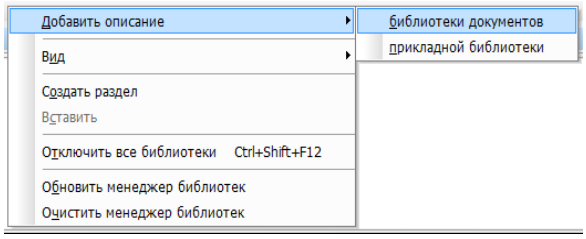


Рис.1. Создание библиотеки

Для удобства поиска в библиотеке созданы разделы, в которых будут храниться определенные модели-исходники.

В библиотеке можно создать новую модель-исходник или загрузить уже имеющуюся модель (рис.2).

Модели могут иметь различные комбинации параметров, но при этом модель-исходник не будет менять свои размеры.

При выборе модели-исходника в менеджере библиотеки изображается ее 3D-модель и комментарии к ней (рис. 3).

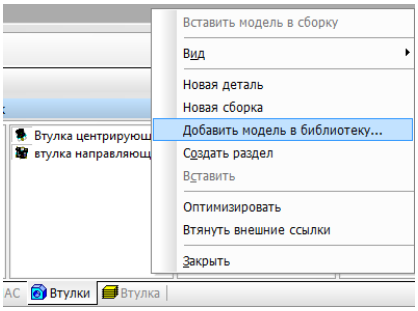


Рис.2. Добавление модели-исходника в библиотеку

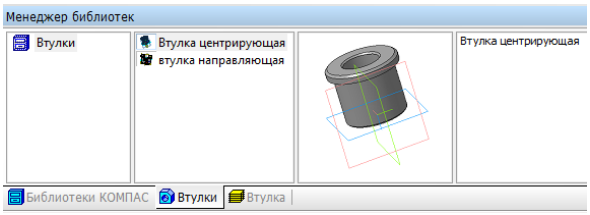


Рис. 3. Раздел библиотеки «Втулки»

При создании новой модели-исходника выполняли ее параметризацию. Для этого были проставлены размеры на те параметры, которые в дальнейшем будут изменяться, а также установлены ограничения на эскизы модели при помощи команд: перпендикулярно, параллельно, коллинеарность, равенство длин (радиусов) и т.п. (рис. 4).

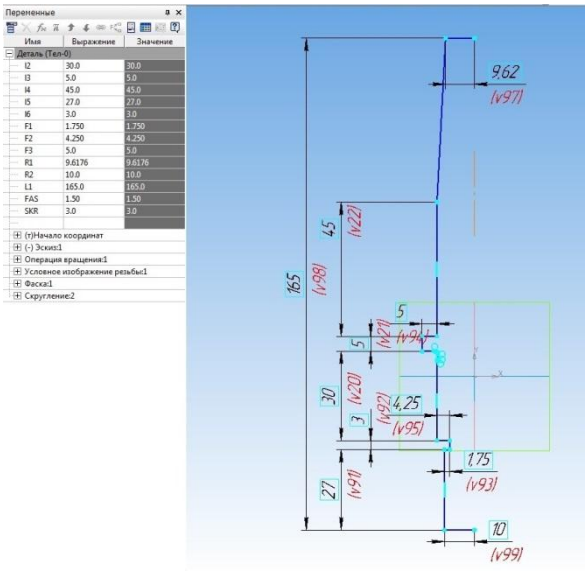


Рис.4. Параметризация эскиза штыря

После простановки размеров и ограничений, используя вкладку «переменные», каждой переменной присвоено обозначение латинскими буквами. При выделении каждой переменной, как внешней (переменные поменяют цвет на синий), и

при использовании команды в меню «таблицы переменных» - «читать внешние переменные» в таблице отображаются все выделенные переменные и комментарии к ним (рис.5).

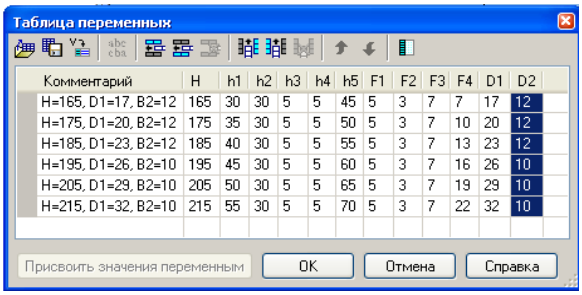


Рис.5. Таблица переменных

Если предполагалось, что модель-исходник будет иметь только определенные комбинации параметров или наиболее часто используемые, то их задавали в этой таблице переменных. Для этого в меню выбирали «добавить строку» и в появившейся новой строке задавали новые параметры модели.

Для более удобного использования таблицу переменных сохраняли в разрешении .xls, которое можно открыть в программе Microsoft Office Excel. Для того чтобы синхронизировать переменные из таблицы Excel в КОМПАС, необходимо указать путь к таблице переменных в программе КОМПАС-3D.

Чтобы вставить модель-исходник в сборку необходимо выбрать ее в библиотеке, после чего появится ее фантом и таблица параметров. Значения параметров можно выбрать как из готовых, созданных в таблице переменных, так и задать их самому (рис.6).

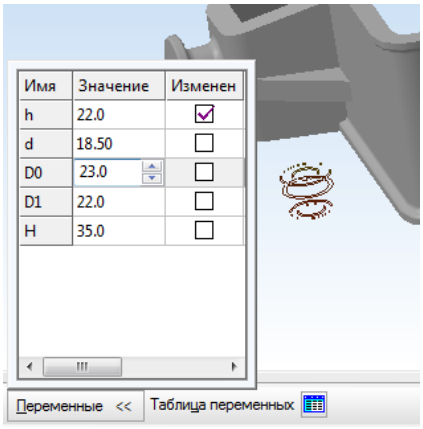


Рис.6. Вставка модели в сборку

Разработаны параметрические модели: штырей (рис.7), подмодельных плит (рис.8), опок (рис.9), втулок (рис. 10) в соответствии с действующими стандартами.

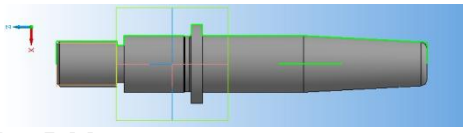


Рис.7. Модель штыря центрирующего

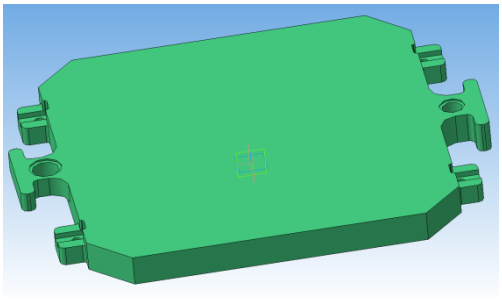


Рис.8. Подмодельная плита

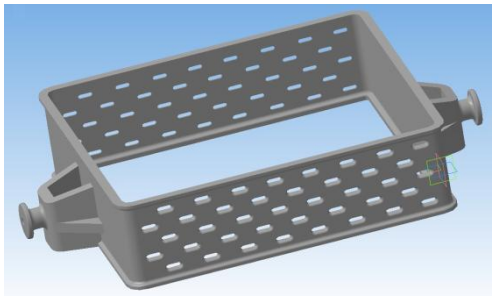


Рис.9. Опока

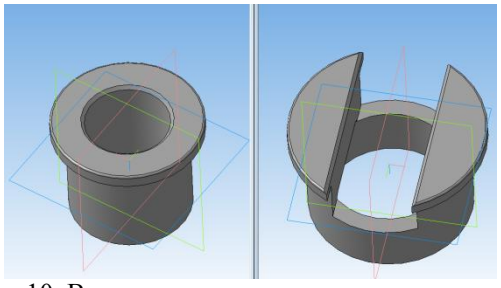


Рис.10. Втулки центрирующая и направляющая

Эти разработки применены при выполнении графической части курсового проекта по «Технологии литейного производства», что упростило и сократило время построения сборок (рис. 11).

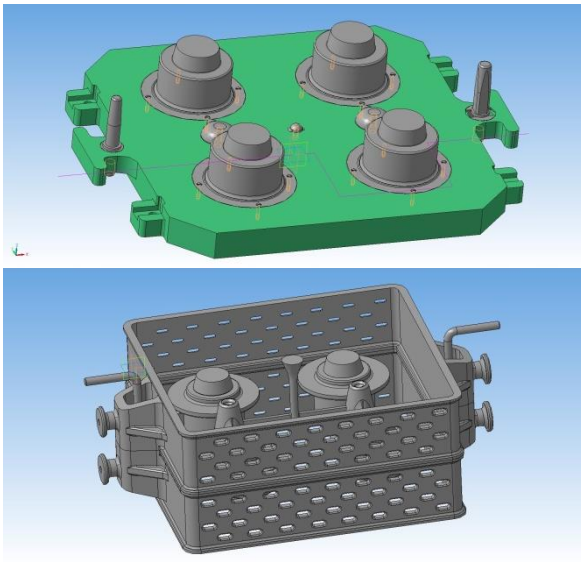


Рис. 11. Модели плиты модельной нижней полуформы и формы в сборе

РЕЗИДЕНТНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Горелова А. Ю., Кристаль М. Г
Руководитель: Кристаль М. Г., д.т.н., профессор
Волгоградский государственный технический университет, 400005, Россия, г. Волгоград, пр. Ленина 28
E-mail: forasyoo@gmail.com

Изготовление серийных деталей на автоматизированном оборудовании производится, как правило, по уже отлаженным технологическим процессам. Однако, не всегда удается обеспечить требуемое качество изделия. Это связано с тем, что элементы технической системы подвергаются в процессе обработки изнашиванию, тепловым, силовым и динамическим воздействиям, которые добавляют к исходным погрешностям траектории формообразования и настройкам станка дополнительные погрешности, связанные с указанными факторами [1].

Кроме того, начало отладки того или иного технологического процесса обработки начинается с назначения требуемых режимов, справочные данные по которым обладают существенным разбросам по значениям. Это связано с разбросом, как механических свойств обрабатываемого материала, так и режущих свойств инструментов.

При изготовлении на станках с ЧПУ дорогостоящих изделий с высокими требованиями к качеству поверхности, необходимо максимально компенсировать эти погрешности. Для обеспечения жесткости станка в современных СЧПУ предусмотрена система самодиагностики, и процесс механической обработки начинается только при условиях исправности всех узлов станка и отсутствия ошибок в программе (несоответствующий инструмент, невыполнимый контур, некорректные перемещения).

Управляющая программа генерируется либо самой СЧПУ, либо загружается в неё перед началом обработки. Среди параметров, которые вводятся в некоторые СЧПУ до начала обработки помимо режимов и инструментов, необходимо ввести ещё и допустимый износ инструмента. Такие системы предполагают возможность автоматического контроля состояния инструмента. Например, система ЧПУ SINUMERIK 840D sl ShopTurn оснащена специальным щупом, который позволяет контролировать износ инструмента в автоматическом режиме [2].

Однако в указанной СЧПУ не предусмотрена возможность активного контроля качества изготовления изделий по какому-либо диагностическому параметру. Перемещения по координатам производится строго по программе и не подвергается коррекции.

Существует ряд методов, позволяющих обеспечивать надежность и производительность работы токарных и фрезерных станков с ЧПУ в автоматическом режиме, путем определения допустимой скорости резания по оперативной информации о свойствах контактируемых пар на основе измерения термоЭДС пробного хода на фиксированных режимах обработки. Схема регистрации и обработки сигнала термоЭДС на станке с ЧПУ представлена на рис.1. [3].

Однако, как пишут сами авторы, на точность измерений оказывают влияние вторичные (паразитные) термоЭДС, возникающие в местах перехода от режущей пластины к корпусу инструмента и искажающие истинное значение полезного сигнала [3].

В литературе приводится пример систем ЧПУ, позволяющих корректировать перемещение по координатам в зависимости от пластической деформации заготовки, рассчитанной по математической модели. Описанные системы производят коррекцию перемещения по управляемым координатам после каждого шага программы [4]. В этом случает к погрешности, связанной с математической моделью прибавляется погрешность датчика перемещения и опять же нельзя гарантированно говорить об обеспечении заданного качества изделия.

Но эти методы имеют еще несколько существенных недостатков, главным из которых является необходимость установки дополнительного оборудования на станок для съема диагностического сигнала.

Известна система, позволяющая производить коррекцию режимов обработки по нескольким диагностическим параметрам. В качестве параметров выбраны: температура в зоне резания и нагрузочные характеристики резания. Основными элементами являются: токарный станок с числовым программным управлением (ЧПУ), на котором производится размерная обработка деталей по заданной программе; внешняя ЭВМ, управляющая ходом протекания процесса обработки по заданному критерию; измерители параметров процесса резания, которые включают датчики и устройства измерения, выполняющие необходимые преобразования сигналов и передачу их в управляющую ЭВМ. Информация, получаемая от измерителей параметров процесса, является входной для системы управления процессом; устройства управления параметрами обработки, которые включают в себя устройства формирования управляющих воздействий и исполнительные механизмы, через которые эти воздействия реализуются на станке с ЧПУ [5].

Недостатком указанной системы является отсутствие возможности корректировки управляющей программы в процессе обработки.

Таким образом, актуальной задачей является выбор диагностического сигнала, метода регистрации и создание системы коррекции режимов обработки по величине этого сигнала.

Учитывая то, что СЧПУ производит передачу управляющей программы на станок построчно и непрерывно, необходимо вводить коррекцию «налету», что создает дополнительные трудности при разработке такой системы.

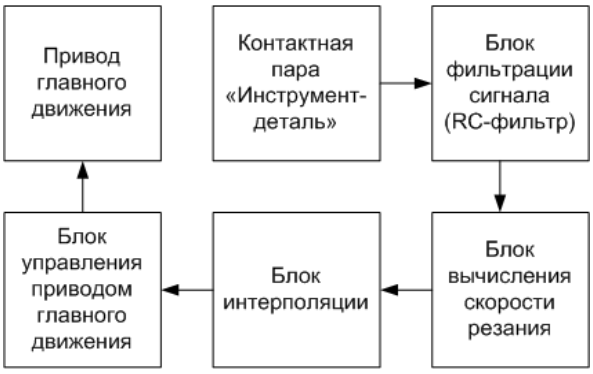


Рис.1. Регистрация и обработка сигнала термоЭДС

Предложено модифицировать СЧПУ путем создания резидентной программы. Необходимость разработки предложенного типа программы обусловлена тем, что данные, содержащиеся в строке программы, требуется «подменять» параллельно с выполнением. Вызов программы осуществляется автоматически перед началом обработки и её выполнение происходит одновременно с выполнением программы обработки. После каждого шага программа получает значение диагностического параметра и при достижении величины порогового значения производит процентное изменение режимов обработки. При наличии изменений в режимах часть программы обработки мгновенно подменяется на скорректированную и продолжается обработка (рис. 2). Зеленым обозначена стандартная часть СЧПУ станка, желтым цветом показан модифицирующий блок (резидентная программа) .

Стандартная часть СЧПУ получает CLDATA в качестве входящего файла и производит трансляцию в коды станка. Далее производится расчет коррекции координат по вычисленной пластической деформации заготовки. Запуск блока «Выполнение кадра» вызывает резидентную программу, которая осуществляет: получение диагностического сигнала, обработку этого сигнала и коррекцию режимов обработку в процентах. По результатам расчета коррекции программа производит подмену части обрабатывающей программы .

Запрограммированная подача или ускоренный ход соответствует 100% и может регулироваться от 0% до 120%, при ускоренном ходе только до 100%. Заново установленная подача появляется как абсолютное значение и в процентах на индикации состояния подачи на дисплее ЧПУ.

Запрограммированное число оборотов шпинделя соответствует 100% и может регулироваться от 50 до 120%. Заново установленное число оборотов шпинделя появляется как абсолютное значение и в процентах в индикации состояния шпинделя на дисплее. Возможность пропорциональной коррекции режимов уже существует в некоторых система, однако, эта функция доступна только оператору станка. Регулировка вводиться с пульта оператора и никак не отображается в управляющей программе [2].

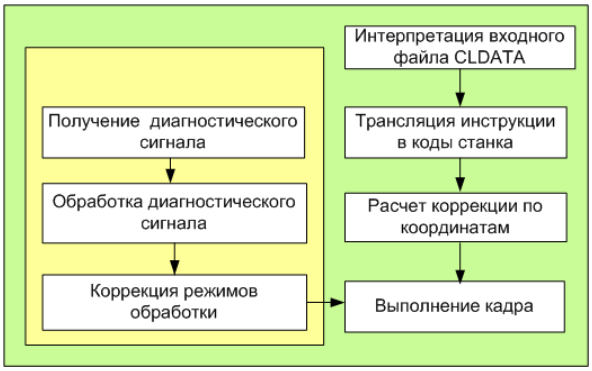


Рис. 2. Модифицированная СЧПУ

Проблема выбора диагностического параметра и его оценки является до сих пор однозначно не решенной.

Модификация СЧПУ резидентной программой позволит повысить точность изготовления детали за счет своевременного ввода коррекции режимов обработки. Для назначения диапазонов значений датчика и допустимых процентных изменений режимов необходимо произвести дополнительные исследования и раскрыть подробнее взаимодействие модулей ЧПУ между собой и с приводами станка. Эта информация является закрытой, так как содержит коммерческую тайну.

Список литературы

1. Григорьев С. Н., Маслов А. Р., Схиртладзе А. Г. Обеспечение качества деталей при обработке резанием в автоматизированных производствах: учебник. Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 412 с.

2.© ООО Siemens 2008 A-446 SINUMERIK 840D sl Управление/ программирование ShopTurn (BATsl). Выпуск 01/2008

3. Пат. 2312750 Российская Федерация, МПК B 23 Q 17/09. Способ контроля состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов / Плотников А.Л., Крылов Е.Г. – Опубл. 20.12.07, Бюл. №35.

4. Петраков Ю. В., Драчев О. И. Автоматическое управление процессами резания: учебное пособие. Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 408 с.

5. Безъязычный В. Ф. Метод подобия в технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2012. – 320 с.

ПРОБЛЕМЫ ЗАПАДНО – СИБИРСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ В НАЧАЛЕ ТРЕТЬЕГО ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ

Ч.В. Едешева
Научный руководитель: Апасов А.М.
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета, 652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: mchmyti@rambler.ru

Металлургический комплекс Западной Сибири – очень перспективная отрасль России, находящаяся на стадии формирования. Основой формирования Сибирского металлургического комплекса являются железные руды Горной Шории, Хакасии и Ангаро-Илимского железорудного бассейна, а топливной базой – Кузнецкий каменноугольный бассейн. Современное производство здесь представлено двумя крупными предприятиями: новостройкой первой пятилетки 20-го века Кузнецким металлургическим комбинатом с производством полного цикла (в настоящее время промышленная площадка рельсового проката ОАО «ЕВРАЗ Западно-сибирский металлургический комбинат (ЗСМК))» и собственно ЗСМК (в настоящее время ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК») [1], а также ферросплавным заводом (г. Новокузнецк).

Одно из самых прогрессивных направлений в мире, основателем которого является русский инженер-металлург Н.И. Беляев – **передельная** металлургия, выпускающая металлы и сплавы на их основе особого качества [2] – начинает лишь только сейчас делать первые робкие шаги освоения на заводах Новосибирска, Красноярска, Гурьевска, Петровск-Забайкальского, Комсомольска-на-Амуре). Добывающая промышленность представлена горно-обогатительными комбинатами (ГОК), Кузбасса, в Горной Шории, Хакасии и Коршуновским ГОК в Восточной Сибири. Металлургическая комплекс Западной Сибири охватывает весь цикл производства металлов: добычу и подготовку руд, топлива, выпуск металла, производство вспомогательных материалов (огнеупоров, кислорода и т.п.). Каждая структурная составляющая металлургического комплекса имеет четко выраженную специфику производства, базируется на присущей ей научной основе, располагает своей технологией, оборудованием и специально подготовленными кадрами.

Основными направлениями, позволяющими резко увеличить объем производства черных металлов, расширить ассортимент выпускаемой продукции, являются улучшение качества исходного сырья, укрупнение металлургических агрегатов и увеличение их единичной мощности.

В процессе обоснования размещения новых металлургических предприятий необходимо обязательно учитывать весь комплекс факторов, воздействующих на процессы производства и жизнь населения в регионах. Главное богатство регионов Сибири – разнообразные природные ресурсы. Самый надежный и дешевый способ транспортировки сырья и техники для их добычи – по железной дороге. Это связано прежде всего с экономией затрат в процессе транспортировки сырья, топлива, полуфабрикатов и готовой продукции. Недостатка в проектах нового железнодорожного строительства на востоке России никогда не было, но необходимо сформировать такую сеть железных дорог, которая бы пролегла по наиболее перспективным, с хозяйственной точки зрения, направлениям.

На размещение предприятий металлургической отрасли влияет степень развития инфраструктуры, а именно населенность района и его обеспеченность объектами производственной и социальной сферы, уровень их развития. Как правило, регионы с более высоким уровнем развития инфраструктуры являются наиболее притягательными при размещении металлургических предприятий, так как нет необходимости строительства новых, дополнительных объектов электроснабжения, водоснабжения, транспортных коммуникаций, учреждений социальной сферы [3] .

Действительно, многое в металлургическом комплексе Западной Сибири ещё не решено. Это проблемы, среди которых: недостаток трудовых ресурсов, транспортная необеспеченность, во многом тормозят развитие отрасли. Но среди проблем, возникших перед металлургическим комплексом, ещё очень много проблем экономических, проблем управления отраслью и, ставшая последнее время очень актуальной, экологическая проблема.

Учет экологического фактора при размещении металлургического производства – объективная необходимость в развитии сибирского региона, его населения и социальной сферы [4].

Большое внимание должно быть уделено структурной перестройке металлургической отрасли и, в частности, создание сети более перспективных на ближайший период времени сверхкомпактных производств, включающих добычу и подготовку руд, топлива, выпуск металла, производство вспомогательных материалов. В связи с этим необходимо провести глубокий и тщательный анализ накопленного опыта работы в металлургическом комплексе Западной Сибири за все время его существования и, с учетом этого, а так-

же требования времени, наметить основные тенденции в его развитии.

Российская металлургия переживает глубокие структурные перемены. Ее предприятия в большинстве случаев являются градообразующими. В Новокузнецке это просматривается наиболее отчетливо. Зарубежная практика взимания налогов в корне отличается от той, что принята сейчас в России. Налоги получают в основном с потребительских товаров, реализуемых населению, а не с предприятий и фирм базовых отраслей. Нужно перестать полагаться на металлургию как на средство добычи валюты. Отрасль сама по себе достаточно финансово емкая. А европейский опыт, опять же, показывает, что выгоднее дотировать горнодобывающие отрасли и тем самым сдерживать рост цен и инфляцию.

Нужно снизить предельный уровень налогов для отрасли до 50 процентов, сохранить внебюджетный инвестиционный фонд для металлургии, обуздать налоги в горнорудной промышленности и цены в энергетике и транспорте, от которых, как известно, целиком зависит металлургическое предприятие [5] .

В последнее время наибольшее распространение получили металлургические мини-заводы [6] . Мини-заводы – это небольшие металлургические предприятия, использующие в качестве исходной шихты металлолом и гибко учитывающие запросы потребителей. Они занимают небольшие территории, используют электроэнергию и минимальное количество трудовых ресурсов и воды. При этом металлы и сплавы на их основе производят особого качества, а отрицательное воздействие на окружающую среду минимальное. Создание таких мини-заводов было бы более перспективным и оптимальным решением большинства назревших проблем в металлургическом комплексе Западной Сибири за все время его существования.

Металлургический комплекс Западной Сибири разрабатывает перспективы своего производственного и социального развития исходя из долгосрочных задач отрасли и с учетом планов комплексного развития каждого отдельного района. Он предусматривает меры по расширению производства и повышению его технического уровня, обновлению и росту качества продукции [4]. От темпов развития качественной металлургии на территории Западной Сибири и Дальнего Востока во многом зависит судьба всей Российской экономики в целом, оснащение промышленности надежной, долговечной и безопасной в эксплуатации новейшей техникой [5].

Заключение

1. С целью оптимального развития социальной инфраструктуры и заселенности обширных территорий Западной, Восточной Сибири и Дальнего Востока необходимо и дальше совершенствовать строительство широкой сети железных и автомобильных дорог вместе с необходимыми коммуникациями.

2. С учетом этого необходимо перепрофилировать ряд предприятий металлургического комплекса Сибири и Дальнего Востока по дальнейшему выпуску рельсов и проката необходимого сортамента, создания металлургических заводов малых форм собственности (мини – заводы), гибко реагирующих на изменение спроса выпускаемой продукции потребителями.

3. Кроме того, определяющим направлением в металлургии Сибири третьего тысячелетия должна быть **передельное** производство, а именно специальная электрометаллургия, позволяющая на основе переплавных рафинирующих процессов получать металлы и сплавы особого качества, обеспечивающих высокую надежность, долговечность и безопасность в эксплуатации новейшей техники, автомобильного, железнодорожного, морского и воздушного транспорта, авиационной техники.

Список литературы:

1. Апасов А.М. Горнорудная и железоделательная отрасль Сибири на рубеже 18-20 веков / А.М. Апасов, Ч.В. Едешева (студентка) // Горное машиностроение: Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2012. – №ОВ3. – 552с. – М.: Издательство «ГОРНАЯ КНИГА». – С.195-205.

2. Апасов А.М. Специальная электрометаллургия: учебник / А.М. Апасов; Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета.-2012.-2-ое изд. – 286 с.

3. Бовин А., Гусейнов Р., Кащенко Н. Экономика Сибири: состояние и перспективы // Сибирь: Политика. Экономика. Управление. – 1996. – №6. – С.56-70.

4. Яблоков А.В. Экологический риск и национальная безопасность / ЭПОС // Экономика, предпринимательство, окружающая среда. – 1994. – №1,3. – С.19-23.

5. Городецкий В. Металл России: Заметки о судьбах одной из «Заглавных отраслей» // Труд. – 1 августа 1995 г.

6. Шашков Е., Адно Ю., Опошнянский С., Хохлов Е. Корпорация без секретов. Книга первая М., ООО «Национальное образование», –2002.– 117 с., ил.

КАРБИД VC В FE-CR-V-MO-C ПОКРЫТИИ

Зеленков А. А, Дегтерёв А.С.
Научный руководитель: Дегтерёв А.С
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Degterev@tpu.ru

В настоящее время стремление снизить концентрацию остродефицитных элементов (W, Mo, Co) в износостойких композиционных материалах вызывает повышенный интерес ученых к сплавам, высоколегированным ванадием. Ванадий более сильный, чем W, Mo, Cr карбидообразующий элемент, образует высокотвердые (Микротвердость $HV_{\square\ 50}$ 2900 МПа), тугоплавкие ($T_{плавления}$=2850°C) [1] мелкодисперсные избыточные карбиды, относительно равномерно распределенные в объеме матрицы композита, и эффективно защищающие ее от изнашивания. Сплавы высоколегированные ванадием способны успешно конкурировать с высокохромистыми чугунами и быстрорежущими сталями [2]. Развитие подобных материалов в качестве присадочных при дуговой наплавке сдерживала способность ванадия образовывать шпинели, приводящие к трудноотделимости шлаковой корки [3]. При наплавке в среде защитных газов эта проблема теряет свою значимость. Сплавы с высоким содержанием ванадия могут успешно применяться для наплавки шнеков экструдеров и термопластов, рабочих элементов прокатных станов, насосов, деталей подверженных интенсивному абразивному изнашиванию, например, элементов землеройной техники.

В работах [4, 5] было показано, что с увеличением погонной энергии (уменьшением скорости наплавки и увеличением силы тока при постоянном расходе порошка 1,9 кг/ч) наплавки в исследуемых покрытиях наблюдается рост средних диаметров частиц карбида ванадия от 1,1 до 1,9 мкм, небольшое уменьшение их объемной доли от 10…13 % до 8…9 %, и уменьшение среднего числа частиц от ~800 до ~200 на фиксируемой площади микроструктуры покрытий (10^4 мкм^2). А микроструктура покрытий, нанесенных током прямой полярности в 250 А со скоростью 6 м/ч при расходе 1,9 кг/ч и током в 220 А при расходе 1,45 кг/ч и скорости 4,5 м/ч содержит частицы карбида ванадия вытянутой формы.

Целью настоящей работы является исследование среднего фактора удлинения частиц карбида ванадия, и равномерности распределения этих частиц в зависимости от силы тока наплавки прямой полярности, и скорости подачи присадочного порошка.

В качестве наплавочного материала в работе использовался промышленный порошок ПР-Х18ФНМ фракцией от 125 до 200 мкм следующего химического состава (мас. %): 2,1…2,4 C, 17…19 Cr, 2…3 Ni, 7…8 V, 2…2,6 Mo, Fe – основа. В качестве основного материала использовали пластины из стали 20 размером 250×100×10 мм, поверхность которых предварительно шлифовалась.

Покрытия наносили на серийно выпускавшейся ВНИИЭСО установке УПН-303УХЛ4 с водоохлаждаемым плазмотроном. В качестве плазмообразующего, транспортирующ-его и защитного газов применяли аргон высшего сорта. Покрытия наплавляли за один проход током прямой полярности при расстоянии от плазмотрона до изделия 10…12 мм, расходе плазмообразующего газа 1…2 л/мин, транспортирующего 10…16 л/мин, для дополнительного поддува до 10…15 л/мин, напряжении на дуге 30…39 В. Для подробного исследования изменений в подсистеме высокотвердого VC карбида Fe-Cr-V-Mo-C покрытий, в работе силу тока изменяли в диапазоне 160…260 А с шагом в 20 А, расход присадочного порошка в диапазоне 1,1…2,2 кг/ч с шагом 0,3…0,4 кг/ч, скорость назначали равной 6 м/ч.

Анализ микроструктуры покрытий проводили на поперечных микрошлифах, вырезанных из зоны установившегося режима, с помощью оптического микроскопа Olympus GX51, снабженного анализатором изображений SIAMS 700. Для оценки равномерности структуры по толщине формируемых покрытий, по оси покрытий, от границы сплавления к их вершине, прокалывали дорожку уколов (маркеров) алмазной пирамидой (угол при вершине 136°) при нагрузке в 0,981 Н с шагом 300 мкм. Справа и слева от каждого маркера анализировали микроструктуру.

Частицы карбида ванадия, выявляемые рельефным полированием, исследовали с применением методов дифференциального интерференционного контраста и темнопольного освещения. С помощью анализатора изображений оценивали объемные доли частиц VC, их средние диаметры, их средний фактор удлинения, рассчитанный как отношение ортогональной максимальной проекции частицы к максимальной проекции частицы, и число частиц, приходящихся на единицу площади шлифа (10^4 мкм^2).

Анализ микроструктуры на поверхности шлифов после их полировки показал, что высокопрочный карбид VC в зависимости от режима может быть представлен мелкими равноосными частицами, средним размером менее 1,5 мкм, крупными ограненными частицами, средним размером от 1,5

до 1,9 мкм, мелкими вытянутыми включениями, и крупными вытянутыми включениями.

При наплавке покрытий током прямой полярности 220…260 А в их строении наблюдается неоднородность распределения частиц VC следующего характера: от границы сплавления к поверхности упрочняющего слоя доля частиц карбида ванадия увеличивается, как и среднее их число, средний диаметр уменьшается, а фактор удлинения сохраняется практически постоянным. Интенсивность этих изменений в указанном диапазоне токов зависит от расхода присадочного порошка, и связана с проплавлением упрочняемой пластины. Так при скорости подачи 1,1…1,5 кг/ч число частиц на фиксируемой площади шлифа увеличивается в 1,6…2,2 раза, доля в 1,1…1,3 раза, а средний диаметр уменьшается в 0,7…0,9 раза. При расходах же 1,9…2,2 кг/ч число частиц увеличивается в 1,1…1,6 раза, доля в 1,15 раза или слабо изменяется, средний диаметр или незначительно уменьшается или колеблется около некоторой средней величины. Средний по сечению наплавленных токами 220…260 А покрытий фактор удлинения частиц карбида ванадия слабо изменяется или несколько снижается к их поверхности. При наплавке током 200 А со скоростью подачи порошка 1,5…1,9 кг/ч доля частиц VC, их число, средний диаметр и фактор удлинения по сечению упрочняющего слоя относительно постоянны, а со скоростью 1,1 кг/ч от границы сплавления к поверхности покрытия число увеличивается в 1,7 раза, диаметр уменьшается в 0,82 раза. В покрытиях, наплавленных токами 160…180 А при минимальном расходе присадочного порошка распределение частиц VC неравномерно. Но эта неравномерность не связана с проплавлением основного металла и описана в предыдущих работах [4, 5].

Анализ средних по сечению значений фактора удлинения частиц VC, в наплавленных на различных режимах покрытиях показал следующее. Увеличение скорости подачи порошка от 1,1 до 2,2 кг/ч при постоянном токе в 260…220 А способствует увеличению фактора формы от 0,64..0,68 до 0,75…0,8 соответственно. Увеличение фактора удлинения свидетельствует о снижении степени и доли вытянутых частиц VC и росте количества равноосных включений. Структура, описываемая средним фактором удлинения равным 0,78 и более, содержит, в основном, равноосные включения. При наплавке током 200 А фактор удлинения с увеличением расхода порошка от 1,1 до 1,5 кг/ч увеличивается от 0,74 до 0,81 и далее не меняется. При наплавке покрытий токами 180 и 160 А частицы VC в них описываются средним фактором формы 0,77 и 0,81 уже при минимальной скорости подачи порошка.

Авторы работы [6] отмечают, что более высокой сопротивляемостью зарождению трещин обладают композиционные материалы, содержащие частицы VC малых размеров равноосной формы.

В работе [7] было показано, что покрытия, содержащие крупные и вытянутые частицы VC, характеризуются низким сопротивлением абразивному изнашиванию.

Выводы:

1) Относительно однородным распределением частиц карбида ванадия характеризуются покрытия, выполненные токами 220…260 А при расходе порошка, 1,9…2,2 кг/ч, током 200 А, при расходе 1,5…1,9 кг/ч.

2) С уменьшением силы тока прямой полярности и увеличением скорости подачи присадочного порошка средний фактор удлинения увеличивается от 0,64 до 0,81 по закону, близкому к линейному и затем перестает зависеть от этих параметров.

Список литературы

1) Соколов Г. Н., Лысак В. И. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей. – Волгоград: ВолгГТУ, 2005. — 284 с.

2) Ying Ping Ji , Su Jun Wu, Liu Jie Xu , Yan Li , Shi Zhong Wei. Effect of carbon contents on dry sliding wear behavior of high vanadium high speed steel // Wear. – 2012. –№ 294–295. – P. 239–245.

3) Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А., Гордань Г.М. Высокованадиевые сплавы для плазменно-порошковой наплавки инструментов // Автоматическая сварка. – 2003. – № 3. – С. 21 – 25.

4) Дегтерев А.С., Советченко Б.Ф., Трущенко Е.А., Гнюсов С.Ф. Влияние технологических параметров плазменной порошковой наплавки на формируемую структуру покрытий системы Fe-Cr-V-Mo-C. Сварка и диагностика. – 2011. – № 4. – С. 13–20

5) Дегтерев А.С., Гнюсов С.Ф. Влияние технологических параметров плазменной порошковой наплавки током прямой полярности на формируемую структуру Fe–Cr–V–Mo–C покрытий. Известия Томского политехнического университета. – 2012. – т. 320. – № 2. – С. 87–94.

6) K. Tokaji, T. Horie, Y. Enomoto Effects of microstructure and carbide spheroidization on fatigue behaviour in high V–Cr–Ni cast irons // International Journal of Fatigue. – 2006. – № 28. – V. 281–288.

7) Дегтерёв А.С.,. Кирилкин М.С., Исакин И.А., Гнюсов С.Ф. Износ покрытий на основе системы Fe-Cr-V-Mo-C // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 4(5) . – С. 118–123.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ С ЗАЦЕПЛЕНИЕМ ПОСРЕДСТВОМ ТРЕТЬЕГО ТЕЛА И НЕПОДВИЖНЫМИ ОСЯМИ

Ивкина О.П., Черемнов А.В.
Научный руководитель: Ан И-Кан, д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: MiaRaikon@yandex.ru

Идея использования в механических передачах промежуточных тел относится к трудам Леонардо да Винчи. Однако такие передачи стали объектом подробного исследования только с середины прошлого века. Первые механизмы с зацеплением посредством промежуточного тела появились в патентной литературе еще в начале XX века, но практического применения и широкого распространения в технике тех лет не получили.

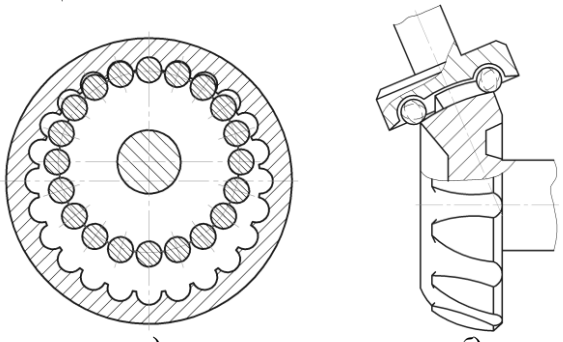
Несмотря на многолетнюю историю, вопрос классификации механических передач с зацеплением посредством третьего тела до сих пор остается открытым.

Вопросом классификации передач данного типа занимались многие авторы [1–4], однако установленные ими классификационные признаки приводят к ряду противоречий, в связи с чем, одна и та же схема передачи может быть отнесена к двум или более видам [5].

Переходя непосредственно к классификации механических передач с зацеплением посредством третьего тела отметим, что под промежуточным телом в данной работе подразумеваются тела вращения (шарика либо ролики). Рассматриваются передачи с неподвижными осями вращения колес.

Итак, все многообразие механических передач с зацеплением посредством третьего тела и неподвижными осями можно разделить на две большие группы: 1) механические передачи с промежуточными телами; 2) механические передачи с промежуточными телами качения.

К первой группе относятся передачи, в которых промежуточные тела устанавливаются в обойме, рис. 1 и 2, тем самым они выполняют роль зубьев колес. Конструкции передач данной группы очень разнообразны, но в кинематическом отношении не отличаются от соответствующих передач с эвольвентным, спироидным и др. типами зацеплений.



а) *б*)

Рис.1. Механическая передача с промежуточными телами: *а*) с параллельными осями; *б*) с пересекающимися осями

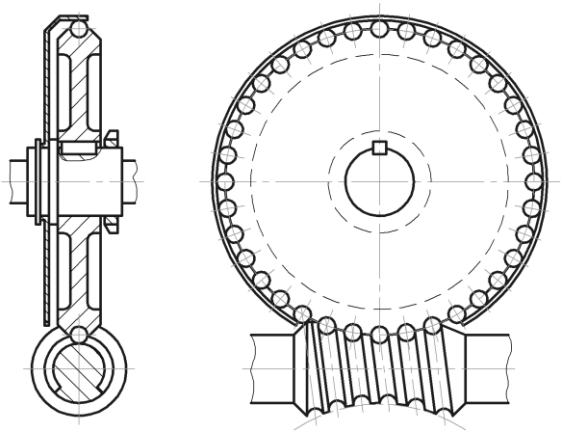


Рис. 2. Передача с промежуточными телами и перекрещивающимися осями валов

Передачи, относящиеся к первой группе, классифицируются по признакам аналогичным для классификации передач с эвольвентным зацеплением: расположение осей, форма поверхности колес, форма зуба (промежуточного тела) и т.д.

Ко второй группе относятся механические передачи на основе зацепления посредством промежуточного тела, в кинематическом отношении существенно отличается от передач на основе эвольвентного, спироидного, эксцентрико-циклоидального и др. типов зацепления.

В самом простом исполнении передача с промежуточными телами качения представляет собой дифференциальный механизм, рис. 4, состоящий из зубчатых колес – 1 и 2, промежуточных тел качения – 3 и сепаратора – 4. В качестве ведущего звена может выступать одно из зубчатых колес, либо сепаратор. Движение снимается с двух других свободных звеньев, при этом одно из свободных звеньев может быть неподвижным, тогда передача работает по принципу редуктора или мультипликатора. Еще одной особенностью, отличающей передачи с промежуточными телами качения от всех остальных, является возможность объединить в себе зубчатую и фрикционную передачи, рис. 5.

Представленная на рис. 5 передача с промежуточными телами качения состоит из фрикционного колеса – 1, зубчатого колеса – 2, промежуточных тел качения – 3 и сепаратора – 4. Сепаратор – 4 выполнен с продольными пазами, в которых расположены промежуточные тела качения – 3. Дорожка качения, выполненная на фрикционном колесе – 1 подобна дорожкам, выполняемым на

кольцах шарикоподшипников. Конструкция передачи, рис. 5, должна исключать взаимное смещение фрикционного колеса – 1, зубчатого колеса – 2 и сепаратора – 4.

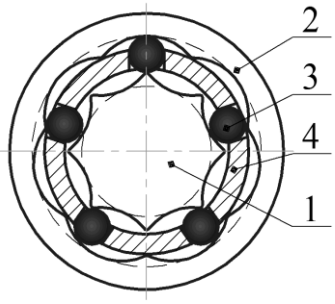


Рис. 4. Зубчатая передача с промежуточными телами качения и параллельными осями:
1) зубчатое колесо; 2) зубчатое колесо;
3) промежуточное тела качения; 4) сепаратор

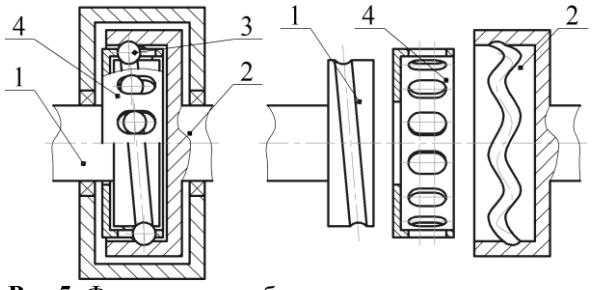


Рис.5. Фрикционно-зубчатая передача с промежуточными телами качения: 1) фрикционное колесо;
2) зубчатое колесо;
3) промежуточное тело качения; 4) сепаратор

Отмеченные особенности передач с промежуточными телами качения (дифференциальность схемы и возможность объединения фрикционной и зубчатой передач) привели к возникновению множества конструктивных схем, что в свою очередь затрудняет классификацию передач данного типа.

В связи с этим считаем целесообразным вторую группу разбить на три подгруппы: *а*) фрикционные; *б*) фрикционно-зубчатые; *в*) зубчатые. Внутри каждой подгруппы передачи с промежуточными телами качения классифицируются по общепринятым признакам: пространственное расположение осей, тип формообразующей поверхности и т.д.

К подгруппе *а*) данной классификации относятся подшипники качения и редуктора, выполненные по схеме подшипника качения. Примером может служить передача, описанная в работе [6]. К подгруппе *б*) относятся передачи с промежуточными телами качения, в составе которой имеются как фрикционные, так и зубчатые колеса, рис. 5. К подгруппе *в*) относятся передачи с промежуточными телами качения, в которых передача движения от одного зубчатого колеса к другому передается посредством промежуточного тела, рис. 4.

На рис. 6 приведена схема, дающая представление о классификации механических передач с зацеплением посредством третьего тела. Данная классификация охватывает существующие передачи на основе зацепления посредством третьего тела, а также те, которые пока еще не имеют конструктивного воплощения.

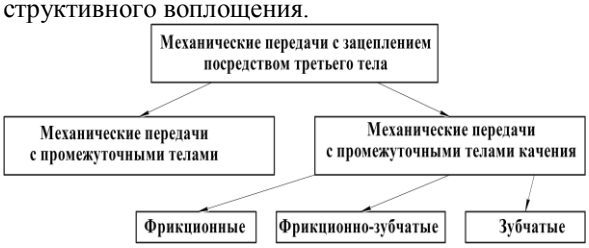


Рис. 6. Классификация механических передач с зацеплением посредством третьего тела

Предложенная классификация не претендует на совершенство и порядке обсуждения и сопоставления различных взглядов должна помочь найти пути к решению вопроса о типизации механических передач с зацеплением посредством третьего тела.

Отметим также, что аналогичный подход к рассмотрению планетарных передач на основе зацепления посредством третьего тела позволяет классифицировать их по признакам аналогичным тем, что предложены в работе [7].

Список литературы

1. Беляев А.Е. Механические передачи с промежуточными телами повышенной долговечности и точности. – Томск. Изд-во ТПИ, 1986. – 60 с.

2. Шибинский К.Г., Ефременков Е.А. Классификация передач с промежуточными телами качения // Современные проблемы машиностроения: Труды IV международной научно-технической конференции. – Томск, 2008 г. – С. 23 – 26

3. Янгулов В.С. Зубчатые передачи повышенной точности и долговечности. – Томск. Изд-во ТПУ, 2008. – 136 с.

4. Передачи со свободными телами качения, обзор патентной литературы // [Электронный ресурс]. URL: http://www.redbear.ru/file/spo.pdf (дата обращения 20.02.2013).

5. Чумакин Р.В., Черемнов А.В., Пашков Е.Н. Немного о передачах с промежуточными телами качения // Труды XVII международной научно практической конференции СТТ 2011, г. Томск, Т.1. С.

6. Geraless transmission: Pat. 3,227,005 US. Appl. No. 118,658. Fild June 21,1961. Patented Jan. 4,1966.

7. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. – М.: Машиностроение, 1966. – 308 с.

БУРОВЫЕ МАШИНЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ГИДРОУДАР

Коровкин П.В., студент
Научный руководитель: Мартюшев Н.В., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: martjushev@tpu.ru

Забойные гидроударные буровые машины. Общие сведения.

Гидроударные машины имеют широкую область распространения в буровом деле. Обобщенно хорошо апробированные участки использования гидроударников можно представить в виде схемы (рис.1). Обширный диапазон примененият гидроударных машин обусловлен тем, что такие механизмы являются одним из основных источников роста всех производственно-технических показателей бурения.

Наиболее часто гидроударники используются как вспомогательное звено, способствующее более интенсивному разрушению горных пород на забое – гидроударники для ударно-вращательного и вращательно-ударного бурения.

Кроме того, гидроударники могут использоваться как самостоятельные машины, являясь главным техническим элементом в процессе проходки скважин – гидроударники для ликвидации аварий в скважинах и для ударно вибрационного бурения скважин в неплотных породах.

Основной отличительной особенностью ударно-вращательного способа бурения является возможность реализации на забое суммарного воздействия ударных импульсов, осевого давления и крутящего момента. Это обеспечивает снижение энергоемкости процесса разрушения пород и, как следствие - повышенную эффективность проходки скважин при пересечении, прежде всего, крепких пород.

Так, например, гидроударное бурение (ударно-вращательное или вращательно-ударное) коронками диаметром 76 мм обеспечивает увеличение механической скорости в 1,8…2,0 раза, повышение проходки за рейс в 1,5 раза и рост коммерческой скорости в 1,6 раза по сравнению с существующими способами бурения твердосплавными и алмазными коронками того же диаметра.

Одним из направлений повышения производительности бурения разведочно-эксплуатационных скважин на нефть и газ также может стать использование ударно-вращательного способа бурения взамен вращательного. Одной из предпосылок такого вывода являются исследования, которые проведены в НПО «Буровой техники» (ВНИИБТ). Основной вывод этих исследований состоит в том, что применение, например, таких гидроударников, как ВВО-5А,ВВО-145, ВВО-170 и др. при ударно-вращательном способе бурения по песчаникам, известнякам и твердым сланцам обеспечивает увеличение механической скорости бурения в 1,3-1,8 по сравнению с вращательным бурением в аналогичных условиях. Одновременно наблюдается рост проходки на долото на 25-30%. Учитывая, что стоимость долота составляет, в среднем 5-7 тыс. грн., имеет место существенная экономия по материалам. Т.е., в общем случае, имеет место повышение тех параметров, которые определяют экономичность способа бурения скважин.

Практика показывает, что гидроударники, наряду с использованием для бурения разведочных скважин, могут успешно применяться и в других отраслях промышленности, а также на вспомогательных работах.

Имеется положительный опыт использования гидроударников для бурения скважин из подземных горных выработок. В отечественной и зарубежной практике морского бурового производства гидроударные машины по существу являются единственной технической базой реализации ударно-вибрационного однорейсового бурения подводных скважин на глубину до 10 м и более с вероятностью пересечения тяжелых грунтов.

Несомненный интерес представляет также возможность использования гидроударных машин для ликвидации и предупреждения прихватов бурового снаряда. Широко известно, что при наложении вибраций уменьшается коэффициент трения между контактирующими элементами (между наружной поверхностью бурового снаряда и расклинивающими его частицами породы), что способствует извлечению прихваченного в скважине инструмента.

Разнообразные условия применения, а также сложность рабочих процессов в гидроударных машинах, взаимосвязанных с процессами в подводящем трубопроводе (колонне бурильных труб) и в скважине, обусловили большое разнообразие технических схем и особенностей конструкции гидроударных машин.

В общем случае, гидроударники представляют собой импульсную систему со свободно движущимся поршнем-бойком, перемещающимся между наковальней и верхним ограничителем, который может быть как жестким, так и упругим. В зависимости от направленности гидравлического воздействия на поршень гидроударники можно разделить на две основные группы:

1. Гидроударники одинарного действия с одной рабочей полостью цилиндра, у которых один ход бойка совершается под действием промывоч-

ной жидкости, другой – за счет силы пружины или собственного веса бойка;

2. Гидроударники двойного действия, с двумя рабочими полостями цилиндра, у которых возвратно-поступательное движение бойка обеспечивается энергией потока жидкости без участия пружин.

Приведенное разделение гидроударников является весьма обобщенным. Так, в группе машин одинарного действия в зависимости от способа совершения активного хода бойка выделены механизмы прямого и обратного действия.

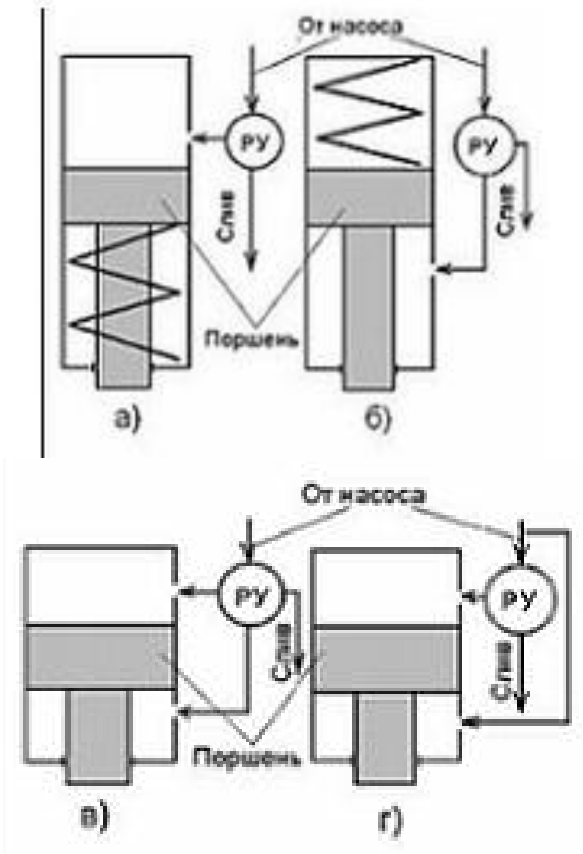


Рис. 1. Схемы гидроударных механизмов.

Гидроударники прямого действия (рис.2,а) характеризуются тем, что в них эффективная энергия от источника (бурового насоса) отбирается на рабочем ходе. При этом часть ее передается бойку, а часть накапливается в пружине,за счет которой обеспечивается холостой ход.

Гидроударники обратного действия характеризуются тем, что в них энергия потока отбирается на холостом ходе бойка и накапливается, в основном, в пружине (упругом элементе) в виде потенциальной энергии сжатия (рис.2,б).

Разгон бойка и удар его по наковальне осуществляется под действием веса бойка и энергии упругого элемента. Подъем (взвод бойка с одновременным сжатием силовых пружин) – под действием давления жидкости, поступление которой в рабочую полость цилиндра регулируется распределительным устройством (РУ).

Гидроударники двойного действия по исполнению гидродвигателя и характеру рабочего процесса разделяются на два основных вида.

К первому виду можно отнести гидроударники, у которых имеются две рабочие полости цилиндра (рис.1,в), контролируемые водораспределительными устройствами.

Ко второму - гидроударники со ступенчатым (дифференциальным) поршнем, разделяющим цилиндр на две камеры, из которых только одна контролируется водораспределительным устройством (рис.1,г).

В работе проведен обзор гидроударных механизмов. Показаны основные особенности различных типов таких механизмов. Выявлено, что в ряде случаев в качестве рабочего тела в такого рода механизмах может использоваться промывочная жидкость. Большое разнообразие применяемых конструкций гидроударных механизмов обусловлено различными условиями их эксплуатации.

Список литературы

1. Зиякаев Г.Р., Саруев Л.А., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий, №6.3 (13), с. 61-65

2. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Исследование эффективности балансировки жидкостным автобалансирующими устройствами // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 1. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/107-7919

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Влияние эллипсности и эксцентриситета резервуара на точность автоматической балансировки // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 2. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/108-8472

4. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Стационарное вращение неуравновешенного ротора, частично заполненного жидкостью при действии сил внешнего трения // Современные проблемы науки и образования – 2012. – № 6. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/106-7825

ОБЗОР НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ КОРОБОК ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ

Лазуркевич А.В., Пашков Е.Н., Черемнов А.В.,
Научный руководитель: Пашков Е.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dmf562e@gmail.com

Автомобиль является сложной механической системой, состоящей из множества деталей и устройств. Одним из неотъемлемых узлов трансмиссии автомобиля является коробка переключения передач (КПП), именно она позволяет подобрать оптимальный режим работы автомобиля в зависимости от дорожных условиях.

Наиболее распространенные виды КПП можно классифицировать по двум основным признакам: по принципу переключения и по типу механической передачи. По первому признаку КПП можно разделить на два типа: КПП с механическим или автоматическим способом выбора передач. По второму на передачи со ступенчатым и бесступенчатом регулировании скорости. Наибольшее распространение получили КПП вальной (рядной), планетарной и вариаторной схем. При этом в КПП с механическим типом переключения наибольшее применение нашли конструкции на основе рядных передач.

В КПП на основе рядных передач, повышение или понижение крутящего момента осуществляется путем подбора соответствующей пары шестерня-колесо (рис. 1).

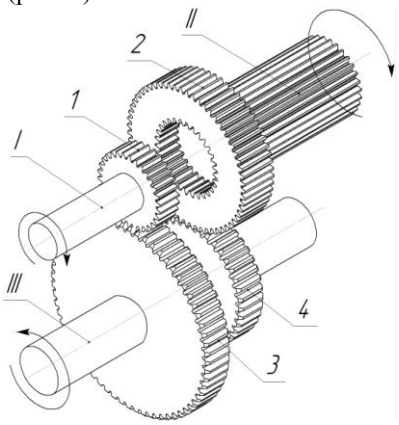


Рис. 1. Схема работы МКПП
I-первичный вал
II-вторичный вал
III- промежуточный вал
1,4 –шестерни
2,3-колеса

К основным достоинствам рядных передач можно отнести: простоту конструкции и возможность организации как автоматического, так и механического способов выбора передач. Недостатками данной схемы являются увеличение габаритных размеров в осевом направлении при увеличении числа ступеней и, как следствие, увеличение массы изделия.

Планетарные передачи наибольшее распространение в гражданском автомобилестроении получили совместно с автоматическим типом переключения (рис. 2).

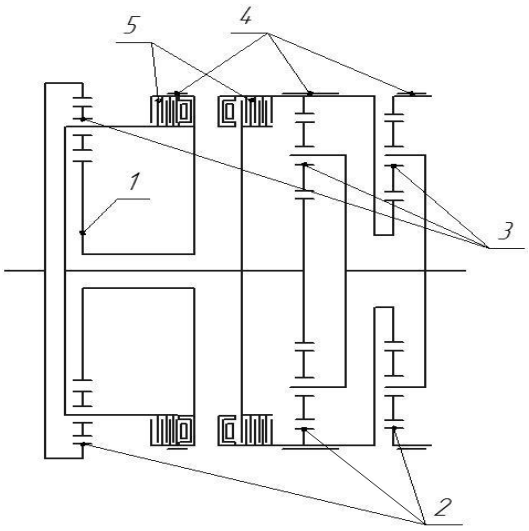


Рис. 2. Кинематическая схема автоматической коробки переключения передач.
1-солнечная шестерня
2-коронная шестерня
3-сателлиты
4- тормоз
5- сцепление

Изменение передаточного числа в планетарных рядах осуществляется посредством торможения каких-либо ее звеньев. Как правило в КПП используется измененный планетарный ряд, простой планетарный ряд не используется в КПП из за малого числа ступеней.

В числе основных достоинств автоматической планетарной КПП - большая комфортность в пути. Обеспечиваются благоприятные условия использования мотора, ходовой части в связи с наличием гидротрансформатора. Машины с автоматической КПП обладают повышенной проходимостью, плавностью движения.

К недостаткам автоматической планетарной КПП относятся: низкий КПД, и следовательно неэкономичность автоматической КПП, автомобили с автоматической КПП менее грузоподъёмные, обладают плохими динамическими характеристиками при старте, так же автоматические КПП отличает меньшая надежность и ремонтопригодностью по сравнению с механической рядной КПП.

Отдельно рассмотрим КПП на основе вариаторных передач или так называемые бесступенчатые КПП. В них передача крутящего момента осуществляется посредством сил трения (рис. 3).

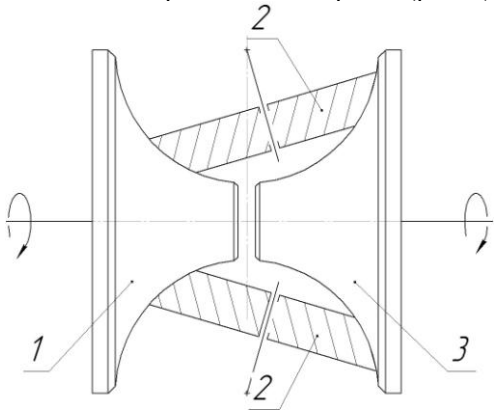


Рис. 3.Принцип работы пар трения в вариаторной передачи.
1-ведущий каток
2-промежуточные катки
3-ведомый каток

Данные передачи отличаются простотой конструкции, плавностью изменения крутящего момента и комфортностью использования, однако они обладают посредственной надежностью, не приспособлены для тяжелых дорожных условии (больших нагрузок). Большинство типов вариаторных КПП обладают следующими недостатками: малым ресурсом и не ремонтопригодностью, при движении по пересеченной местности и бездорожью, однако некоторые схемы неплохо зарекомендовали себя при использовании автомобиля на дорогах с хорошим покрытием. В основном такими качествами как высокий ресурс, возможность быстрого ремонта обладают вариаторные КПП на основе клиноременной передачи, где ремень представляет из себя конструкцию из наборных стальных пластинок. После рассмотрения основных типов используемых в автомобиле строении передач можно сделать вывод, данный вид передач наиболее удобен для движения по асфальтированным дорогам при длительных переездах.

Рассмотрев наиболее распространенные типы КПП и увязывая их достоинства и недостатки с дорожными условиями эксплуатации полноприводных автомобилей, приходим к выводу, что наиболее оптимальным вариантом для полноприводных автомобилей при эксплуатации их в тяжелых дорожных условиях, является механическая планетарная КПП. Данный тип КПП обладает меньшими массогабаритными параметрами, способна передавать высокие крутящие моменты, обладает высокой надежностью, однако при движении с большой скоростью данная КПП будет значительно снижать КПД трансмиссии автомобиля. Для избавления от этого недостатка целесообразно после планетарного ряда поставить вариаторную передачу и осуществить ее включение в работу при достижении определенной скорости движения посредством механического включения. Принцип работы предложенного типа КПП представлен на рисунке 4.

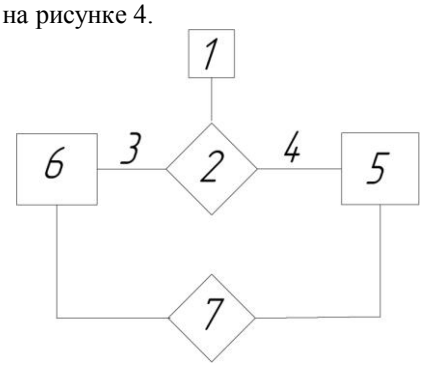


Рис.4 Блок схема предложенной гибридной КПП.

Согласно блок-схеме, крутящий момент передаваемый двигателем (1) будет идти по одному из двух направлений: при движении с малой скоростью, или при движении по сложным дорожным условиям (3) передача момента будет осуществляться через планетарный ряд (6), тем самым полностью используя его достоинства, при движении с большой скоростью (4) крутящий момент будет идти в обход планетарного ряда через вариаторную передачу (5), тем самым повышая КПП всей трансмиссии в целом. После выбора оптимального типа передачи для данных дорожных условий момент будет передаваться дальнейшими устройствами на колеса автомобиля (7). Данная схема позволяет использовать перечисленные достоинства и недостатки обоих типов передач.

Список литературы

1) Гольд Б.В. Конструирование и расчет автомобиля//МАШГИЗ.-1962.-№2-С.461.

2) Леонов А.И., Дубровский А.Ф., Механические бесступенчатые нефрикционные передачи непрерывного действия//М.: Машиностроение.-1984.-С.192-ил.

3) Синтез планетарных передач без избыточных связей/ Инновации машиностроения: сборник трудов международной молодежной конференции.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета,2012.-459 с.

4) Евсеенко И.А. Снижение динамической нагруженности элементов в контуре циркуляции мощности планетарной коробки передач автомобиля // Вестник машиностроения. – 2011. – Т. 316. – № 3. – С. 14–18.

5) Фасхиев Х.А. Кинематический расчет дифференциального механизма автоматической коробки передач // Вестник машиностроения. – 2012. – Т. 316. – № 2. – С. 21–27.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Литовко И.Ю. Кузьменко А.П
Научный руководитель: доктор технических наук Бурков П.В.
Юргинский технологический институт Томского политехнического университета,
652055, г. Юрга, Кемеровская обл., ул. Ленинградская 26

В настоящее время количество газоперекачивающих агрегатов (ГПА) с газотурбинным приводом по суммарной мощности достигло 80 % от общей установленной мощности приводов на газокомпрессорных станциях. Проведенный анализ эксплуатации ГТУ за 2011 год на территории Российской Федерации, показал, что наибольшая доля вынужденного простоя приходится на отказы узлов и деталей механического оборудования ГПА — 47,4%, длительные простои происходят из-за отсутствия дорогостоящих запасных частей и большой трудоемкостью ремонтов, а именно: разрушение рабочих лопаток осевого компрессора, турбины высокого и низкого давления. Эти разрушения возникают вследствие образования усталостных трещин или попадания в проточную часть посторонних предметов, а так же в результате длительного термического воздействия. Данные анализа эксплуатации ГТУ за 2011 год представлены на рисунке 1. [4] Детали газовых турбин (лопатки, диски, камера сгорания и др.) работают в области высоких температур, испытывают большие напряжения и подвержены действию сильно окисляющей среды. Для изготовления таких деталей применяют сплавы, содержащие никель, хром, ванадий, молибден, вольфрам, кобальт. Жаропрочные материалы газовых турбин должны обладать высокими пределами ползучести и длительной стойкости и противостоять коррозии в условиях высоких температур. Детали, работающие при температурах до 823° К, изготовляют из малоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей с содержанием около 0,5% молибдена, а также из хромомолибденовых, хромомолибденованадиевых и кремнехромомолибденовых сталей. К ним относятся стали ЭН10, ЭН145 и др. Для деталей (сопловых и рабочих лопаток, дисков, жаровых труб камер сгорания), работающих при температурах 773—923° К, используют стали аустенитного класса на хромоникелевой основе. Они содержат 14— 18% хрома и 9—30% никеля, имеют присадки титана, молибдена, вольфрама и ниобия. К этим сплавам относятся стали марок ЭИ69, ЭИ123, ЭИ405, 1Х18Н9Т, ЭИ417, ЭИ395 и др. Детали (сопла, лопатки, жаровые трубы камер сгорания), работающие при температурах 923—1073° К, изготовляют из сплавов на кобальтовой, никелевой и хромовой основе с присадками молибдена, вольфрама, ниобия. Указанные материалы трудно поддаются механической обработке резанием, поэтому для облегчения изготовления деталей газовых турбин применяют прецизионное литье и прецизионную штамповку. В последнее время разрабатываются керамические и керамикометаллические материалы.Рис.1 Время вынужденного простоя ГПА за 2011 год Лопатки турбомашин испытывают действие центробежных сил вращения, аэродинамических сил потока пара или газа. Эти усилия вызывают растяжение, изгиб и кручение рабочей лопатки. Центробежные силы относятся к стационарным или медленно меняющимся силам и, следовательно, от них зависит статическая кратковременная и длительная прочность лопаток. Эти силы вызывают статическое растяжение, изгиб и кручение рабочих лопаток. Аэродинамические силы имеют стационарные и переменные составляющие. Первые вызывают статический изгиб и кручение и, как центробежные силы, влияют на статическую прочность, вторые вызывают колебания и определяют вибрационную надежность лопаточного аппарата. Рабочие лопатки испытывают также температурные воздействия. При переходных режимах (пуск, нагружение, разгрузка, остановка) в рабочих лопатках турбомашин вследствие неравномерного прогрева или охлаждения возникают температурные напряжения. При повторных переходных режимах температурные воздействия определяют термоциклическую прочность рабочих лопаток.На рисунке 2 представлена расчетная схема аэродинамических нагрузок и изгибающих моментов. Ось r проходит через центр тяжести корневого сечения. Распределенная нагрузка, действующая на элемент, заменяется сосредоточенной силой. На рисунках 3 и 4 представлены графики зависимости аэродинамической нагрузки в зависимости от радиуса.

Наибольшие напряжения рабочие лопатки испытывают вследствие температурных воздействий, особенно при переходных режимах работы. Наиболее информативным методом определения теплового состояния охлаждаемой лопатки является тепловой расчет в трехмерной постановке. Ввиду его сложности и трудоемкости, а также определенных методических проблем в достоверном определении граничных условий на стадии проектировочных расчетов в основном используются двумерные расчеты температурных полей в сечениях лопаток.

В настоящее время основным методом численного решения тепловых задач является метод конечных элементов, позволяющий очень точно моделировать геометрию расчетной области и граничные условияЧисленное решение задачи теплопроводности методом конечных элементов к настоящему времени достаточно хорошо разработа-

но и трудностей не представляет. При практическом решении конкретных задач основные сложности возникают при задании граничных условий - необходимо в каждом граничном узле сетки задать коэффициент теплоотдачи и температуру среды. Различают внешние границы расчетной области со стороны газа и внутренние границы со стороны охлаждающего воздуха. Границу со стороны газа разбивают на характерные зоны теплоотдачи (входная кромка, корыто, спинка, выходная кромка), в каждой из которых коэффициент теплоотдачи вычисляется по критериальным зависимостям, полученным в эксперименте. Их общий вид:

Для рабочих лопаток температура газа на корыте задается больше, чем на спинке - с учетом эффекта сегрегации. Для сопловых и рабочих лопаток температура газа задается с учетом радиальной, а для сопловых и окружной неравномерности температуры газа за камерой сгорания. Внутренние границы расчетной области со стороны охлаждающего воздуха также разбиваются на характерные зоны, коэффициент теплоотдачи в которых вычисляется по критериальным зависимостям аналогичного вида. Лопатки с пленочным (заградительным) охлаждением имеют свои особенности расчета. Наличие отверстий перфорации и теплосъем в них учитывается или введением дополнительных зон теплоотдачи внутри расчетной области в местах расположения рядов перфорации или заданием в этих местах стоков тепла.

Для определения температурного состояния лопатки на переходных режимах проводится нестационарный расчет. Граничные условия задаются такие же, как в стационарном расчете, но как функция времени. При этом не рекомендуется пользоваться квазистационарными граничными условиями, так как запаздывание температуры охлаждающего воздуха может достигать величины, соизмеримой с постоянной времени лопатки, а относительный расход охлаждающего воздуха на переменных режимах может отличаться от стационарного на 10... 15%. Теплофизические свойства материала - теплопроводность и теплоемкость, задаются как функция температуры.[4] На рисунке 7 показано расположение зон теплоотдачи в сечении рабочей лопатки и приведены результаты расчета рабочей лопатки 1 ступени в виде изотерм температурного поля.

Расчеты показывают, что при переходном и номинальном режимах работы, особенно при переходном режиме на рабочие лопатки газотурбинных установок действуют нагрузки близкие к предельным. Данные расчеты будут полезны для исследования в области применения новых систем охлаждения внутренней полости лопаток, а так же исследовать новые высокожаропрочные никелевые сплавы, обладающие удовлетворительной коррозионной стойкостью. При проведении среднего или капитального ремонта стационарных ГТУ доля затрат на замену или ремонт лопаточного аппарата составляет 30 -^70 % от стоимости ремонта газоперекачивающего агрегата. В связи с ростом температуры перед турбиной высокого давления, достигающей сегодня 1064°С, и резким снижением в связи с этим ресурса лопаточного аппарата затраты на его ремонт еще больше возрастают и достигают 83 % от стоимости ремонта агрегата. Поэтому оценка напряженно-деформированного состояния и определение наиболее нагруженных участков рабочей лопатки является важным фактором в определении условий безопасной эксплуатации газоперекачивающих агрегатов, а так же в прогнозирование и продление ресурса лопаточного аппарата стационарных ГТУ.

Список литературы

1. Dailey, G.M. Design and Calculation Issues. Aero-Thermal Performance of Internal Cooling Systems in Turbomachines. Lecture Series 2000-03. Von Karman Institute for Fluid Dynamics, 2000.

2. Иванов М.Я., Почуев В.П. Проблемы создания высоко-температурных турбин современных авиационных двигателей. Конверсия в машиностроении, №5, 2000.

3. А.Г. Костюк, Динамика и прочность турбомашин: Учебник для вузов – Москва: Издательский дом МЭИ 2007. – 311 с.

4. А.А. Халатов, Ю.А.Дашевский, Охлаждение лопаток высокотемпературных газовых турбин: современное состояние // Газотурбинные технологии. – М., 2009. – №6. – С. 7 – 12.

НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ШЕСТЕРЕНЧАТЫХ НАСОСОВ

И.А. Массон, студент
Научный руководитель: Мартюшев Н.В., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: martjushev@tpu.ru

При выборе насосного оборудования необходимо принять во внимание целый ряд факторов, в число которых входят цель использования насоса, объем перекачиваемой жидкости, физические и химические свойства перекачиваемой жидкости и условия эксплуатации насоса. Для решения этих задач существует множество разновидностей насосов с различными техническими характеристиками. Самое главное — правильно подобрать насос для своих целей. В рамках данной работы был рассмотрен шестеренчатый насос с внутренним зацеплением зубьев.

Свое название шестеренчатые насосы получили по той причине, что его неотъемлемыми органами являются шестерни, в основном эвольвентного зацепления с косыми, прямыми и шевронными зубьями. Шестерни установлены на ведущем и ведомом валах, соединенных муфтой с электродвигателем. Шестеренные насосы НШН и насосы НМШ бывают с внутренним или внешним зацеплением шестерен.

Принцип действия шестеренного насоса с внешним зацеплением состоит в следующем. Ведущая шестерня находится в постоянном зацеплении с ведомой и приводит её во вращательное движение. При вращении шестерён насоса в противоположные стороны в полости всасывания зубья, выходя из зацепления, образуют разрежение (вакуум). За счёт этого из гидробака в полость всасывания поступает рабочая жидкость, которая, заполняя впадины между зубьями обеих шестерён, перемещается зубьями вдоль цилиндрических стенок колодцев в корпусе и переносится из полости всасывания в полость нагнетания, где зубья шестерён, входя в зацепление, выталкивают жидкость из впадин в нагнетательный трубопровод. При этом между зубьями образуется плотный контакт, вследствие чего обратный перенос жидкости из полости нагнетания в полость всасывания ничтожен. Смазка движущихся элементов насоса производится перекачиваемой жидкостью (масло, расплав полимера и др.), для поступления смазывающей жидкости к зонам трения конструкцией насоса предусматриваются специальные каналы в корпусных деталях насоса.

Область применения шестеренчатых насосов необычайно широка. Они отлично зарекомендовали себя как для перекачки низковязких жидкостей, так и высоковязких, от шоколада до топлива и масла. Шестеренчатые насосы имеют прочную конструкцию для обеспечения долгого срока эксплуатации. В рамках нефтехимической отрасли шестеренчатые насосы имеют весьма широкое применение в областях, связанных с продуктами нефтехимической промышленности. Высокопроизводительные насосы можно использовать для загрузки и разгрузки цистерн, для транспортировки минерального масла, асфальта, асфальтовой эмульсии. Насосы с меньшей производительностью могут работать при перекачке этих жидкостей между емкостями.

Основные преимущества шестеренчатых насосов заключаются в простоте их конструкции, в их способности работать при высокой частоте вращения, в их высокой надежности при работе. Также они обеспечивают равномерную подачу жидкости. Основные недостатки шестеренчатых насосов заключаются в нерегулируемости рабочего объёма, в высоких требованиях к качеству изготовления шестерен и пластин, образующих корпус. Также, стоит принять во внимание тот факт, что стоимость насоса резко повышается, если необходимо обеспечить надежность работы насоса при давлениях свыше 30 МПа. Для обеспечения работы при высоких давлениях необходимо использовать дорогостоящие материалы для изготовления шестерен и валов.

Анализ надежности работы шестеренчатых насосов был проведен на примере насоса НШН-600, хорошо зарекомендовавшего себя при тушении пожаров. НШН-600предназначен для подачи пресной воды с содержанием твердых включений не более 0,5% по массе при тушении пожаров и для иных хозяйственных нужд. НШН-600 способен обеспечивать не только подачу пресной воды, но и различных водных растворов на основе реагентов или полимеров, смягчающих воду и образующих пену. Это позволяет не только потушить пожар, но и защитить от открытого пламени близлежащие объекты. Шестеренный навесной насос НШН-600 предназначен для установки на бампер автомобиля или трактора и в основном крепится к пожарной технике. Насос НШН может быть установлен на бамперах шасси таких автомобилей, как ГАЗ-51, ЗИЛ-130, ГАЗ-53, а также трактора Т-40. В действие оборудование приводит храповик коленчатого вала двигателя транспортного средства.

Насос состоит из следующих составных элементов (Рис.1):

1. Напорный патрубок.
2. Корпус насоса.
3. Соединительный канал.
4. Заглушка.
5. Предохранительный клапан.
6. Шестерня.
7. Всасывающий патрубок.
8. Основание.
9. Крышка.
10. Ведомый вал.

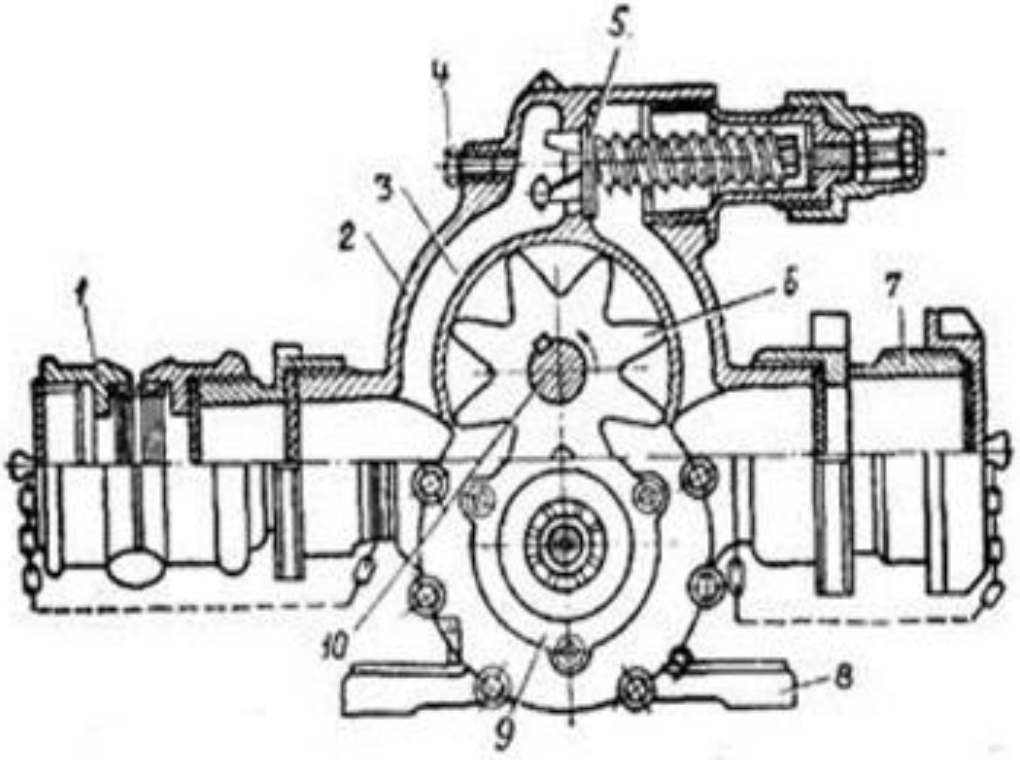


Рис.1 Схема насоса НШН-600.

Корпус насоса НШН-600 отлит из чугуна, имеет две внутренние цилиндрические расточки, всасывающий и напорный патрубки с соединительным каналом, основа с лапами отверстиями. В цилиндрических расточках размещаются две стальные шестерни с одинаковым числом зубьев эвольвентного профиля. Шестерни крепятся на ведущем и ведомом валах, опорами которых есть шарикоподшипники. Соединительный канал всасывающего и напорного патрубков запирается предохранительным клапаном, при повышении напора (в случае залома рукавной линии или перекрытия крана в стволе) открывается и обеспечивает переток воды из напорной полости насоса во всасывающую. В верхней части корпуса насоса НШН-600 имеются два резьбовых отверстия, одно из которых сообщается с напорной полостью насоса и в него может быть ввернут манометр, другое - с всасывающей полостью, и его можно использовать для установки мановакуумметра или для заливки воды в полость насоса и всасывающий рукав. Корпус насоса с обеих сторон закрывается крышками, в которых имеются гнезда для шарикоподшипников и армированных резиновых сальников. Сальники сохраняют подшипники от попадания в них воды из корпуса насоса. Смазка подшипников осуществляется через две пресс-масленки, установленные на крышках насоса. Соединение корпуса насоса с крышками бесшовное, герметичность обеспечивается затягиванием гаек и шпилек. Зазор в пределах от 0,08 до 0,18 мм между торцами шестерен и крышкой корпуса дает возможность получить достаточно высокий вакуум для подсоса воды.

В заключении можно сделать вывод, что шестеренчатые насосы обеспечивают очень высокую надежность и качество выполнения работы при применении по своему прямому назначению – перекачке низко- и высоковязких жидкостей с содержанием примесей не более 0,5% из одного резервуара в другой, а также при использовании их для тушения пожаров.

Список литературы

1. Зиякаев Г.Р., Саруев Л.А., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий, №6.3 (13), с. 61-65

2. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Исследование эффективности балансировки жидкостным автобалансирующими устройствами // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 1. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/107-7919

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Влияние эллипсности и эксцентриситета резервуара на точность автоматической балансировки // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 2. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/108-8472

4. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Стационарное вращение неуравновешенного ротора, частично заполненного жидкостью при действии сил внешнего трения // Современные проблемы науки и образования – 2012. – № 6. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/106-7825

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ 15-689

Мищенко В.О., Е.С. Прудников
Научный руководитель профессор П.В. Бурков.
Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл.,г.Юрга, ул.Ленинградская, 26
Mishchienko_viktoriia @mail.ru

Сложность конструктивных форм и специфические условия эксплуатации предъявляют к расчетам кузовов наливного подвижного состава своеобразные и повышенные требования. Сложившаяся в настоящее время тенденция повышения полезного объема котлов нефтеналивных цистерн при одновременном снижении материалоемкости за счет использования тонкостенных конструкций, приводит к существенному повышению уровня напряженного состояния. Необходимость обеспечения работоспособности и надежности наливного подвижного состава определяет актуальность решения проблемы расчетной оценки несущей способности элементов конструкций, работающих в сложных условиях эксплуатации.

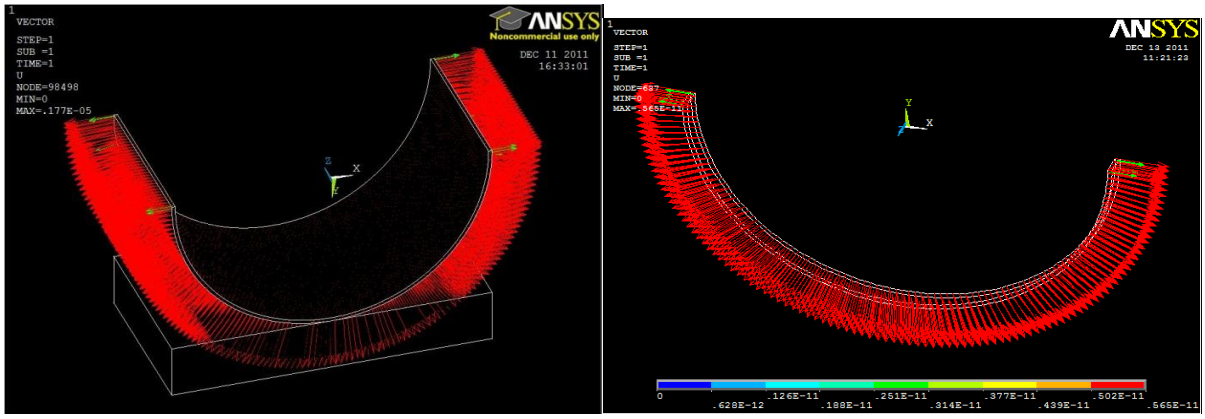
Цистерна для перевозки жидкой серы имеет электрические нагреватели и наружную изоляцию котла, изготовленного из ли-стов двухслойной стали ВСт.3сп2 + 12Х18Н10Т. Изоляция котла рассчитана на сохранение серы в жидком состоянии (серу заливают в котел при температуре 150 °С) в течение четырех суток при температуре наружного воздуха 25 °С. Перед сливом серу разогревают до температуры 120 °С. Котел цистерны изготовлен из углеродистой стали с термоизоляцией для перевозки жидкого пека и рассчитан на температуру загружаемого пека 300 °С. При температуре налива пека 250 °С и окружающей среды 30°С пек сохраняется в жидком состоянии без дополнительного подогрева в течение пяти суток. Система электрообогрева позволяет нагревать пек до 180 °С.

Разновидностью цистерн, предназначенных для перевозки легкозатвердевающих грузов, является цистерна для перевозки капролактама с системой обогрева горячей водой и паром. Котел сделан из стали марки С8Х22Н6Т. Грузоподъемность цистерны 50 т, полезный объем котла 49,5 м³, масса тары 26 т.

К особенностям расчетов котлов цистерн относится учет внутреннего давления перевозимого жидкого груза и его насыщенных паров.

Давление паров перевозимого продукта принимается в соответствии с техническими требованиями к цистерне и характером перевозимого груза. «Нормами…»в редакции 1996 года предусматривалось, что учет сил инерции жидкости, действующих на днище, должен осуществляться путем введения распределенных сил давления, которое принимают линейно убывающими от максимума на днище со стороны удара до нуля у противоположного днища [1]. Анализ экспериментальных данных, полученных исследователями показал, что значения давления в средней части котла находятся на том же уровне, что и значения давления в области переднего днища и даже превышают их. На основе проведенных исследований ГосНИИВ выступил инициатором введения для расчетов на прочность котлов положения о равномерном распределении величины давления по всей длине обечайки котла при разработке изменений и дополнений к Нормам, которые были утверждены в 2000 году.

Рассматривался случай удара цистерны о неподвижный вагон, характеризующийся наибольшими силами, действующими на цистерну. Принималось, что в начальный момент жидкость находилась в состоянии относительного покоя, и ее свободная поверхность была плоской. В качестве кинематического граничного условия использовалось условие прилипания, то есть отсутствие скорости жидкости на стенках котла цистерны. Шаг по времени был принят равным 0,003 с. Численное решение поставленной задачи реализовано с применением программного комплекса конечно-элементного анализа ANSYS и комплекса STAR-CD, реализующего метод конечных объемов. С целью оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) 4-осной железнодорожной цистерны для перевозки нефтепродуктов с учетом перетекания жидкости в котле разработана уточненная конечно-элементная модель железнодорожной цистерны, позволяющая определять напряженно-деформированное состояние элементов конструкции при любом виде нагружения и любых уровнях заполнения котла, которая включает в себя 128 тысяч конечных элементов в трех модификациях [2].



Анализ результатов расчетов показал, что максимальные значения давления на внутреннюю поверхность котла наблюдаются по истечении небольшого промежутка времени после начала движения жидкости. Именно на эти значения следует ориентироваться при прочностном расчете конструкции.

На основе разработанных конечно-элементых моделей получены следующие основные результаты:

1. Удалось установить, что при эксплуатации цистерны учет относительного перемещения жидкости оказывает существенное влияние на НДС отдельных узлов конструкции. В частности, при движении по кривой или переходе на боковой путь, сопровождающемся изменением скорости движения, замечено увеличение напряжений на 26% в элементах крепления котла к раме, расположенный с внешней стороны.

2. Выявлено, что при отсутствии стяжных хомутов на одной из консольных опор, уровень напряжений в местах крепления котла к раме фасонными лапами может увеличиваться в 2,5 раза и превышать допускаемые значения. Исследование зависимости напряжений от уровня заполнения котла грузом при обрыве хомута показало, что по мере заполнения котла напряжения в областях крепления растут, хотя в зоне крепления фасонной лапы к котлу их наибольшие значения замечены при 60 – 65 % заполнении. При таком уровне налива также замечены максимальные деформации хребтовой балки в местах среднего крепления котла к раме. Установлено также, что в нештатной ситуации, связанной с обрывом стяжных хомутов на одной из консольных опор, уровень напряжений в областях соединения котла и рамы со стороны противоположной удару при рассмотрении криволинейного участка пути существенно выше.

Так в узлах крепления к хребтовой балке на 15 %, в зоне крепления лап к котлу замечен рост на 60 %, а в нижнем листе котла нагруженной опоры на 18 %.

3. С целью снижения уровня напряжений в местах крепления котла к раме выполнены исследования их НДС при изменении различных параметров, характеризующих области соединения котла и рамы. С использованием полученных зависимостей напряжений от коэффициента трения в области консольного опирания на деревянные бруски, возможно регулирование затяжки стяжных хомутов до предела, при котором напряжения в областях крепления котла к раме будут находиться на безопасном уровне. Помимо регулировки натяжения стяжных хомутов, в области крепления фасонных лап разработано техническое предложение по внесению незначительных изменений в конструкцию рассматриваемого узла крепления, которое позволяет снизить напряжения в среднем креплении котла к раме до допустимого значения.

Список литературы

1. Спиридонов А.Н., Плоткин В.С. К обоснованию выбора закона распределения давления по длине обечайки котла вагонов-цистерн от гидравлического удара при их соударении // Тяжелое машиностроение, 2003. – №1. – С. 19 – 20.

2. Шимановский А.О., Путято А.В. Моделирование перетекания жидкости в резервуаре с использованием программных комплексов ANSYS и STAR-CD // Вестник УГТУ – УПИ. Компьютерный инженерный анализ. – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2005. – №11(63). – С. 103 – 110.

ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Боголюбова М.Н., Охотин И.С.
Научный руководитель: Боголюбова М.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mabogol@mail.ru

Создание и применение электронных образовательных ресурсов (ЭОР) является неотъемлемой частью современного учебного процесса. Одним из актуальных направлений применения ЭОР является интенсификация учебного процесса.

Анализ факторов интенсификации обучения показал, что основными из них являются:

- увеличение информативной емкости содержания образования;
- повышение темпа учебных занятий за счет компьютерных технологий;
- применение активных методов и форм обучения;
- поисковая деятельность при выполнении научного и учебного эксперимента;
- развитие профессиональных и научно-исследовательских навыов при выполнении НИРС и НИР;
- повышение целенаправленности обучения, и др.

В соответствии с особенностями рассмотренных факторов, разработан информационно-образовательный комплекс на основе ЭОР, который состоит из трех подсистем:

- контрольная (тестирующая),
- обучающая (активная),
- поисковая (инициативная).

Разработаны принципы создания структуры информационно-программного комплекса, включающего следующие разделы:

- Интерпретация и формализация понятий и терминов предметной области;
- Разработка инструментальных средств пользователя;
- Разработка программного обеспечения;
- Организация информационной коммуникации между пользователем и компьютером.

Принципы формализации понятий предметной области выполнены на основе декомпозиции определенной темы по уровням сложности изучаемого материала.

Основные принципы формирования инструментального и программного обеспечения, информационно-программного комплекса разработаны на основе языка Delphi, пакетов прикладных программ, Internet-технологий, информации периодических изданий и др. источников[2,3].

Принципы взаимодействия пользователя с компьютером осуществляются в интерактивном режиме работы.

Разработана система тестирования, которая предназначена для контроля знаний студентов любого уровня сложности: входного, текущего, итогового контроля, контрольных работ, зачетов, экзаменов, а также можно проводить тестирование студентов, чтобы выяснить их уровень знаний, умений и навыков и сформировать учебные задания на основе результатов тестирования и с учетом профессиональной направленности их обучения.

Задания хранятся в базе данных, которые создаются и редактируются преподавателями, по определенным учебным дисциплинам. Интерфейс системы тестирования не зависит от конкретной дисциплины и позволяет сформировать единый банк заданий по различным темам.

Контрольно-справочная часть предполагает наличие: перечня вопросов для самопроверки изучаемого материала и заданий для компьютерного тренинга.

В ходе тестирования в заголовке экрана выводятся номер текущего задания и общее количество заданий в тесте, что позволяет тестируемому оценить объёмы проделанной и предстоящей работы.

В качестве правильного ответа на задание тестируемый выбирает:

1) подходящую альтернативу (альтернативный выбор),

2) отмечает все подходящие элементы множества (множественный выбор),

3) вводит свободный ответ (параграф) в виде текстового или графического документа.

Альтернативный и множественный выбор позволяет получить быстрый результат. Ввод свободного ответа (параграф) предполагает проверку данных преподавателем.

После завершения работы с тестом программа выводит последний экран, на котором указаны:

- название темы;
- количество представленных заданий;
- количество использованных минут;
- количество правильных ответов;
- количество набранных баллов (по 100-балльной шкале) и др. информацию.

Пример контрольного материала по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» кафедры ТАМП изображен на рис.1.

Результаты тестирования позднее можно обработать с помощью другой программы.

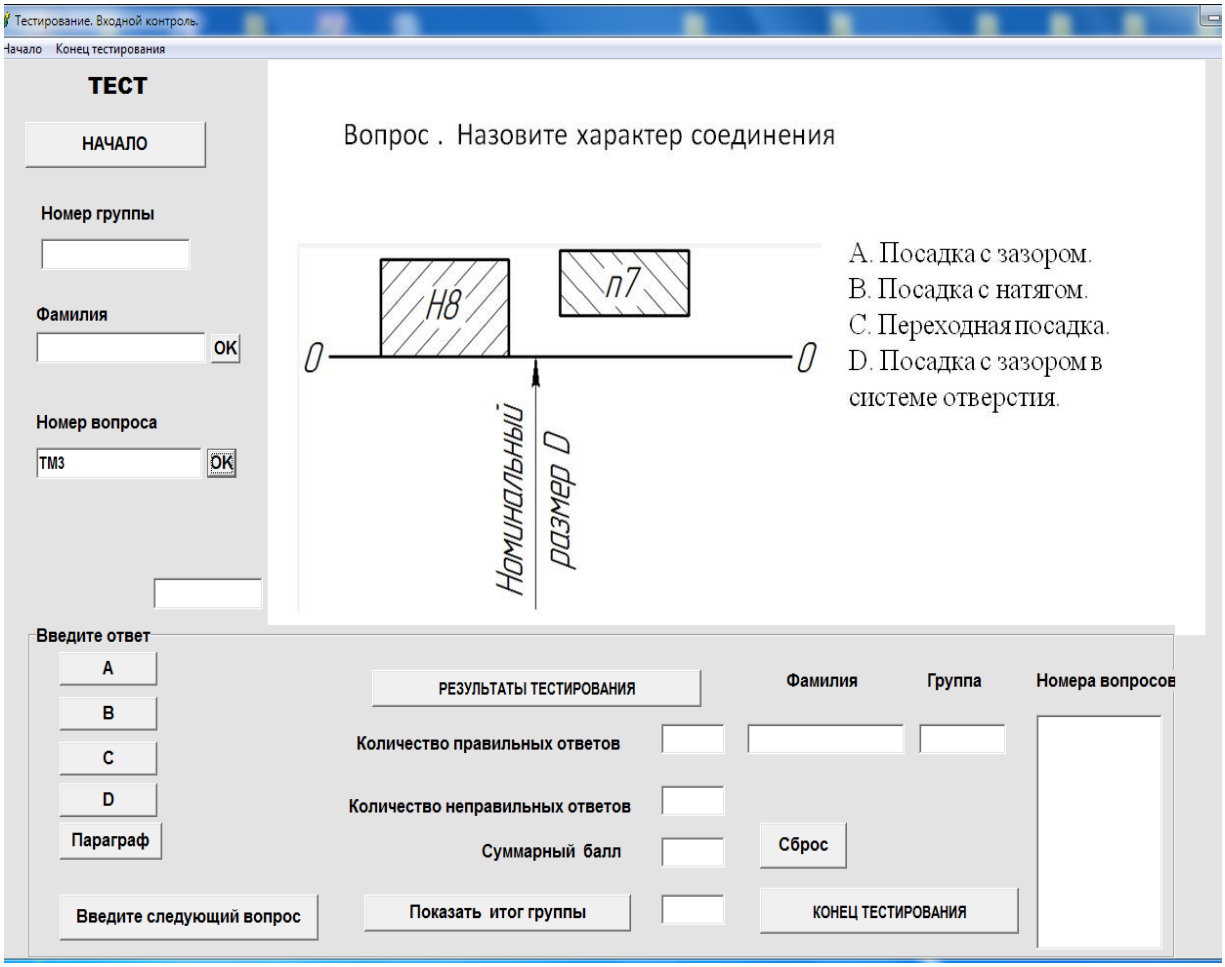


Рис. 1. Общий вид окна результатов тестирования

Система тестирования позволяет:

- создавать любые темы тестирования;
- вводить задания и варианты ответов на вопросы;
- использовать графические изображения в заданиях по темам тестирования;
- оценивать результат тестирования (рис. 1);
- устанавливать балл для оценки знаний;
- накапливать и обрабатывать результаты тестирования;
- вести список тестируемых;
- устанавливать время ответа на вопросы темы, а также ввести дифференцированный подход по временному параметру к участникам тестирования;
- ограничивать доступ тестируемых к просмотру и редактированию данных;
- сопоставлять ответы тестируемых с правильными вариантами ответов;
- сохранять во внешнем файле результаты тестирования и др.

Протокол каждого сеанса тестирования сохраняется в отдельном закрытом файле.

Опыт творческой работы, накапливаемый студентами в процессе обучения, позволяет улучшать качественные и количественные показатели эффективности образовательного процесса.

Список литература

1. Государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования (ГОС ВПО).http://www.edu.ru/db/portal/spe/index.htm.

2. Боголюбова М.Н., Савельева Н.Н. Организация обучения и мониторинга знаний студентов на базе WebCT //Вестник Московского городского педагогического университета. Вып. Информатика и информатизация образования, 2008. - т.5 (15).

3. Савельева Н.Н., Боголюбова М.Н., Проскуряков П.Ю. Конструкторско-технологическая подготовка студентов механиков на основе электронных образовательных ресурсов // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6 (часть 2). – С. 388-391.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕПАРАТОРА ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

М.С. Плеханов, А.С. Ильин
Научный руководитель: А.Н. Голиков, доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
ООО «Сибирская машиностроительная компания», 634040, Россия, г. Томск, ул. В. Высоцкого 28, стр.2
e–mail: plehanovms@tpu.ru

Конструкция волновой передачи с промежуточными телами качения представлена на рис. 1. В такой передаче волна, аналогичная волне деформации, возникает за счет эксцентриситета между осями входного вала и генератора волн [1].

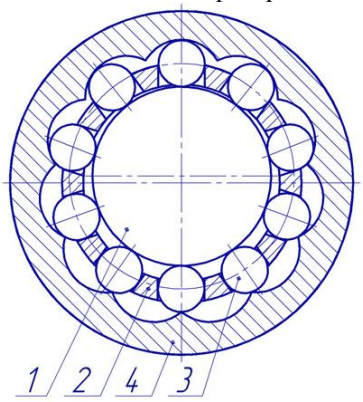


Рис. 1. Схема волновой передачи с промежуточными телами качения:
1–генератор волн; 2–сепаратор; 3–венец; 4–тела качения

Волновые передачи с промежуточными телами по сравнению с другими видами передач имеют такие преимущества как: высокий КПД, минимальный мертвый ход, большое передаточное число при малых габаритах, высокая кинематическая точность.

В общепромышленном производстве редукторы на базе волновой передачи с промежуточными телами нашли применение в тех задачах, где при сравнительно небольшой мощности двигателя необходимо обеспечить большой момент на выходном звене. При этом наибольшую сложность при проектировании таких редукторов представляет расчет напряжений в тяжело нагруженных элементах – сепараторе и венце. Эта сложность обусловлена тем, что в настоящий момент не выработано единой, достаточно точной методики расчета элементов передачи [2].

В CAD–системах среднего и высокого уровня для расчета конструкций на прочность широко используется метод конечных элементов. Преимущество заключается в том, что при его использовании возможно решение не только задач механики, а также многих других областей физики. Суть метода заключается в том, что конструкция представляется совокупностью конечных элементов определенной геометрической формы, связанных между собой в узлах, к которым прикладываются действующие эквивалентные нагрузки. По этим данным строится система элементарных линейных алгебраических уравнений. Решение этой системы определяет характеристики конструкции [4]. Таким образом, на стадии проектирования элементов редуктора в системе, имеющей расчетно–аналитический модуль, имеется возможность определить прочностные характеристики изделия и при необходимости произвести оптимизацию его конструкции.

Для оптимизации конструкторских расчетов изделий, на предприятии ООО «Сибирская машиностроительная компания» была поставлена задача – рассчитать прочностные характеристики сепаратора, выпускаемого для редукторов общепромышленной серии с использованием универсальной CAD/CAE системы. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1, 3D модель исходного сепаратора представлена на рис. 2. Моделирование и расчет конструкции производились в системе T–Flex CAD со встроенным модулем T–Flex Анализ. Для расчетов в системе была создана параметрическая 3D модель сепаратора, в которой в виде переменных были заданы размеры шпоночного паза и окон.

Таблица 1. Данные для расчета

1	Максимальный момент	15 000 Н·м
2	Номинальный момент	7200 Н·м
3	Материал	сталь 30ХГСА
4	Термообработка	Закалка, 42…47 HRC

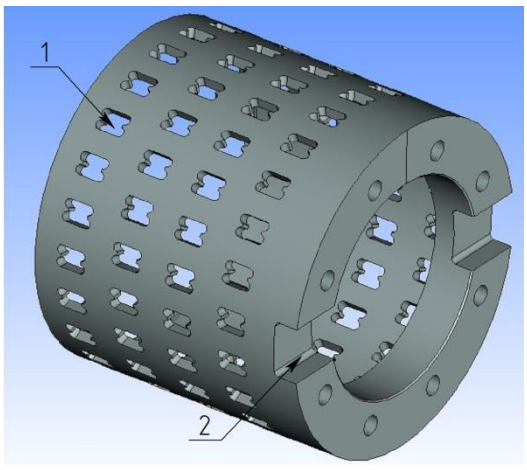


Рис. 2. 3D–модель сепаратора:
1 – окна, 2 – шпоночные пазы

Для расчета в модуле T–Flex Анализ была построена сетка конечных элементов и заданы свойства материала, определено место приложения нагрузки и выбрано место закрепления детали. Основными критериями оценки конструкции были коэффициенты запаса по эквивалентным и нормальным напряжениям, эквивалентные деформации и модуль перемещений. На рис. 3. показан результат расчета коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям для принятой конструкции сепаратора при действии максимального момента.

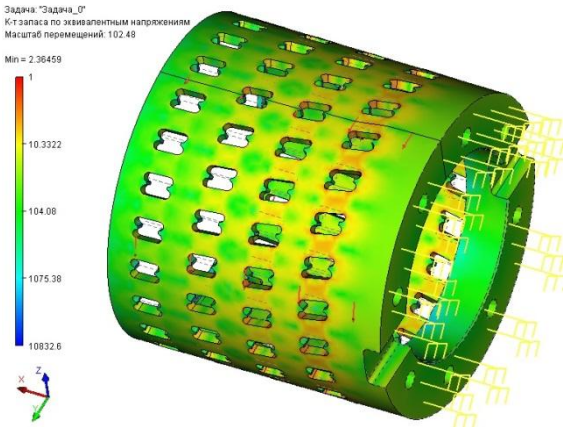


Рис. 3. Результаты расчета конструкции:
к-т запаса по эквивалентным напряжениям

По результатам анализа действующей конструкции сепаратора, были выявлен такой недостаток как относительно небольшой коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям. Для улучшения расчетных прочностных характеристик детали были предложены следующие шаги:

1. Изменение размеров шпоночного паза и формы окон;
2. Замена материала и перерасчет характеристик.

Ни рис. 4 представлены 3D эпюры оптимизированной конструкции сепаратора по таким параметрам как коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям и эквивалентные деформации.

По результатам расчетов также были исследованы характеристики конструкции с заменой материала на другой, обладающий более высокими пределами текучести и прочности на разрыв. В таблице 2 приведены данные по маркам стали и основным достигнутым показателям конструкции по результатам расчетов при оптимальной форме окон и размерах шпоночного паза, при действии максимального момента.

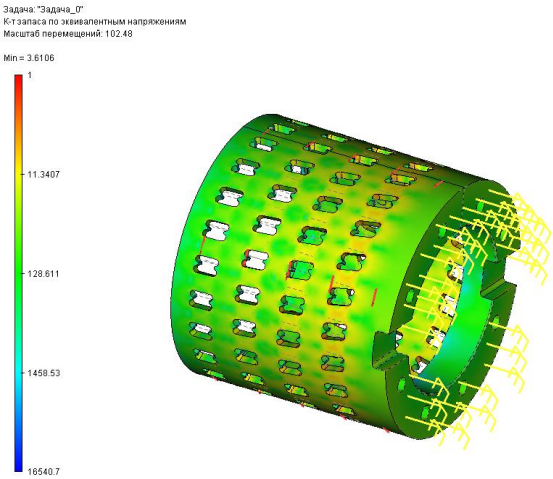


Рис. 4. Результаты расчета конструкции:
к-т запаса по эквивалентным напряжениям

Таблица 2. Используемые материалы и характеристика конструкции

№	Марка стали	К–т запаса по экв. напряжениям
1	50Х	2,51
2	27ХГР	3,33
3	30ХГТ	3,61
4	38Х2Н2МА	3,73
5	38ХН3МА	3,78

Следует отметить, что для расчетов также необходимо учитывать свойства материала и выбранный режим термообработки, поскольку они зависят от температуры закалки и отпуска.

Параметризация 3D моделей в CAD/CAE системах дает возможность анализировать характеристики конструкций на стадии проектирования, а, следовательно, и оперативно вносить изменения, ускорить процесс подготовки конструкторской документации для аналогичных изделий.

Список литературы

1 Беляев А. Е. Механические передачи с промежуточными телами повышенной точности и долговечности. Учебное пособие. Томск, изд-во ТПИ им. С. М. Кирова, 1986. – 60 с.

2 В. С. Янгулов. Волновые передачи с промежуточными телами (состояние, результаты и задачи)// Известия Томского политехнического университета, 2007, №2. С 14 -17.

3 T–Flex Анализ. Руководство пользователя. ОАО «Топ Системы», 2011 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНУТРИТРУБНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ТРУБОПРОВОДОМ

Плечёва Ю.В., Захаров Д.А.
Научный руководитель: Бурков П.В.
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: Plecheva93@mail.ru

Чаще всего прокат из стали 09Г2С используется для разнообразных строительных конструкций благодаря высокой механической прочности, что позволяет использовать более тонкие элементы чем при использовании других сталей. Устойчивость свойств в широком температурном диапазоне позволяет применять детали из этой марки в диапазоне температур от -70 до +450 С. Также легкая свариваемость позволяет изготавливать из листового проката этой марки сложные конструкции для химической, нефтяной, строительной, судостроительной и других отраслей. Применяя закалку и отпуск изготавливают качественную трубопроводную арматуру. Высокая механическая устойчивость к низким температурам также позволяет с успехом применять трубы из 09Г2С на севере страны.

В настоящее время для внутритрубной диагностики газопроводов используются, в основном, магнитные дефектоскопы (магнисканы). При большой скорости движения магнискана невозможно записать показания датчиков с достаточной дискретностью. Кроме того, происходит "отскок" датчиков от стенки трубы из-за ударов о швы и другие неровности. Основными препятствиями использованию внутритрубной диагностики на трубопроводах являются сварные стыки, выполненные на подкладных кольцах или внахлест. Причём эти препятствия практически невозможно ликвидировать без демонтажа трубопровода. В то же время невозможность внутритрубной диагностики не может служить достаточным основанием для демонтажа трубопровода, поскольку аварийность на многих из них не выше средних показателей системы в целом. Поэтому вероятность пропуска опасного дефекта сильно возрастает на тех участках трубы, где на внутренней полости имеются препятствия и где скорость движения магнискана превышает максимальную допустимую данной технологией скорость.[1]

Возможной причиной разрушения трубопровода могут служить дефекты стенок трубопровода, не обнаруженные при проведении диагностических работ.

Неравномерность движения является основной причиной неудовлетворительных результатов обнаружения дефектов при внутритрубной диагностике газопроводов.В результате большие участки газопровода диагностические снаряды проходят со скоростью, значительно превышающей скорость надежной регистрации дефектов стенок трубы.

В отличие от нефтепроводов, диагностика газопроводов низкого и среднего давления вызывает серьёзные технологические трудности. Основная причина – невозможность обеспечить плавное движение очистных и диагностических внутритрубных снарядов в сжимаемой газовой среде. Следовательно, эта проблема особенно актуальна для газоотводов, менее актуальна для магистральных газопроводов и практически отсутствует на нефтепроводах. То есть чем меньше сжимаемость и больше плотность перекачиваемого продукта, тем менее вероятны рывки.

На Рисунке 1 визуально представлен график колебания скорости движения внутритрубного диагностического устройства, где можно отметить, что движение диагностического снаряда (магнискана) в газопроводе с малым давлением и расходом газа происходит с многочисленными остановками и следующими за ними "рывками". Детальный анализ показывает, что остановки происходят в местах сужения трубопровода.[2]

Снаряд останавливается даже на незначительных сужениях, таких как кольцевые сварные швы. Чтобы снаряд "стронулся" после такой остановки, за ним должен накопиться определенный перепад давления. После стравливания снаряда весь запас потенциальной энергии сжатого газа на достаточно протяженном участке за снарядом переходит в кинетическую энергию снаряда. Снаряд набирает значительную скорость и только через какое-то время начинает замедляться.

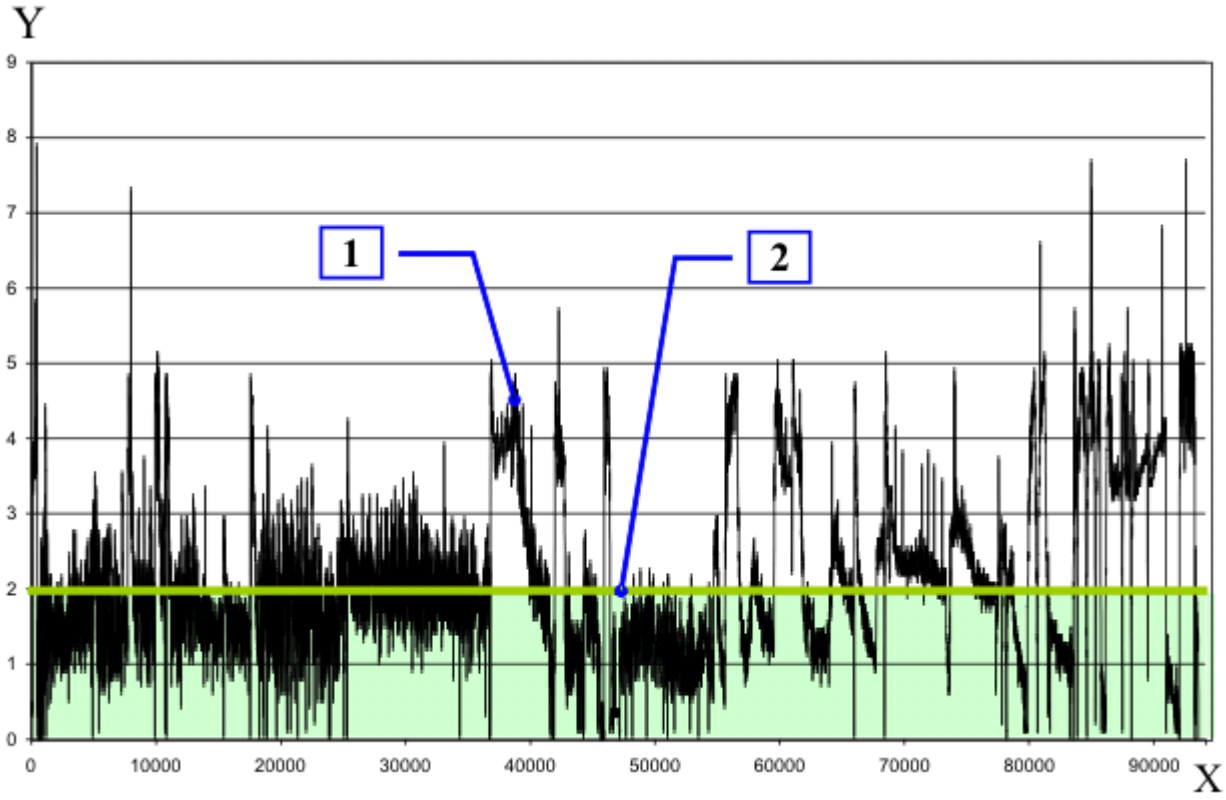


Рисунок 1. График скорости движения диагностического снаряда в газоотводе
1 - реальная скорость движения магнискана по записи от бортовых одометров (экстремумы графика до 7,5 м/с и выше);
2 – максимально возможная скорость, при которой происходит надежная диагностика дефектов (V_{max} = 2 м/с);
Ось X - пройденная диагностическим снарядом дистанция в метрах.
Ось Y - скорость движения снаряда в м/с

В снарядах-поршнях традиционной конструкции реализация плавного продвижения через сужения трубопровода невозможна. Резкие изменения скорости приводят к потере диагностических данных на многих участках газопровода. [3]

В связи с этим внутритрубная диагностика газоотводов среднего давления если и проводится снарядами-поршнями традиционной конструкции, то полученные данные не могут обеспечить надёжную оценку прочности газопровода.

Это обстоятельство, конечно, существенно повышает вероятность аварий на газоотводах. Т.к. именно полнота данных собираемых при внутритрубной диагностике является необходимым условием безопасности эксплуатации "по состоянию". А именно такой подход к эксплуатации трубопроводной системы официально принят в России и других странах.

Список литературы

1. Шмаков В.А., Смирнов Ю.Н., Гиззатуллин Р.Р. Планирование ремонта магистральных трубопроводов по результатам внутритрубной диагностики // Роль науки в развитии топливно-энергетического комплекса. Матер. научн.-практ. конф. 24 октября 2007 г. – Уфа, 2007. – С. 90-92.

2. Козырев Б. В., Козырев Н. Б. Внутритрубное обследование газоотводов // Сфера Нефтегаз. - 2011. - №4. – С. 154-157.

3. Чичеров Л.Г., Молчанов Г.В, Рабинович А.М. Расчет и конструирование нефтепромыслового оборудования. – М.: Недра, 1987. – 422 с.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРЯГАЕМЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ИХ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ

Плешаков А.А., Полякова М.В., Кристаль М.Г.
Научный руководитель: Кристаль М.Г., д-р техн. наук, проф.
Волгоградский государственный технический университет, Россия, 400005, Волгоград, пр.им. Ленина, 28
E-Mail: akrense@yandex.ru

Номенклатура инструмента, используемого в добывающей промышленности, достаточно обширна. Она включает в себя бурильные головки и коронки, шарошечные долота со стальным и твердосплавным вооружением различных геометрических характеристик. Технология изготовления названного инструмента включает в себя запрессовку зубков в корпус. Качество инструмента, зависит от значений рекомендуемых натягов сопрягаемых поверхностей зубков и отверстий в корпусе. Малая величина натяга приводит к вырыванию зубка из корпуса после нескольких нагрузочных циклов, а слишком большой натяг – к появлению микро- и макротрещин в корпусе и преждевременному разрушению инструмента. Для достижения рациональных натягов используют метод групповой взаимозаменяемости (селективную сборку), который предусматривает измерение сопрягаемых размеров деталей с дальнейшей сортировкой их на размерные группы. Чем выше точность измерительных устройств, тем выше качество собираемого инструмента.

Нами предложено пневмо-электронное измерительное устройство (рис. 1). [1]

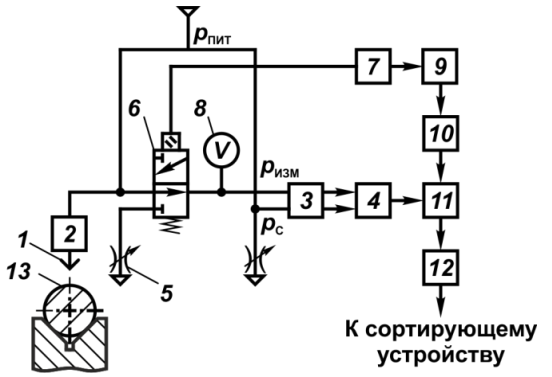


Рис. 1. Пневмо-электронное измерительное устройство

Устройство включает в себя первичный преобразователь *1*, выполненный в виде сопла с измерительной камерой *2*, пороговый элемент *3*, компаратор *4*, дроссель *5*, двухпозиционный клапан *6*, блок *7* управления, элемент *9* задержки, пневматическую емкость *8*, генератор *10* импульсов, элемент *11* сравнения, счетчик *12* импульсов.

Измерение основано на временном преобразовании давления, устанавливающегося в измерительной камере *2* первичного преобразователя *1*. Преобразователь функционирует по схеме «сопло-заслонка» и давление в измерительной камере *2* зависит от зазора между соплом и поверхностью детали *13*, т.е. пропорционально искомому размеру детали. Измерительное давление $p_{изм}$ устанавливается в пневматической емкости *8* и в управляющей камере порогового элемента *3*, соединенных с первичным преобразователем через клапан *6* в его исходном положении.

Запуск измерительного цикла осуществляется блоком *7* управления, который подает сигнал запуска на двухпозиционный клапан *6* и на элемент *9* задержки. Клапан *6* переключается в положение, при котором он соединяет емкость *8* и управляющую камеру порогового элемента *3* с атмосферой через регулируемый дроссель *5*. Емкость и управляющая камера, таким образом, оказываются отсоединенными от источника сжатого воздуха, и воздух, заключенный в их объеме, начинает стравливаться в атмосферу. Элемент *9* задержки удерживает сигнал запуска на время $t_{зад}$, достаточное для того, чтобы убывающее давление воздуха в емкости *8* успело достигнуть значения p_1, соответствующего зазору между соплом первичного преобразователя *1* и эталонной деталью, размер которой соответствует границе нулевой и первой размерных групп. Установка времени задержки производится на этапе настройки прибора. Таким образом, прибор определяет размерную группу детали, начиная от первой. По истечению времени $t_{зад}$ элемент задержки запускает генератор *10* импульсов. Импульсы от генератора подаются на элемент *11* сравнения, который может либо пропускать их на счетчик *12*, либо не пропускать в зависимости от наличия разрешающего или запрещающего сигнала на его входе. Этот сигнал формируется на выходе компаратора *4*, сравнивающего сигналы, поступающие с выходов порогового элемента *3*.

Конструкция порогового элемента включает в себя *3* мембраны, разделяющие корпус элемента на управляющую и вспомогательную камеры. Жесткие центры мембран соосны и соединены сердечником, представляющим постоянный магнит. Положение магнита определяется деформацией мембран и, соответственно, разницей давлений в камерах элемента. Управляющая камера содержит убывающее измерительное давление, а вспомогательная – заданное постоянное давление p_c, меньшее любого начального $p_{изм}$. Когда давления в камерах сравниваются, сердечник оказывается в среднем положении. Положение сердечника регистрируется двумя датчиками Холла, установ-

ленными в корпусе элемента оппозитно противоположным торцам сердечника и подключенными по дифференциальной схеме. В момент, когда сердечник занимает среднее положение, сигналы датчиков принимают равные значения. Это фиксируется компаратором, который формирует запрещающий сигнал на входе элемента сравнения. Импульсы перестают проходить на счетчик. До достижения равенства давлений в камерах разность сигналов датчиков Холла не равна нулю и на входе элемента сравнения устанавливается разрешающий сигнал.

Таким образом, за цикл измерения счетчик импульсов успевает принять число импульсов, соответствующее времени $t_{изм}$, за которое давление в управляющей камере порогового элемента изменяется от p_1 до p_c. Величина $t_{изм}$, в свою очередь, соответствует величине давления $p_{изм}$, которая определяется размером измеряемой детали. Т.е. количество импульсов, принятое счетчиком за измерительный цикл соответствует размеру детали (рис. 2).

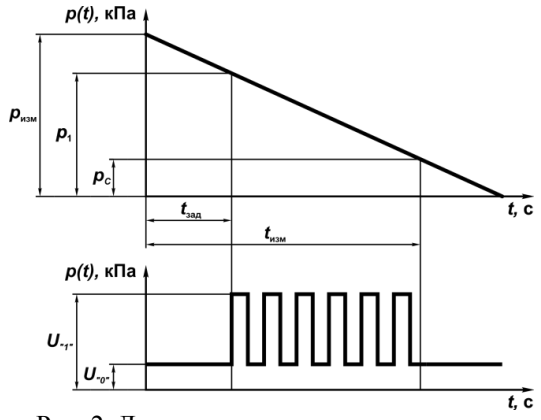


Рис. 2. Диаграмма измерительного цикла

Установлено, что использование порогового элемента, работа которого основана на регистрации положения магнита датчиками Холла, не позволяет обеспечить высокую точность измерений. Несмотря на высокую чувствительность датчиков (использовались датчики серии *SS*495, чувствительность 3,125 мВ/Гаусс), малое перемещение сердечника (в пределах 0,2 мм) и наличие вибраций мембраны приводят к высокой величине погрешности регистрации среднего положения сердечника. Это повышает вероятность попадания детали в несоответствующую размерную группу.

Для устранения недостатка предложено заменить пороговый элемент на два прецизионных датчика давления ($д_1$ и $д_2$), подключенных по дифференциальной схеме к компаратору. Один из датчиков выполняет измерение измерительного давления $p_{изм}$, другой – заданного постоянного давления p_c. Выбраны датчики серии 8262, или аналогичные (погрешность не более ±0,05% диапазона измерения).

Предложенное устройство характеризуется суммарной погрешностью $\delta_{изм}$.

Общая погрешность $\delta_{дд}$ датчиков давления и погрешность $\delta_к$ разброса времени переключения двухпозиционного клапана влияют на результат измерения временного интервала, соответствующего количеству импульсов, принимаемому счетчиком. Так, погрешность $\delta_к$ переключения клапана сдвигает границу окончания измерительного цикла по оси t на случайную величину, не превышающую величины $t_к$, указываемой в паспорте клапана.

Величину $\delta_{дд}$ (рис. 3) можно упрощенно описать как:

$$\delta_{дд} = \frac{VR}{p_{изм}} p_д(\delta_{д1} + \delta_{д2}), \qquad (1)$$

где V - объем пневматической емкости и междроссельной камеры; R - пневматическое сопротивление дросселя *5*; $\delta_{д1}$, $\delta_{д2}$ - погрешности, соответственно, датчиков $д_1$ и $д_2$ давления относительно диапазона измерения; $p_д$ - верхний предел диапазона измерения датчиков

Из выражения (1) следует, что погрешность $\delta_{дд}$ снижается с уменьшением объема емкости V и сопротивления R, которое, однако, приводит к уменьшению быстродействия устройства. Увеличение уровня измерительного давления $p_{изм}$ также снижает погрешность $\delta_{дд}$, однако делает необходимым увеличение верхнего предела измерения давления датчиков давления, что приводит к возрастанию погрешностей $\delta_{д1}$, $\delta_{д2}$.

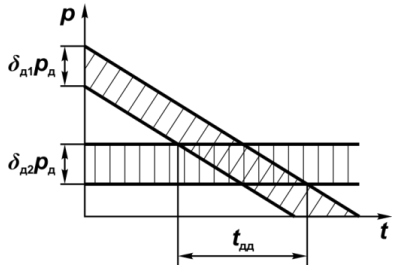


Рис. 3. Погрешность $\delta_{дд}$ датчиков давления

Для повышения точности измерительного устройства требуется рациональный подбор параметров измерительной цепи, обеспечивающий требуемую точность и быстродействие.

Список литературы

1. Кристаль М. Г., Гольцов А. С., Плешаков А. А., Полякова М. В.: Устройство для контроля размеров сопрягаемых поверхностей при сборке коронок для перфораторного бурения // Сборка в

машиностроении, приборостроении. – 2013.- №3. – С.3-5.

ГИДРОИМПУЛЬСНЫЙ МЕХАНИЗМ В РАБОТЕ СВАЕБОЙНОЙ МАШИНЫ

А.В. Пономарев, студент
Научный руководитель: Пашков Е.Н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: epashkov1@sibmail.com

Для устройства свайных фундаментов применяют забивные, винтовые и набивные сваи. Два первых типа свай изготовляют на заводах, а третий устраивают на месте из монолитного железобетона или в сочетании со сборными элементами заводского изготовления. В настоящее время на стройках массовое применение (более 90 % от общего объема применяемых свай) получили главным образом забивные железобетонные сваи квадратного сечения 0,2х0,2...0,4х0,4м длиной до 20м.

Сваи заводского изготовления погружают в грунт приложением внешней вертикальной или наклонной нагрузки (забивные сваи) или в сочетании ее с парой сил, действующих в перпендикулярной плоскости (винтовые сваи). Этими силами преодолеваются силы сопротивления грунта погружению в него сваи. В зависимости от структуры, гранулометрического состава, влажности, параметров внутреннего и внешнего трения и других свойств грунты оказывают различные сопротивления погружению свай. В наиболее податливые глинистые и супесчаные грунты текучей и текучепластичной консистенции забивные сваи возможно погружать вдавливанием. Чтобы противостоять большим реактивным силам сопротивления грунта, применяемое оборудование должно обладать большой массой. В противном случае оно будет отрываться от земли (подниматься над ней), не производя полезной работы. Обычно вдавливающее оборудование пригружают тяжелыми тракторами, которые наезжают на специальные откидные рамы, связанные с направляющей мачтой. Из-за большой материалоемкости вдавливающего оборудования и ограниченности грунтовыми условиями — возможностью работать только в слабых грунтах, его низкой производительности этот метод редко применяют в строительстве.

Для интенсификации процесса погружения забивных свай реализуются два основных направления: создание технических средств, с помощью которых можно обеспечить требуемые для погружения свай нагрузки при уменьшенной массе оборудования, и средств, изменяющих силовое взаимодействие сваи с грунтом по разделяющим их поверхностям и уменьшающим тем самым сопротивляемость грунта погружению сваи, что в конечном счете приводит к снижению требуемых внешних нагрузок, а следовательно, и к меньшей массе оборудования. В первом случае применяют сваебойное оборудование — свайные молоты, которые передают свае ударную нагрузку. Дополнительно к вдавливающей нагрузке, которая передается в виде сил гравитации — собственных и взаимодействующих с ней рабочих органов, свае передается часть кинетической энергии падающего на нее ударного рабочего органа. Ударный метод погружения свай широко применяют в строительстве, практически в любых грунтовых условиях, кроме скальных.

Второе направление реализовано в конструкциях вибропогружателей, которые нагружают сваю периодически изменяемой по значению и направлению возмущающей нагрузкой высокой частоты. Вследствие высоких мгновенных относительных знакопеременных скоростей в пограничной со сваей зоне резко снижается коэффициент внутреннего и внешнего трения грунта, который приобретает свойства жидкости, чем снижается его сопротивляемость погружению сваи. В результате вибрационного силового взаимодействия сваи с грунтом для ее эффективного, соизмеримого по скорости с другими способами, погружения достаточно небольшой гравитационной пригрузки. Этот метод весьма эффективен при погружении свай в водонасыщенные песчаные грунты, а также другие грунты пластичной консистенции. По сравнению с ударным способом в указанных грунтах вибропогружением можно повысить производительность труда в 2,5...3 раза при снижении стоимости работ в 1,5...2 раза.

С уменьшением влажности грунтов для погружения свай с использованием виброэффекта к ним требуется прикладывать большие статические или динамические (ударные) вертикальные нагрузки. Способы погружения свай сочетанием указанных нагрузок называют соответственно вибровдавливанием и виброударным погружением. Каждую из составных частей нагрузок при погружении свай вибровдавливанием (вибрационную и вдавливающую) передают на сваю различными механизмами вибровдавливающего агрегата. Виброударную нагрузку можно генерировать одним механизмом — вибромолотом.

Вибропогружатель - вибрационная машина для погружения в грунт свай, шпунтов, труб и др. элементов, а так же их извлечения. По конструктивной схеме различают вибропогружатели простые и с подрессоренной пригрузкой.

Вибропогружатели простого типа представляет собой вибратор направленного действия, на корпусе которого сверху установлен электродвигатель, а снизу прикреплен наголовник. Направленные колебания в вибраторе создаются в результате применения одной или нескольких пар дебалансных валов, синхронность вращения которых обеспечивается их связью между собой при помощи шестерен. Применение не одной, а нескольких пар дебалансных валов вызывается необходимостью распределения центробежной силы, создаваемой вибратором, на большее число подшипников, чтобы увеличить их срок службы. Наголовник служит для жесткого соединения вибропогружателя с погружаемым элементом, и его конструкцию выбирают в соответствии с типом и размерами этого элемента.

Вибропогружатель с подрессоренной пригрузкой отличается от вибропогружателя простого типа тем, что его электродвигатель устанавливают не на корпусе вибратора, а на основание, соединенное с вибратором при помощи пружин.

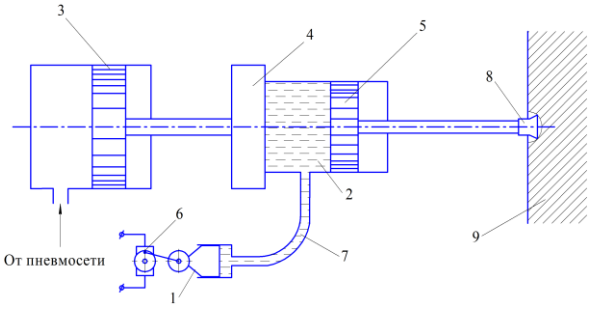


Рис. 1. Принципиальная схема гидроимпульсного силового механизма: 1) гидропульсатор; 2) замкнутый объем жидкости; 3) подающее устройство (пневмоподатчик); 4) активная масса с гидроцилиндром; 5) поршень гидроцилиндра с хвостовиком колонны бурильных труб; 6) электродвигатель; 7) рукав высокого давления; 8) свая; 9) горная порода

Эффективность вибропогружателей с подрессоренной пригрузкой повышается при увеличении дополнительного статического давления, оказываемого на погружаемый элемент подрессоренной пригрузкой, поэтому в некоторых конструкциях вибропогружателей предусмотрено применение пригрузочных плит, которые можно прикреплять к основанию.

Недостатками данных машин являются: большое количество подвижных элементов, сложность конструкции, относительно большие габаритные размеры, дебалансы разбивают опоры качения. В качестве альтернативного решения на кафедре «Теоретической и прикладной механики» было предложено заменить вибропогжающий механизм на гидроимпульсный который обладает повышенным КПД. Что позволит упростить конструкцию, повысить надежность, за счет уменьшения числа подвижных деталей.

В данном устройстве для формирования силовых импульсов можно выделить два колебательных контура. Первый колебательный контур – гидропульсатор – 1, создающий колебания давления жидкости, второй – жидкость – 2, находящаяся в замкнутом объеме, – активная масса – 4 с корпусом гидроцилиндра – пневмоподатчик – 3.

Потенциальная энергия сжатого воздуха в пневмоподатчике, разгоняя активную массу, переходит в ее кинетическую энергию. Активная масса, действуя на замкнутый объем жидкости, преобразует свою кинетическую энергию в потенциальную энергию деформированного рукава высокого давления – 7. Деформация рукава высокого давления будет продолжаться до тех пор, пока не израсходуется вся кинетическая энергия массы. Вынужденные колебания данной системы обеспечиваются работой гидропульсатора.

Гидроимпульсная сваебойная машина может быть использована для выполнения следующих видов работ:

- для погружения в грунт и извлечения железобетонных свай-оболочек;
- для погружения призматических железобетонных свай в грунт;
- для возведения шпунтового ограждения.

Список литературы

1. Зиякаев Г.Р., Саруев Л.А., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий, №6.3 (13), с. 61-65.

2. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Исследование эффективности балансировки жидкостным автобалансирующими устройствами // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 1. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/107-7919.

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Влияние эллипсности и эксцентриситета резервуара на точность автоматической балансировки // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 2. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/108-8472.

4. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Стационарное вращение неуравновешенного ротора, частично заполненного жидкостью при действии сил внешнего трения // Современные проблемы науки и образования – 2012. – № 6. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/106-7825.

.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РУЧНОЙ МАШИНЫ ЭЛЕКТРОБУР С РЕДУКТОРОМ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Разумов С.В.
Научный руководитель: Коротков В.С., к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: inzagi@sibmail.com

Введение

Анализ рынка ручных машин (РМ) в России показал, что в настоящее время отечественные производители не выпускают ручных машин, предназначенных для бурения грунта и льда. Ближайшим аналогом является растворосмеситель, изготавливаемый ЗАО «Интерскол» [1]. Зарубежные фирмы, такие как Mora of Sweden, Vista и др., предлагают ледобуры на базе электродвигателей, а фирмы Husqvarna, Stihl, Echo и др. - мотобуры с двигателями внутреннего сгорания (рис.1 а, б) [2].



а) б)

Рис.1. Зарубежные мото- и ледобуры:
а) электроледобур Mora Ice (Швеция);
б) мотобур Echo (Япония).

Следует отметить, что существуют российские разработки специальной техники для бурения шпуров при инженерных изысканиях [3], но эти машины имеют высокую массу и их нецелесообразно использовать для малых объемов работ и работ в стесненных условиях. Поэтому необходимо разработать конструкцию РМ электробур, не уступающую по своим техническим характеристикам зарубежным аналогам.

Обоснование параметров ручной машины электробур

Существует большое многообразие видов РМ, которые выпускаются российскими и зарубежными производителями. Это дрели и перфораторы, дисковые и цепные пилы, лобзики, шлифовальные машины и др. [1,4]. Характерной чертой всех конструкций РМ является то, что они разработаны на базе коллекторных двигателей (КД), имеющих малую массу на единицу мощности. Частота вращения якоря таких двигателей составляет 12000…18000 об/мин. Полезная мощность КД, используемых в конструкциях РМ достигает 2 кВт. В качестве передаточного механизма применяются одно- двух- и трехступенчатые цилиндрические редукторы, для угловых машин используются конические, реже червячные передачи и так же для получения повышенного крутящего момента на рабочем органе находят применение планетарные редукторы.

Для получения на рабочем органе крутящего момента, необходимого для бурения грунта с рациональной частотой вращения следует использовать редуктор с большим передаточным отношением в одной ступени. Таким передаточным механизмом может быть волновой редуктор с промежуточными телами качения (ПТК). Известна конструкция РМ электробур с волновой зубчатой передачей [5], но изготовление гибкого колеса такой передачи имеет технологические сложности, и конструкция получается менее жесткой в сравнении с волновой передачей с ПТК.

Критическая частота вращения шнекового рабочего органа, после превышения которой, происходит транспортировка разработанного грунта на поверхность, зависит от диаметра шнека D, угла подъема его винтовой линии β и коэффициентов трения грунта о материал шнека μ_1 и внутреннего трения между частицами извлекаемого из шпура грунта μ_2:

$$n_{\text{кр}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2(\sin\beta + \mu_1\cos\beta)g}{\mu_2 D}}, \qquad \frac{1}{c}$$

Крутящий момент необходимый для разрушения грунта в забое определяется как:

$$M_1 = 62{,}5D^2\sigma_n h_c z_л (1+\mu_1 k_з),\ кН{\cdot}м$$

σ_n - приведенная прочность грунта, мПа; h_c - толщина стружки, м;

$z_л$ - число режущих кромок; $k_з$ - коэффициент затупления инструмента.

Крутящий момент необходимый для подъема грунта на поверхность, Н·м:

$$M_2 = 0{,}125\pi k_1 D(D^2 - d^2)H\,\psi\rho k_p^{-1} g(\tan\beta + \mu_2),$$

k_1-коэффициент трения шнека о стенки шпура; d - диаметр штанги шнека, м; H - глубина бурения, м; ψ – коэффициент заполнения шнека; ρ - плотность грунта, кг/м^3; k_p - коэффициент разрыхления грунта [6].

Расчетами установлено, что критическая частота вращения шнека возрастает с увеличением угла подъема винтовой линии и с уменьшением диаметра рабочего органа. Тип разрабатываемого грунта незначительно влияет на этот параметр. Это видно из полученных графических зависимостей (рис.2,3). Значения $n_{\text{кр}}$ для шнеков с различными геометрическими параметрами представлены в таблице 1.

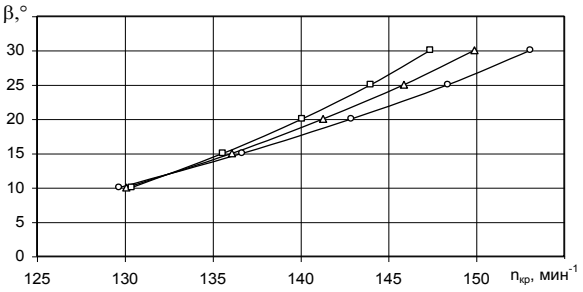


Рис.2. Зависимость критической частоты вращения шнека от угла подъема винтовой линии.

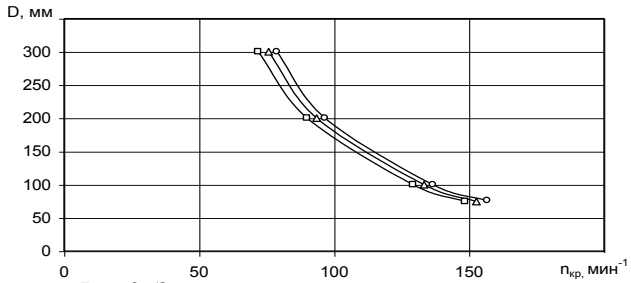


Рис.3. Зависимость критической частоты вращения от диаметра шнека.
○-почва; Δ-суглинок; □-глина.

Таблица 1. Значения критической частоты вращения для шнеков с различными параметрами.

$n_{кр}$, *об/мин*	Диаметр шнека, D, мм	Угол подъема винтовой линии, β, градус	μ_1	μ_2
146	75	10	0,5	0,75
167	75	25	0,5	0,75
134	100	15	0,5	0,75
114	150	20	0,5	0,75
103	200	25	0,5	0,75

При определении силовых и геометрических параметров волновой передачи с ПТК для РМ электробур необходимо задать значимые критерии. Одним из таких критериев может быть соразмерность коллекторного двигателя и редуктора. Обозначим параметр как S, тогда:

$$f(S) \rightarrow const,$$

для каждого типоразмера двигателя.

В статье произведено обоснование параметров для РМ электробур на базе коллекторного двигателя с потребляемой мощностью N=1,1 кВт, с частотой вращения якоря $n_{дв}$=15000 об/мин. Диаметр описываемой окружности двигателя данного типоразмера составляет $D_{кд}$=120 мм.

Передаточное число в одной ступени волнового редуктора с ПТК находится в пределах 6…60. Для расчета размеров редуктора используем зависимости из [7]. Задаемся передаточным отношением 59 с целью получения максимально возможного крутящего момента и рациональной частоты вращения рабочего органа 200…300 об/мин. Расчет проведен для тел вращения в виде ролика с диаметрами 2; 2,5; 3 мм.

Результаты расчета приводятся в таблице 2. Анализ результатов показывает, что на габариты редуктора при постоянном передаточном числе влияет размер ролика d_p. От него зависят и другие размеры деталей редуктора, например диаметр эксцентрикового диска $D_{эд}$, диаметр впадин венца $D_{впв}$, эксцентриситет A_w. Для достижения соразмерности редуктора и двигателя необходимо, чтобы наружный размер сепаратора $D_{сн}$ не превышал 100 мм.

Таблица2. Некоторые размеры деталей волнового редуктора с ПТК.

d_p	$D_{эд}$	$D_{сн}$	$D_{впв}$	A_w
2	67	70,00	72,00	0,5
2,5	84	87,64	90,25	0,625
3	101	105,40	108,50	0,75

При диаметре ролика 2,5 мм размеры редуктора соразмерны с размерами коллекторного двигателя.

Ручная машина электробур на базе коллекторного двигателя с потребляемой мощностью N=1,1 кВт и волновым редуктором с ПТК с вышеописанными параметрами способна развивать крутящий момент на рабочем органе до 20 Н·м с частотой вращения $n_{ро}$=254 об/мин. Это позволит бурить шпуры на глубину 1 м шнеками диаметром 200 мм в грунтах различного типа.

Выводы

Все варианты геометрических параметров волнового редуктора, представленные в таблице 2, являются приемлемыми и могут выбираться в зависимости от значимого критерия. Если таким критерием является минимальная масса привода РМ, то принимаем диаметр ролика d_p=2 мм; если соразмерность двигателя и редуктора, то d_p=2,5 мм; если необходим большой запас надежности для работы в тяжелых условиях, то d_p=3 мм.

Список литературы

1. www.interskol.ru.
2. www.nymfaplus.ru.
3. Ребрик Б.М. Бурение скважин при инженерно-геологических изысканиях.- М: Недра, 1968. – 261с.
4. http://www.dewalt.ru.
5. СПМ 4995 России, МПК Е21В 3/02. Электробур с волновым редуктором./Коротков В.С.- №95122179/20; Заявлено 05.12.95; Публ. 16.09.97, Бюл.№9.
6. Машины для земляных работ: Учеб. для вузов/ Д. П. Волков, В. Я. Крикун, П. Е. Тотолин и др.; Под ред. Д. П. Волкова. - М.: Машиностроение, 1992. - 448 с.
7. Панкратов Э.Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообрабатывающего производства.: Практикум лидера-проектировщика. -Томск: изд-во Том. ун-та, 1998.-295с.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ПРОФИЛЯ ПРОДОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Решетникова Е.П.
Научные руководители: Бочкарев П.Ю., д.т.н., профессор Захаров О.В., д.т.н., профессор,
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая,77
E- mail: purpose22@mail.ru

Большинство сопрягаемых деталей имеют цилиндрические поверхности, и от точности их размеров и формы в значительной степени зависит качество машин и механизмов. Повышение точности деталей машин сопровождается ростом требований к точности и достоверности результатов их измерений. Соответственно повышаются требования к измерительным приборам и методам анализа полученных данных.

Точность контроля геометрической формы профиля продольного сечения цилиндрических деталей [1] зависит от многих факторов: точности базирования детали при измерении, погрешности измерительного датчика прибора, температурных деформаций и т.д. Поэтому конкретные производственные условия обусловливают необходимость использования различного типа приборов в зависимости от необходимых точности, производительности и автоматизации контроля. Развитие математических методов и опыта их применения, а также рост вычислительных возможностей ЭВМ способствуют повышению эффективности оценки отклонений формы деталей.

Контроль профиля продольного сечения обычно реализуется на кругломерах, координатно-измерительных машинах, непосредственно на обрабатывающем оборудование с использованием датчиков малых линейных перемещений контактного или бесконтактного типа. Независимо от применяемых приборов результат измерений можно представить как совокупность декартовых координат (x_i, y_i), где x_i – осевой размер, y_i – радиус детали в i-й точке.

При обработке полученных данных измерения, определённых с некоторой погрешностью в каждой точке контролируемой детали, необходимо получить аналитический эквивалент профиля. Для этого принято использовать так называемые базисные функции. Выбор конкретных базисных функций зависит от свойств функции (периодичность, экспоненциальный или логарифмический характер, свойства симметрии, наличие асимптотики и т.д.). В результате получаем систему уравнений вида:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{U} = \mathbf{Y}, \qquad (1)$$

где $\mathbf{A}$ – прямоугольная матрица размера $n \times m$ из координат x_i; $\mathbf{U} = \{u_1, \ldots, u_m\}^{\mathrm{T}}$ – вектор-столбец решения; $\mathbf{Y} = \{y_1, \ldots, y_n\}^{\mathrm{T}}$ – вектор-столбец координат y_i.

Если в системе (1) число уравнений превышает число неизвестных ($n > m$), ее называют переопределенной и для неё не существует классического решения.

Для решения таких систем используют метод наименьших квадратов (МНК). Его идея состоит в минимизации суммы квадратов невязок:

$$\Phi(u_k) = \sum_{i=1}^{n} r_i^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{j=1}^{m} u_j \varphi_j(x_k) - y_i(x_k) \right)^2, \qquad (2)$$

где $k = 1, \ldots, m$; $\varphi_j(x_k)$ – базисные функции, например, степенные функции $\varphi_j = x^j$.

Решение МНК получается путем приравнивания всех частных производных по компонентам обобщенного решения к нулю (условия минимума):

$$\frac{\partial \Phi}{\partial u_k} = 2 \sum_{i=1}^{n} \varphi_k(x_i) \left(\sum_{j=1}^{m} u_j \varphi_j(x_i) - y_i \right) = 0,$$

и изменяя порядок суммирования, получаем систему линейных алгебраических уравнений вида:

$$\mathbf{B} \cdot \mathbf{U} = \mathbf{F}, \qquad (3)$$

где $\mathbf{B}$ – матрица Грамма; $\mathbf{U} = \{u_1, \ldots, u_m\}^{\mathrm{T}}$ – вектор-столбец решения; $\mathbf{Y}$ – вектор-столбец проекций свободного члена исходной задачи на подпространство базисных функций.

Матрица Грамма имеет вид:

$$\begin{vmatrix} (\varphi_1, \varphi_1) & (\varphi_1, \varphi_2) & \ldots & (\varphi_1, \varphi_m) \\ (\varphi_2, \varphi_1) & (\varphi_2, \varphi_2) & \ldots & (\varphi_2, \varphi_m) \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ (\varphi_m, \varphi_1) & (\varphi_m, \varphi_2) & \ldots & (\varphi_m, \varphi_m) \end{vmatrix}, \qquad (4)$$

элементами которой является скалярные произведения:

$$(\varphi_k, \varphi_j) = \sum_{i=1}^{n} \varphi_j(x_i) \varphi_k(x_i).$$

В правой части системы (3) стоят выражения

$$(\varphi_k, f) = \sum_{i=1}^{n} \varphi_k(x_i) f_i.$$

Известно, что матрица (4) симметричная и положительно определенная, таким образом решение существует и единственно. Находится, например, с помощью итерационного метода Гаусса [2].

Исследования выявили, что для описания таких свойств профиля продольного сечения, как

конусообразность (рис. 1, а, б), бочкообразность (рис. 1, в) и седлообразность (рис. 1, г), целесообразно использовать базисные функции в виде степенных. Полином первого порядка дает прямую и позволяет оценить конусообразность, а полином второго порядка – параболу и характеризует бочкообразность или седлообразность.

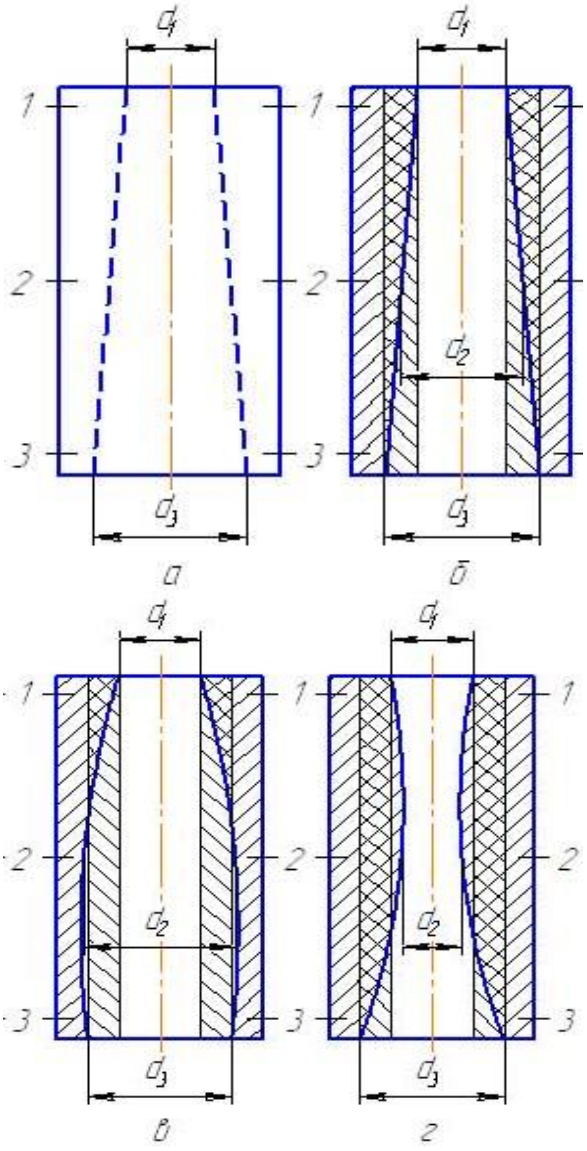


Рис. 1. Виды отклонения формы втулок в продольном сечении: *а, б* – условная и фактическая конусообразности; *в* - бочкообразность; *г* - седлообразность

В итоге получаем уравнения прямой

$$y_1 = a_0 + a_1 x$$

и параболы

$$y_2 = a_0 + a_1 x + a_2 x^2.$$

Значения коэффициентов *а* в этих уравнения очевидны: a_1 есть тангенс угла наклона прямой к оси детали, a_2 – величина, характеризующая бочкообразность (положительный знак) или седлообразность (отрицательный знак).

Составленные матрицы Ф для функций в виде прямой и параболы будут отличаться, поэтому и значений найденных коэффициентов a_0, a_1 также будут различны в указанных случаях.

Рассмотренная методика оценки отклонений профиля продольного сечения для цилиндрических деталей реализована в виде программы в расчетной среде Matlab.

Проведенные исследования установили, что парабола всегда лучше описывает профиль по сравнению с прямой. Это имеет место в случаях, когда конусообразность значительно превышает бочкообразность или седлообразность, оцениваемые по значениям a_1 и a_2. Поэтому следует количественно регламентировать именно частные виды отклонений, а не только комплексной отклонение профиля продольного сечения по ГОСТ 24642-81.

Различные виды отклонений форм в продольном сечении по-разному влияют на условия работы деталей в сборке, например, втулок в готовом изделии. При соединении вала с втулкой, имеющей седлообразное отверстие, зазор в соединении уменьшится и только после некоторой приработки в средней части втулки достигает требуемой величины. Наиболее нежелательным видом отклонения отверстия втулок является бочкообразность. В этом случае втулка будет контактировать с валом только своими крайними сечениями, где произойдет концентрация напряжений и износ будет наибольшим. Это приведет к тому, что через определенное время работы в соединении образуется зазор, превышающий заданный.

Анализ полученных данных показал, что наиболее нежелательной для наружной поверхности является седлообразность, так как при запрессовки таких втулок натяг может получиться меньше заданного. Поэтому при обработке втулок необходимо выявлять действительные отклонения формы в продольном сечении.

Таким образом, предложенная методика и разработанная программа позволяют автоматизировать процесс оценки профиля продольного сечения цилиндрических деталей для выявления частных видов отклонений формы.

Список литературы

1. ГОСТ 24642-81. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1992.

2. Самарский А.А. Численные методы / А.А. Самарский, А.В. Гулин. М.: Наука, 1989. 430 с.

3. Коваленко В.И. Отклонение формы втулок в продольном сечении / В.И. Коваленко // Технология и автоматизация машиностроения: сб. науч. тр. Киев: Техника, 1971. Вып. 8. С. 84-89.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОВОРОТНО-КООРДИНАТНОГО СТОЛА

А. В. Симачева,
Научный руководитель: П. Я. Крауиньш, д.т.н., проф.
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
E-mail: aleksandra_simac@mail.ru

Актуальность использования координатного стола

Во многих сферах производства возникает необходимость осуществлять точное и плавное движение рабочего органа или обрабатываемой детали по требуемым траекториям.

При этом часто не требуется иметь огромный станок с многотонной и невероятно жёсткой станиной, например, при реализации лазерных и плазменных технологий, т.к. на рабочий орган и деталь не действуют значительные силы. В этом случае можно решить задачу более простыми средствами, применение которых и технически, и экономически оказывается оправданным. В этом случае речь идёт о координатных столах. И при этом создаваемый технологический комплекс будет удовлетворять всем предъявляемым к нему требованиям.

Для повышения точности позиционирования деталей используются высокоточные координатные столы. Координатный стол представляет собой мехатронную производственную установку, оснащается приводами, информационно-измерительными устройствами и компьютерной системой управления и предназначен для точного перемещения рабочего органа относительно обрабатываемой детали в процессе выполнения той или иной технологической операции. По конструкции координатные столы близки одновременно и к механическим системам простейших станков, и к портальным манипуляторам и обычно имеют две или три поступательные степени подвижности.

Известен координатный стол, где платформа и каретка выполнены в виде одной детали, а направляющими являются тонкие перемычки в виде плоских пружин.Недостатками указанного устройства являются невозможность снятия каретки с платформы, малый ход координатного стола и отсутствие возможности перемещения каретки по третьей координате Z.

Известен также координатный стол, содержащий платформу, на которой посредством четырех плоских пружин закреплена первая каретка с возможностью перемещения по первой координате (X). Внутри первой каретки также с помощью четырех плоских пружин закреплена вторая каретка с возможностью перемещения по второй координате (Y), перпендикулярной координате X. Плоские пружины в данном устройстве выполняют роль направляющих. Первая и вторая каретки расположены с возможностью взаимодействия с первым и вторым пьезоприводами, а также с первым и вторым пружинными упорами, закрепленными на платформе координатного стола.

Первым недостатком указанного устройства является малый ход кареток координатного стола, связанный с использованием пьезоприводов и плоских пружин. Второй недостаток заключается в отсутствии возможности замены объекта с сохранением его первоначального положения, что бывает необходимым при использовании координатного стола в сложных технологических устройствах, например в сканирующих зондовых микроскопах (СЗМ). Третий недостаток состоит в отсутствии возможности перемещения кареток по третьей координате Z.

Исследование кинематики поворотного координатного стола

Модель предлагаемого поворотно-коодинатного станка представлена на рисунке 1. Координатный стол состоит из: вала 1 и 2 , шатуны 3 и 4, крестовину 5, стол 6 корпус 7,.На валах есть эксцентрики, а к валам через кинематический точный волновой редуктор подсоединены два шаговых двигателя. Благодаря этому, то угловым положением стола можно управлять с высокой точностью. При проектировании координатного стола предполагаем, что во всех шарнирных соединениях установлены подшипники требуемой точности.

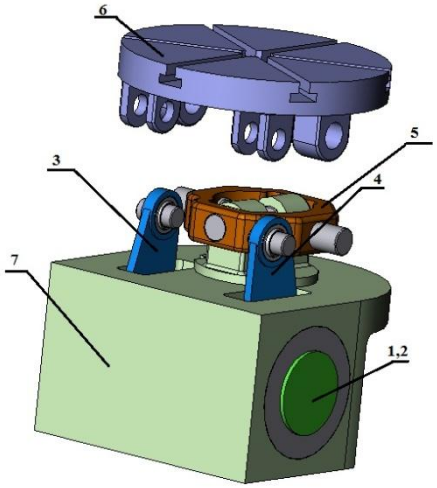


Рис. 1. Поворотно-координатный стол

Схему движения координатного стола можно увидеть на рисунке 2. Движение осуществляется от двигателей через муфту на эксцентриковый вал 1.На валу имеется шатун 3, который передает движение через крестовину 5 сразу на стол станка. Можно сказать, что движение вала 1 отвечает за координату X. Эксцентриковый вал 2 передает

движение столу также как и экцентриковый вал 1 от дивгателя через муфту ,далее на шатун 4, но шатун 4 имеет непосредственную связь со столом 6 и. Эксцентриковый вал 2 отвечает за движение по оси У.

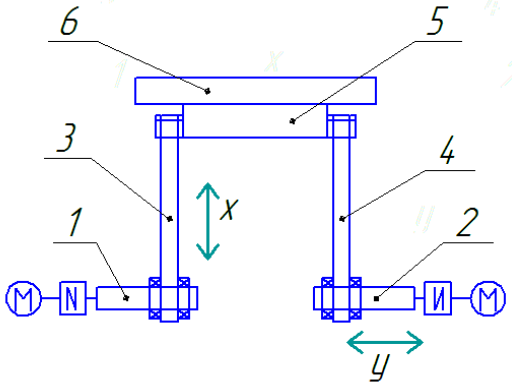


Рис. 2. Схема координатного стола

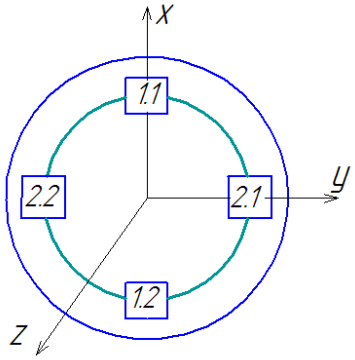


Рис. 3. Схема движения координатного стола через крестовину

При таком совместном движении эксцентричных валов 1 и 2 осуществляется движение стола по трем осям – X, У, Z. При повороте вала 1 на определенный угол шатун 3 передает движение на крестовину в точку 1.1, далее поворачивается эксцентриковый вал 2 и стол перемещается в координату 2.1 .В дальнейшем при повороте эксцентричных валов 1 и 2 координата стола из 2.1 перемещается в 1.2 , а потом в 2.2.

Задача исследования кинематики сводилась к определению взаимосвязи между угловым положением в пространстве стола относительно горизонтальной плоскости и угловыми положениями валов эксцентриков. Исследование проводилось с помощью программного обеспечения Solid Works. Результаты зависимости пространственного положения стола от углового положения эксцентричных валов представлены в таблице 1:а) при фиксированном угловом положении вала 1 в 0º;б) при фиксированном угловом положении вала 1 в 90º;в) при фиксированном угловом положении вала 1 в 180º;г) при фиксированном угловом положении вала 1 в 270º.

Таблица 1. Зависимость пространственного положения стола от углового положения валов

а)

Вал 2, угол ,º	Положение стола, º
0	0
45	5.96
90	10.38
135	6.78
180	2.69
225	6.78
270	10.38
315	6.72
360	0

б)

Вал 2, угол ,º	Положение стола, º
0	84.29
45	89.62
90	88.28
135	89.59
180	84.20
225	78.30
270	75.75
315	78.46
360	84.29

в)

Вал 2, угол ,º	Положение стола, º
0	0
45	9.82
90	12.62
135	9.69
180	2.75
225	6.80
270	10.40
315	6.75
360	0

г)

Вал 2, угол ,º	Положение стола, º
0	79.70
45	74.30
90	72.71
135	74.55
180	79.87
225	85.67
270	88.28
315	85.62
360	79.70

Контактный датчик, установлен на шпинделе, автоматически проверяет положение стола до и после обработки для регистрации данных для автоматического центрирования и определения смещения.

Заключение

Технический результат изобретения заключается в увеличении диапазона перемещения объектов по двум координатам в плоскости образца (X, Y), в возможности перемещения объектов по координате Z, перпендикулярной плоскости образца, и в обеспечении точной повторяемости положений объекта при его переустановке.

Список литературы

1. П.И. Орлов Основы конструирования: справочно-методическое пособие. –М.: Машиностроение – 1988. – 560 с.

2. Свиридов, С.Н. Моделирование имитаторов станков с компьютерным управлением / С.Н. Свиридов// Прогрессивные технологии в машиностроении: тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – С. 90–94.

3. ADEM CAD/CAM/TDM. Черчение, моделирование, механообработка / А.В. Быков, В.В. Силин, . – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 320 с.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ЛЕБЕДКИ С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Степанова Д.Л.
Научный руководитель: Крауиньш П.Я.., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: peterkrau@tpu.ru

В различных машинах, предназначенных для манипулирования определенными элементами конструкции или грузами, применяются лебедки с управляемым приводом. В современных машинах, как правило, такая лебедка включает:

- управляемый привод, определенного типа (электрический, гидравлический);
- редуктор, с требуемым передаточным отношением;
- тормозную муфту, для сохранения и фиксации заданного углового положения барабана лебедки;
- собственно барабан лебедки с необходимым запасом троса;
- набор необходимых датчиков для контроля положения, скорости и нагрузки на барабане лебедки, а при необходимости, также на валу приводного двигателя.

Часто в состав управляемой лебедки, входит еще один конструктивный элемент – муфта сцепления, которая позволяет отключить барабан от редуктора с приводом, для осуществления ручных манипуляций с тросом или осуществляемых им другими устройствами. Причем данные движения весьма просты – трос с барабана просто сматывается, без участия привода. При этом торможение осуществляется вручную, так как для сокращения габаритов тормоза он устанавливается на входном валу редуктора.

В состав автоматизированных лебедок, выполненных по описанной схеме, входит также специальный контролер, как составная часть автоматизированной системы управления. Чаще всего, в связи с успехами в создании силовой электроники, в качестве приводного управляемого двигателя применяется электромотор. В этом случае, выходной усилительный каскад контролера формирует и подает на водные клеммы мотора, требуемое значение электроэнергии, тогда по всем признакам, управляемая лебедка, представляет из себя, мехатронное устройство.

В данной работе рассматривается компоновочная схема лебедки и анализируются ее параметры для случая, когда управляемая лебедка, будет работать в автоматическом режиме. По условиям работы данной лебедки в некотором автоматизированном комплексе можно выделить два режима работы в диапазоне заданных скоростей поступательного движения. Первый режим характеризуется весьма малым натяжением троса, но с точным управлением положения угла поворота барабана и второй режим значительной возрастающей нагрузкой с точным управлением натяжения троса и с точной фиксацией барабана при достижении заданной скорости (рис.1).

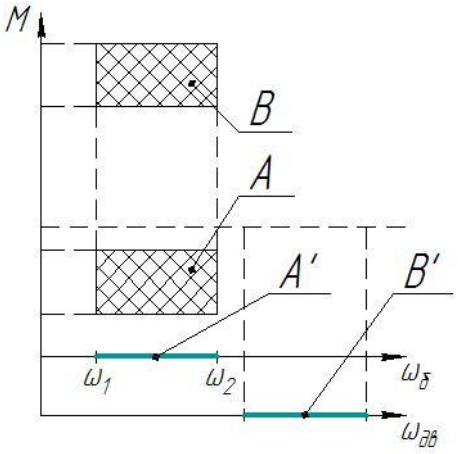


Рис.1. Диаграмма зависимости момента нагрузки на валу от угловой скорости барабана

На рисунке 1 приведена диаграмма, на ней выделены следующие зоны:

А – двигатель через муфту соединен с барабаном лебёдки;

В – двигатель соединен с барабаном лебёдки через редуктор;

А’, В’ – диапазоны угловых скоростей двигателя в режимах работы лебёдки А и В.

Длительность этих режимов различна. В первом режиме, когда трос не нагружен, автоматика управления лебедкой должна гарантировать отслеживание незначительных усилий (момента нагрузки на барабане) и обеспечивать, тем самым смотку или намотку троса на барабан со скоростью, заданной подвижным органом, к которому закреплен конец троса. Скорость этого органа, во времени может меняться в достаточно широком диапазоне при незначительной нагрузке. При этом потребляемая мощность привода лебедки незначительна. Второй режим работы по времени незначителен. Подвижный орган, к которому прикреплен трос, остановлен приводом этого органа, а управляемая лебедка должна произвести натяжение троса с заданным усилием и зафиксировать угловое положение барабана. Значение этого усилия весьма велико по сравнению с первым режимом. Таков краткий цикл автоматической управляемой лебедки, рассматриваемый в данной работе.

В настоящее время, благодаря созданию высокоэффективных магнитных материалов, созданы высокомоментные безкорпусные электродвигатели [1], встраиваемые непосредственно в конструк-

цию. На рисунке 1 штриховой линией изображена линия предельного момента на барабане лебедки, если встраиваемый приводной двигатель соединен непосредственно с барабаном. Следовательно, при всех достоинствах такого двигателя он не может обеспечить требуемый момент в режиме, поэтому для создания на барабане необходимого значительного момента между двигателем и барабаном следует, установить редуктор и дополнительную муфту. Автоматически действующая муфта, позволяет подключать вал барабана к двигателю либо непосредственно, либо через редуктор.

На рисунке 2 изображена принципиальная блок-схема автоматической лебедки, на которой показаны все основные элементы данного мехатронного узла.

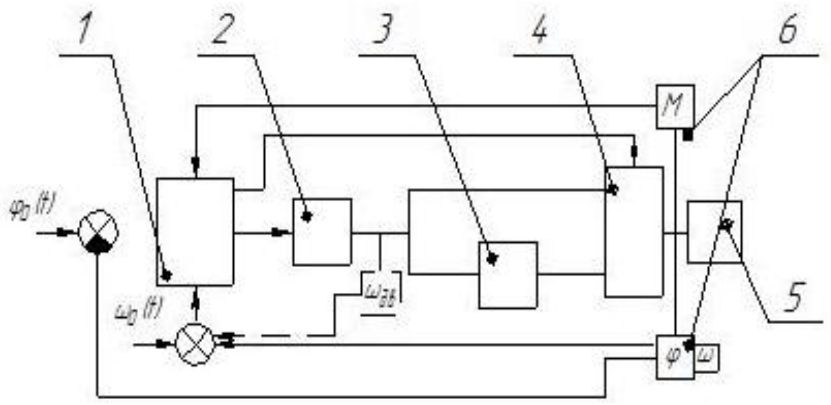


Рис.2. Принципиальная блок-схема автоматической лебедки:
1-контролер; 2 – двигатель; 3 – редуктор; 4 – муфта; 5 – барабан лебёдки; 6 – датчики:
φ – датчик углового положение барабана, ω – датчик угловой скорости барабана,
M – датчик момента на барабане

Благодаря применению в данной лебедке кинематического волнового редуктора [2], удалось исключить традиционно устанавливаемый тормоз. В таких типах лебедок часто применяется червячные передачи, так как они обеспечивают самоторможение, кроме того движение передаётся только от червяка к колесу. Никакой вращающий момент, приложенный к колесу, не заставит вращаться червяк. Именно из-за этого исключительного свойства червячные передачи нашли применение в подъёмных механизмах. Следует отметить, что коэффициент полезного действия волновых редукторов существенно выше, чем у червячных. Червячные редуктора характеризуются высоким трением в зацепление, это обуславливает обязательное применение дорогих антифрикционных материалов. Ещё одним минусом является повышенное изнашивание и заедание, в связи с чем, необходимость регулировки зацепления. Необходимое свойство для лебёдок передавать движение только в одном направлении от двигателя к барабану лебедки, также присуще кинематическому волновому редуктору. В своих преимуществах волновые редуктора превосходят многие редукторы. Многопарность зацепления, достигающая 40% от числа зубьев колеса, обеспечивает высокую нагрузочную способность передачи и, как следствие, малые габариты и массу. Его основные достоинства: отсутствие зазоров, высокие вращающие моменты, переносимость движения, плавность, бесшумность работы, большая перегрузочная способность, возможность передачи движения в герметизированное пространство без применения уплотнений, надёжность и длительный ресурс эксплуатации. Кроме того многопарность зацепления благоприятно сказывается на точности, которая необходима для поворота барабана.

Применение высоко моментного встраиваемого двигателя, позволяет существенно сократить потребляемую за рабочий цикл энергию, уменьшить габариты и вес. Необходимо выполнить лебёдку с размерами не превышающие требуемые габариты. Также важным условием является возможность работы с температурой окружающей среды от минус -50°С до плюс +50°С, при высокой относительной влажности.

Данная схема автоматической лебедки рассмотрена и утверждена на Томском электротехническом заводе и в настоящее время разрабатывается документация на опытный образец.

Список литературы

1. http://electricalschool.info/maschiny/236-vstroennye-jelektrodvigateli-i.html
2. Крауиньш П.Я., Крауиньш Д.П., Иоппа А.В., Саунг-Су-Йесом. Самотормозящий волновой редуктор (полезная модель). Патент RU №76093 И1 опубл. 10.09.08 г. бюл. №25.
3. Хохряков Б.Г. Вырезка сложных деталей (волновых редукторов с промежуточными звеньями) на электроэрозионных станках. Трудный опыт внедрения. // Двигатель -2001- №4.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО СЕПАРАТОРА С КРЫЛЬЧАТКОЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Тимербаев А.С.
Научный руководитель: Таранова Л.В., к.т.н., доцент
Тюменский государственный нефтегазовый университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
E-mail: t1mero72@mail.ru

Разработка нефтяных месторождений осуществляется высокими темпами. При этом, если не восполнять израсходованный запас пластовой энергии, происходит быстрое падение пластового давления. При падении его ниже давления насыщения из нефти выделяется газ, увеличивается газовый фактор, напорный режим работы залежей переходит в режим растворенного газа, дебиты скважин резко снижаются. В результате не обеспечивается полнота отбора нефти из залежи и на многие годы затягивается ее разработка.

Для повышения коэффициентов нефтеотдачи при высоких темпах отбора нефти и газа из залежей необходимо искусственное поддержание пластовой энергии. Наиболее распространенный способ - закачка воды в продуктивные пласты.

В настоящее время основными ведущими нефтедобывающими компаниями выработаны высокие требования к качеству воды для систем ППД. Основные требования по качеству подготовки воды соответствуют отраслевому стандарту ОСТ 39-225-88 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству». В данном стандарте жестко регламентируется допустимое содержание в воде нефти и механических примесей, в зависимости от проницаемости пористой среды коллектора. К сожалению, достичь наиболее жесткие требования стандарта (допустимое содержание в воде механических примесей до 3 мг/л, нефти до 5 мг/л [1]), затруднительно, поэтому на текущий момент существует потребность в компактных устройствах, которые обеспечат необходимую степень очистки при оптимальном режиме.

В рамках данной работы были проанализированы различные методы очистки нефтесодержащих вод.

На наш взгляд, перспективно при очистке пластовых нефтесодержащих вод вместо традиционного гравитационного разделения, используемого при отстаивании и флотации, применять центробежную силу, которая позволит многократно интенсифицировать процесс разделения и повысить степень очистки воды от нефти и механических примесей. Разделение в поле центробежных сил может быть осуществлено в центрифугах и гидроциклонах.

Но данные типы аппаратов имеют ряд недостатков. Например, гидроциклоны имеют перепад давления, поэтому их использование возможно только при высоком давлении, центрифуги могут применяться при любых давлениях, но имеют ограничение по максимальному расходу.

В настоящее время наиболее перспективно применение осевого центробежного сепаратора, в котором жидкость движется через крыльчатку в направлении её оси и вращательное движение жидкости передается от крыльчатки. Данные аппараты отличаются простотой конструкции и компактностью, меньшей по сравнению с флотаторами и центрифугами массой, а так же возможностью работы в широком диапазоне производительностей и давлений [2].

В результате анализа возможной конструкции осевого центробежного сепаратора, была создана трехмерная модель сепаратора с вводом жидкости по нормали в САПР Autodesk Inventor (рис.1). Габаритные размеры (ДхШхВ) сепаратора составляют 1600х185х340мм.

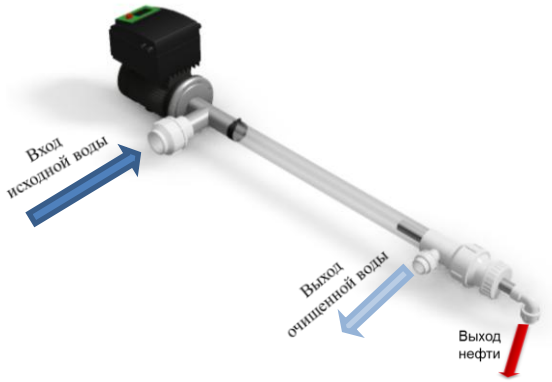


Рис.1. 3D модель центробежного сепаратора

Для моделирования работы и оптимизации конструкции центробежного сепаратора был использована программа STAR-CCM+.

На основе CAD-модели была сгенерирована объемная сетка (рис.2) на основе многогранных ячеек размерностью 3.7 млн. шт.



Рис.2. Поверхностная сетка корпуса сепаратора

Модель сепаратора предполагает вращение ротора и вала. Поэтому для получения более точных результатов с помощью CAD-моделера исходная модель была разбита на три региона: входной патрубок, регион с ротором и валом, выходной патрубок.

Целью численного моделирования было исследование зоны рециркуляции потока в концевой зоне крыльчатки. Наличие такой зоны свидетельствует о несогласованности между граничными условиями, в данном случае - расход жидкости, и величиной оборотов крыльчатки. Для исследования зависимости зоны рециркуляции от расхода была проведена серия расчетов, в которых расход жидкости на входе изменялся от Q = 3 м^3/ч до Q = 15 м^3/ч.

Исходные данные:

- Объемный расход воды: 3, 6, 10, 12, 15 м^3/ч;
- Частота оборотов ротора N = 3000 об/мин.;
- Плотность воды: ρ= 1000 кг/ м^3;
- Динамическая вязкость воды: μ = 1,005 мПа·с.

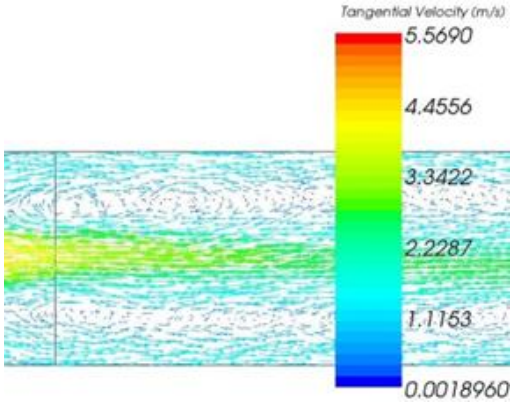


Рис.3. Векторное поле скорости с центральном сечении (Q=3 м^3/ч)

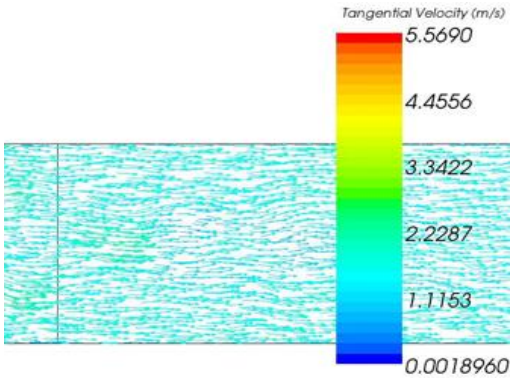


Рис.4. Векторное поле скорости с центральном сечении (Q = 15 м^3/ч)

Анализируя векторное поле скорости в центральном сечении, видно, что при расходе Q = 3 м^3/ч (рис.3) присутствует зона сильной рециркуляции или возвратного потока через осевую часть крыльчатки. При увеличении расхода скорость рециркуляции снижается, и уже для Q = 12м^3/ч обратный поток исчезает. При Q= 15м^3/ч (рис.4) наблюдается равномерный поток в направлении выхода.

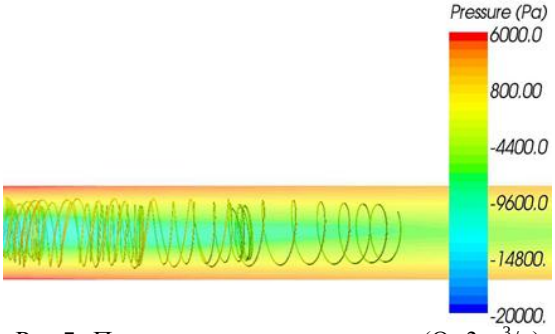


Рис.5. Поле давления и линии тока (Q=3 м^3/ч)

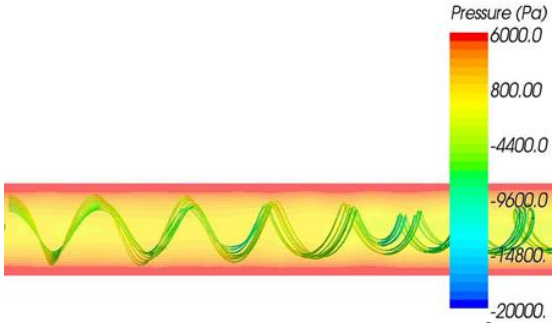


Рис.6. Поле давления и линии тока (Q =15м^3/ч)

Анализируя поле давления в центральном сечении и линии тока, необходимо обратить внимание на случай при Q = 3 м^3/ч (рис.5) где видно, что ни одна линия тока не доходит до выхода. Это говорит о том, что рециркуляция в данном случае очень сильна. По мере увеличения расхода все больше линий доходит до выхода (рис.6). Структурированная линия тока наблюдается при Q = 15 м3/ч (рис.6).

Таким образом, анализ результатов данной серии численного моделирования показал, что предлагаемая комбинация расхода жидкости на входе и скорости вращения вала крыльчатки для данной конструкции не согласованы, т.к. возникает сильная зона рециркуляции. Вода засасывается обратно в крыльчатку. Установлено минимальное значение расхода воды на входе (15м^3/ч), при котором рециркуляция исчезает.

По итогам моделирования разработаны рекомендации для дальнейших исследований, согласно которым необходимо увеличить расход жидкости на входе, либо уменьшить обороты крыльчатки.

Список литературы:

1. ОСТ 39-225-88 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству»;

2. Тимербаев А.С. Исследование физико-химического способа очистки воды для систем ППД с применением центробежного сепаратора с крыльчаткой// Всероссийская научно-практическая конференция “Новые технологии – нефтегазовому региону”/ Сборник трудов в 2-х томах. Т. 2; – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. - 284 с.

НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ГИДРОМЕХАНИКИ

Тырышкин Е.В.
Научный руководитель: Пашков Е.Н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: epashkov1@sibmail.com

Целью данной работы является рассмотрение принципа работы, устройства и видов регулирующей арматуры, как одной из разновидностей арматуры для трубопровода.

Регулирующая арматура — это вид трубопроводной арматуры, предназначенный для регулирования параметров рабочей среды. В понятие регулирования параметров входит регулирование расхода среды, поддержания давления среды в заданных пределах, смешивание различных сред в необходимых пропорциях, поддержание заданного уровня жидкости в сосудах и некоторые другие. Выполнение всех своих функций регулирующая арматура осуществляет за счёт изменения расхода среды через своё проходное сечение.

В зависимости от конкретных условий эксплуатации применяются различные виды управления регулирующей арматурой, чаще всего при этом используются внешние источники энергии и управление по команде от датчиков, фиксирующих параметры среды в трубопроводе. Используется также автоматическое управление непосредственно от рабочей среды. В современной промышленности уже редко, но все же встречается, основной способ управления регуляторами в прошлом — ручное управление (рис 1).

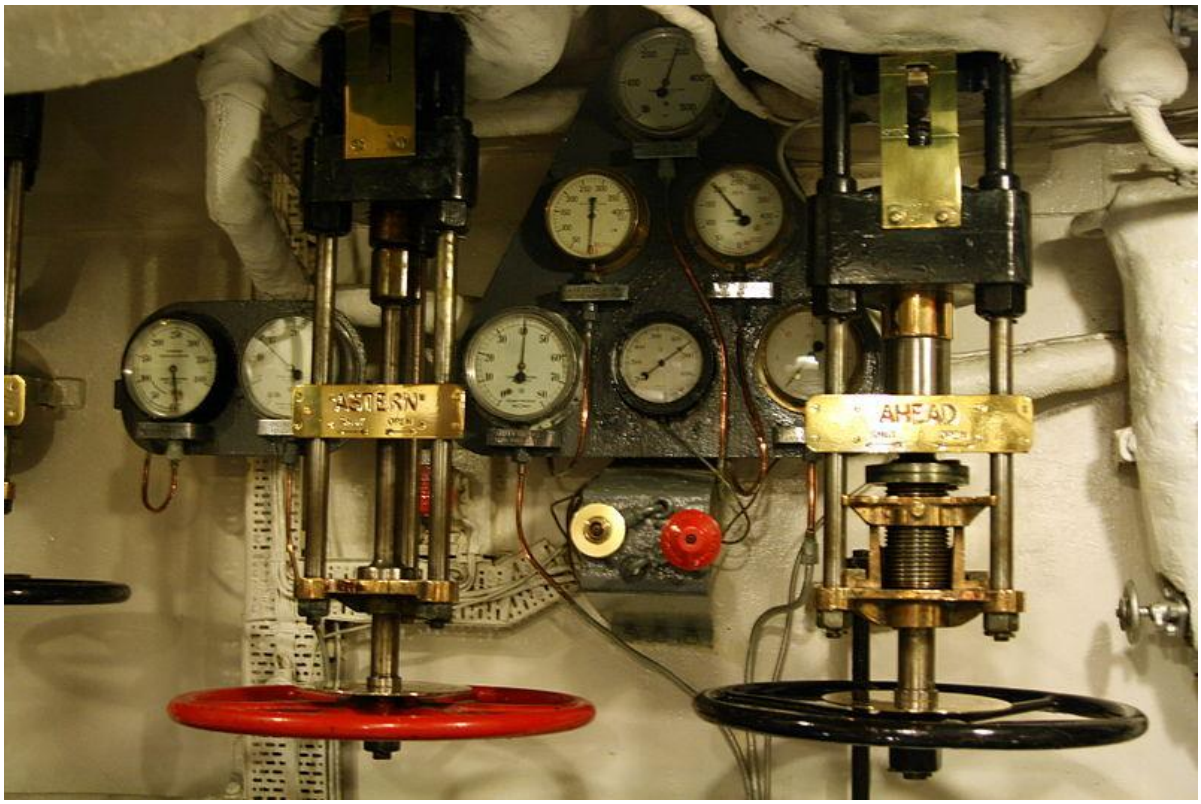


Рис. 1. Регулирующая арматура с ручным управлением.

В зависимости от параметров рабочей среды (давления, температуры, химического состава и др.) к каждому виду регулирования предъявляются различные требования, что привело к появлению множества конструктивных типов регулирующей арматуры. С точки зрения автоматизации промышленных предприятий каждый из них рассматривается как элемент системы автоматического управления технологическим процессом, протекающим с участием жидких и газообразных рабочих сред и регулирующимся под воздействием получаемой командной информации.

Основные виды конструкций:

Регулирующий клапан: Эти устройства получили наибольшее распространение среди различных типов регулирующей арматуры. Большинство из них весьма схожи по конструкции с запорными клапанами, но есть и свои специфические виды.

По направлению потока рабочей среды регулирующие клапаны делятся на:

- проходные — такие клапаны устанавливаются на прямых участках трубопровода, в них направление потока рабочей среды не изменяется;
- угловые - меняют направление потока на 90°;

- трехходовые (смесительные) — имеют три патрубка для присоединения к трубопроводу (два входных и один выходной) для смешивания двух потоков сред с различными параметрами в один. В сантехнике такое устройство имеет название смеситель.

Основные различия регулирующих клапанов заключаются в конструкциях регулирующих органов, по этому признаку они разделяются на:

- односедёльные;
- двухседёльные;
- клеточные;
- мембранные;

Для управления регулирующими клапанами используются электроприводы, электромагнитные приводы и пневмоприводы. Чтобы усилия от среды и сила трения в направляющих и уплотнении не приводили к снижению точности работы клапана, используются дополнительные устройства.

Запорно-регулирующий клапан: С помощью этого устройства осуществляется как регулирование по заданной характеристике, так и уплотнение затвора по нормам герметичности для запорной арматуры, что обеспечивается специальной конструкцией плунжера, имеющего профильную часть для регулирования, а также уплотнительную поверхность для плотного контакта с седлом в положении «закрыто»; такая конструкция является двухседёльной.

Смесительные клапаны: Используются в тех случаях, когда необходимо в определенных пропорциях смешивать различные среды, например холодную и горячую воду, выдерживая постоянным какой-либо параметр (например, температуру) или изменяя его по заданному закону. Отличие смесительных клапанов от регулирующих заключается в том, что управляющее воздействие, задающее положение плунжера во первых, определяет расходы одновременно двух сред, а не одной, как в регулирующих клапанах. Также как и регулирующие клапаны, смесительные могут управляться с помощью электрического или пневматического привода.

Регулирование давления может производиться после регулятора (по направлению потока среды), в этом случае регулятор называют «После себя», или перед ним, в этом случае он называется «До себя».

Принцип работы:

Предположим, что заданному номинальному давлению в трубопроводе соответствует установившийся поток среды через регулятор, при этом усилие от давления среды на чувствительном элементе компенсируется задатчиком нагружения (пружиной или грузом), то есть система находится в равновесии. При изменении давления в трубопроводе это равновесие нарушается и затвор арматуры перемещается, преодолевая усилие от задатчика, или наоборот, поддаваясь ему, при этом изменятся степень открытия регулирующего органа, а следовательно и расхода среды. С изменением расхода меняется давление и, при достижении исходного его значения, система снова приходит в равновесие и затвор прекращает двигаться.

Наиболее часто встречаются регуляторы прямого действия, оснащенные мембранными приводами. Присоединение регуляторов к трубопроводу, как правило, фланцевое, однако, встречаются регуляторы малых диаметров с резьбовым соединением (муфтовые).

Регулятор уровня: Регуляторы уровня используются в сосудах, применяемых в энергетических, холодильных и других установках. Управляются они поплавком, по команде от которого происходит впуск дополнительного количества жидкости («регулятор питания») или выпуск избыточного количества жидкости («регулятор перелива»).

Также могут использоваться в качестве регулирующей арматуры, но значительно реже, другие типы:

- регулирующие заслонки, управляемые пневмо- или электроприводом;
- регулирующие шаровые краны, управляемые пневмо-, гидро-, или электроприводом;
- регулирующие задвижки с электроприводом.

Таким образом, в работе было рассмотрено значительное количество различных клапанов, регуляторов уровня жидкости, регуляторов давления. Обзор показал, что основные конструктивные особенности, исполнение и технические характеристики определяются их сферой применения и во многом зависят от той среды и тех условий в которых устройство будет применяться.

Литература.

1. Зиякаев Г.Р., Саруев Л.А., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий, №6.3 (13), с. 61-65

2. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Исследование эффективности балансировки жидкостным автобалансирующими устройствами // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 1. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/107-7919

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Влияние эллипсности и эксцентриситета резервуара на точность автоматической балансировки // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 2. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/108-8472

4. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Стационарное вращение неуравновешенного ротора, частично заполненного жидкостью при действии сил внешнего трения // Современные проблемы науки и образования – 2012. – № 6. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/106-7825

ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ГЕРМЕТИКА СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ

Филонина Е.А.
Научный руководитель: Ильин А.Н., к.т.н., доцент
ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет,
450000, Россия, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12
E-mail: filonina.ea@gmail.com

Традиционные технологические схемы изготовления резистивного герметика для герметизации узлов свечных изделий различного назначения не учитывают современной тенденции повышения качества выпускаемой продукции. Это связано с отсутствием четкого определения факторов, влияющих на процесс, а также границ изменения этих факторов. Настоящая работа является попыткой решить проблему повышения качества изготовления герметика путем автоматизации технологического процесса и выявления основных факторов, влияющих на него с точки зрения теории управления.

В современных автомобильных искровых свечах зажигания герметичность обеспечивается при помощи резистивного герметика, который выполняет роль помехоподавительного резистора.

Во время работы искровых свечей зажигания возникают значительные градиенты температур, при этом стабильность резистивных свойств зависит от качества герметика. Резистивный герметик представляет собой многокомпонентный состав. Его свойства зависят от правильности подбора в процентном соотношении состава компонентов с учетом влияния различных температур, которым они подвергаются.

Решение задачи управления качеством технологического процесса предложено нами на основе построения многофакторного плана для выявления значимых факторов, влияющих на свойства герметика, с целью определения их в процессе производства. При этом исследовалась зависимость: $R = f(T, k_{(СФ)}, k_{(SiC+B4C)})$ [3]. Зависимой переменной выступает электрическое сопротивление. В качестве независимых переменных при планировании эксперимента были выделены три фактора:

x_1 – концентрация стеклофритты в составе герметика $k_{(СФ)}$, % ;

x_2 – концентрация карбида кремния и карбида бора в составе герметика $k_{(SiC+B4C)}$, % ;

x_3 – температура T, ºС.

За исходную модель принималась модель вида:

$$y = \ln R = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + \\ +b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

Коэффициенты (b_i), вычисленные по результатам эксперимента, указывают на силу влияния факторов. На основе выявленных закономерностей построены регрессионные модели и проведена проверка их на адекватность с помощью критерия Фишера [3]. Регрессионные модели выглядят следующим образом:

$$y = \ln R = -12,3737 + 8,14441x_1 + 9,1114x_2 + \\ +5,6855x_3 - 4,8819x_1x_2 - 1,4552x_1x_3 - \\ -2,4261x_2x_3 - 1,804x_1x_2x_3 \quad ;$$

$$R = 4,39 \cdot 10^{-6} \cdot x_1^{8,14441} \cdot x_2^{9,1114} \cdot x_3^{5,6855} \cdot (x_1x_2)^{-4,8819} \times \\ \times (x_1x_3)^{-1,4552} \cdot (x_2x_3)^{-2,4261} \cdot (x_1x_2x_3)^{-1,804}$$

Процесс изготовления резистивного герметика описывается уравнениями полученных регрессионных моделей.

Применение уравнений в реальном производстве даст технологам возможность целенаправленно управлять процессом в ручном режиме. Полученные уравнения позволили синтезировать структуру процесса изготовления герметика, которая представленна на рис. 1.

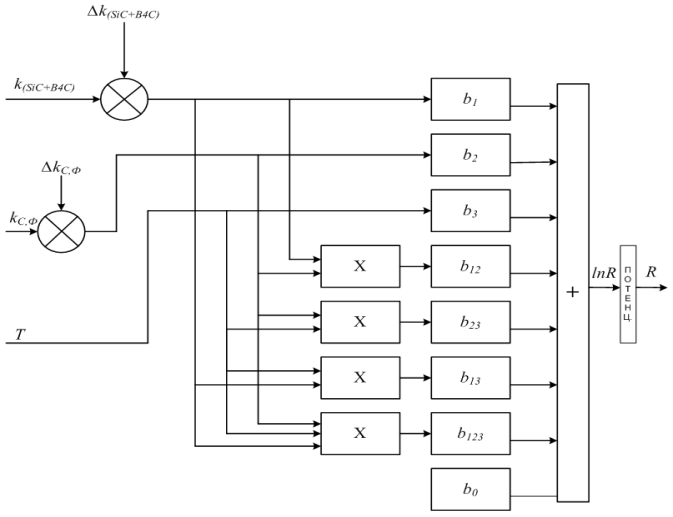


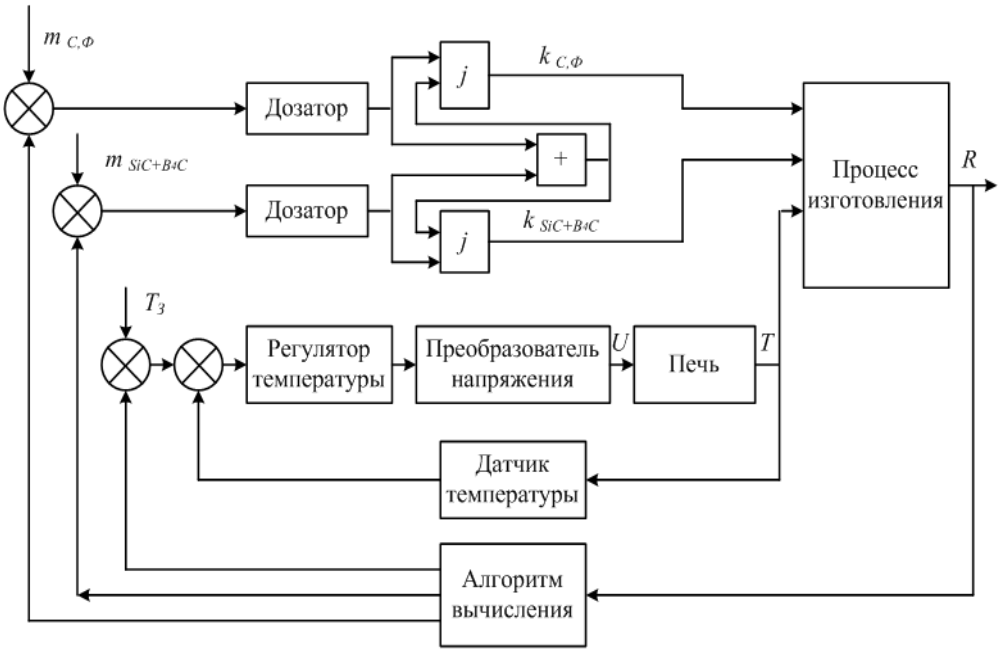
Рис. 1. Структура процесса изготовления герметика

С позиции теории управления, выходной характеристикой системы является сопротивление резистивного герметика [2]. В настоящее время сопротивление технологически контролируется вручную после окончания цикла производства, следовательно, постоянно действующая обратная связь в системе отсутствует. Традиционные методы управления (самонастраивающиеся системы с эталонной моделью и т.п.) данную проблему не решают, поскольку сообщения об ошибке модели и реального объекта поступают через разные промежутки времени. Это делает актуальным разработку новых принципов управления.

Электрическое сопротивление резистивного герметика может варьироваться в широких пределах в зависимости от процентного содержания компонентов смеси и от степени обогащения поставляемого сырья. Однако, согласно требованиям конструкторской документации, его необходимо поддерживать в пределах от 4 до 13 кОм. Следовательно, необходимо синтезировать систему управления процессом изготовления резистивного герметика.

Анализ действующего технологического процесса на производстве позволил сформировать структуру системы управления процессом с минимальным участием человека, представленную на рис. 2 [4]. Она имеет неизменяемую часть, состоящую из весовых дозаторов и печи.

Предлагаемая система работает следующим образом: оператором вводится заданное значение сопротивления и выходное значение полной массы, типовое значение концентрации компонентов при этом хранится в памяти, контроллером рассчитывается масса каждого из компонентов.
Данный методологический подход прошел апробацию в реальном производстве при приготовлении резистивного герметика и показал его эффективность.



R – электрическое сопротивление герметика; $m_{СФ}$ – масса стеклофритты;
$m_{SiC+B4C}$ – масса карбида кремния и карбида бора;
T – температура; U – напряжение

Рис. 2. Структура системы управления процессом изготовления герметика

Использование модели для корректировки технологического процесса позволило снизить общий брак и стабилизировать технологический процесс.

Список литературы:

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. – Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий – М.: Наука, 1976. – 279 с.

2. Андрющенко В.А. – Теория систем автоматического управления: Учеб. пособие. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1990. – 251 с.

3. Фаддеев М.А. – Элементарная обработка результатов эксперимента: учебное пособие / М.А. Фаддеев: Лань, 2008. – 117 с.

4. Турицин Ю.А., Баранникова И.В., Пасечник И.А. Обзор современных АСУТП и АСДУ на промышленных предприятиях / Ю. Турицин // Современные технологии автоматизации. – 2012. – №. 1. – С. 66-73.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ДВИГАТЕЛЯ БУРИЛЬНЫХ МАШИН

П.Г. Юровский, студент
Научный руководитель: Пашков Е.Н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: epashkov1@sibmail.com

Прогрессивным направлением в развитии машин и механизмов ударного действия является создание силовых импульсных систем с гидравлическим приводом [2]. Исследования вращательного бурения, режущим инструментом с наложением на него высокоэнергетических упругих колебаний, показали возможность в 2-2,5 раза интенсифицировать процесс разрушения горных пород, в 1,5-2 раза повысить износостойкость режущего инструмента, на 2-3 категории крепости пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова расширить область эффективного применения вращательного бурения скважин при повышении производительности труда на 40-70 % [3].

Учитывая эти обстоятельства, разработан гидроимпульсный силовой механизм, который может быть использован вместо ударных узлов бурильных машин вращательно-ударного действия, либо в качестве источника высокоэнергетических направленных упругих колебаний для бурильных машин вращательного действия.

Импульсы давления жидкости формируются следующим образом.

При работе гидропульсатора, плунжер совершает возвратно-поступательное движение, при этом создаются импульсы давления жидкости, которые передаются в гидроцилиндр. Так как гидроцилиндр поджат упругой силой, происходит его раскачка вместе с инерционной массой m. При этом происходит периодическое преобразование кинетической энергии массы m в потенциальную энергию деформированной системы жидкости и рукава – повышению давления в системе и обратно. При режиме работы системы близкого к резонансному, возникают импульсы давления значительной величины, которые через поршень и буровую штангу передаются на обрабатываемую среду.

Для вывода уравнений, описывающих данную систему, полагаем, что между двумя следующими друг за другом силовыми импульсами, гидроцилиндр неподвижен. Вводим следующие обобщенные координаты: x1 – координата перемещения корпуса гидроцилиндра; x2 – координата перемещения плунжера (рис. 1).

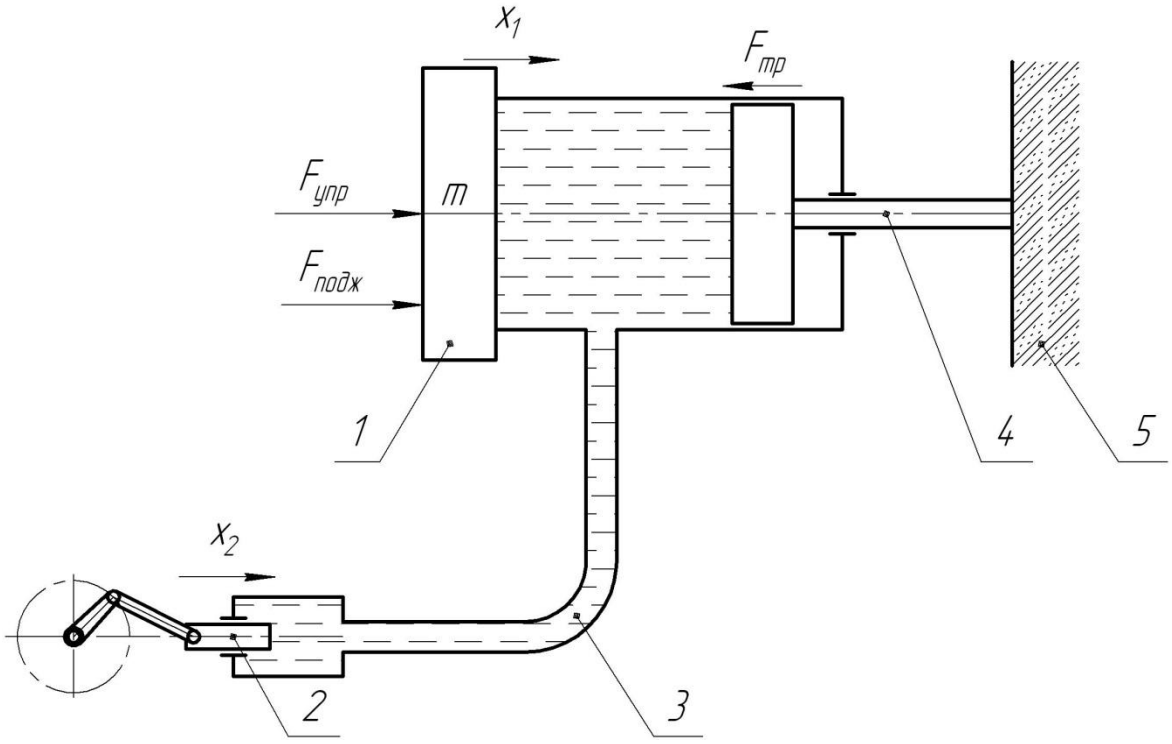


Рис. 1. Модель гидроимульсного механизма:1 – гидроцилиндр с активной массой; 2 – плунжер; 3 – рукав высокого давления (РВД); 4 – бурильный инструмент; 5 – разрушаемая порода

Учитывая принятые допущения, дифференциальное уравнение движения гидроцилиндра можно представить в виде:

$$m\frac{d^2x_1}{dt^2}+k_{\text{ТР}}\frac{dx_1}{dt}+c\,x_1=F_{\text{ПОДЖ}}-p\,S_{\text{ГЦ}},$$

где m – масса, прикрепленная к корпусу гидроцилиндра; $k_{\text{ТР}}$ – коэффициент трения между поршнем и гидроцилиндром; c – жесткость пружины; p – давление в гидроцилиндре; $F_{\text{ПОДЖ}}$ – постоянное усилие поджима; $S_{\text{ГЦ}}$ – площадь поршня гидроцилиндра.

Уравнение расходов:

$$S_{\text{ГЦ}}\frac{dx_1}{dt}+S_{\text{ПЛ}}\frac{dx_2}{dt}=C_V\frac{dp}{dt},$$

где $S_{\text{ПЛ}}$ – площадь плунжера, C_V – коэффициент упругости гидросистемы, определяющий расход на деформацию элементов гидросистемы и сжимаемость жидкости.

Основным деформируемым элементом, в данном случае, будет рукав высокого давления, деформациями гидроцилиндра и плунжера можно пренебречь. Коэффициент упругости для рукавов высокого давления рассчитывается по формуле:

$$C_V=\frac{V_{\text{РВД}}}{E_{\text{ПР}}},$$

где $V_{\text{РВД}}$ – объем рукавов высокого давления, $E_{\text{ПР}}$ – приведенный модуль упругости, учитывающий сжимаемость жидкости и деформацию рукавов.

Проинтегрировав выражение получили

$$S_{\text{ГЦ}}\,x_1+S_{\text{ПЛ}}\,x_2=C_V\,p+C_1,$$

где C1 – постоянная интегрирования.

Подставляем начальные условия $x_1=0,\ x_2=0,\ p=\frac{F_{\text{ПОДЖ}}}{S_{\text{ГЦ}}}$ находим постоянную интегрирования

$$C_1=-C_V\frac{F_{ПОДЖ}}{S_{ГЦ}}.$$

Из предыдущего выражения находим

$$x_1=\frac{C_V}{S_{\text{ГЦ}}}p-\frac{S_{\text{ПЛ}}}{S_{\text{ГЦ}}}x_2-\frac{C_V F_{\text{ПОДЖ}}}{S_{\text{ГЦ}}^2}.$$

Плунжер движется по закону $x_2=r\sin(\omega t)$, где r – радиус кривошипа привода плунжера. Подставляем закон движения плунжера в выражение и дважды дифференцируем

$$\frac{dx_1}{dt}=\frac{C_V}{S_{\text{ГЦ}}}\frac{dp}{dt}-\frac{S_{\text{ПЛ}}r\omega\cos(\omega t)}{S_{\text{ГЦ}}},$$

$$\frac{d^2x_1}{dt^2}=\frac{C_V}{S_{\text{ГЦ}}}\frac{d^2p}{dt^2}+\frac{S_{\text{ПЛ}}r\omega^2\sin(\omega t)}{S_{\text{ГЦ}}}.$$

Подставляем полученные выражения в первое уравнени и вводим новые обозначения, получаем

$$m_1\frac{d^2p}{dt^2}+\mu\frac{dp}{dt}+C_P\,p=d+A_B\sin(\omega t+\alpha),$$

где $A_B=\sqrt{a^2+b^2},\ \text{tg}(\alpha)=b/a.$

Делим на m_1 и получаем дифференциальное уравнение вынужденных колебаний с вязким сопротивлением [1]. Обозначим:

$2h=\mu/m_1,\ k^2=C_P/m_1,\ d_1=d/m_1,\ H_0=A_B/m_1.$

После подстановки получаем

$$\frac{d^2p}{dt^2}+2h\frac{dp}{dt}+k^2\,p=d_1+H_0\sin(\omega t+\alpha).$$

Решением уравнения будет:

$$p=\frac{d_1}{k^2}+A\sin(\omega t+\gamma),$$

$$A=\frac{H_0}{\sqrt{\left(k^2-\omega^2\right)^2+4h^2\omega^2}}.$$

Из полученного решения можно найти требуемую частоту приводного двигателя плунжера, при которой система находится в резонансе и амплитуда скачка давления максимальна:

$$\omega=k=\sqrt{\frac{c}{m}+\frac{S_{\text{ГЦ}}^2}{mC_V}}.$$

Список литературы

1. Зиякаев Г.Р., Саруев Л.А., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий, №6.3 (13), с. 61-65

2. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Исследование эффективности балансировки жидкостным автобалансирующими устройствами // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 1. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/107-7919

3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Влияние эллипсности и эксцентриситета резервуара на точность автоматической балансировки // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 2. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/108-8472

4. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Стационарное вращение неуравновешенного ротора, частично заполненного жидкостью при действии сил внешнего трения // Современные проблемы науки и образования – 2012. – № 6. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/106-7825

ТОЧЕНИЕ СТАЛИ ШХ15, ИНСТРУМЕНТОМ С ВЫСОКОКАЧЕСТВЕНЫМ ЛЕЗВИЕМ ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК6-ОМ

Реченко Д.С., Кисель А.Г., Титов Ю.В.
Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11
E-mail: rechenko-denis@mail.ru

Получение лезвия инструмента с радиусом округления в пределах одного микрометра открывает возможности применения его на металлорежущих станках способных позиционировать и перемещать инструмент с точностью до 1 мкм. Использование инструмента с радиусом округления лезвия 5 мкм и более становится препятствием к повышению точности обработки и реализации возможностей оборудования. Традиционные технологии затачивания позволяют получать более высокие параметры качества лезвия лишь с помощью трудоемких доводочных операций, при этом не всегда гарантируется отсутствие завалов и прижегов [1]. Наиболее перспективный путь к достижению поставленной цели – переход на высокоскоростное затачивание. Оно позволяет, используя традиционные схемы формообразования режущей части, получать качественно новый результат за счет изменения механизма износа зерен шлифовального круга, а именно образования острых граней алмазных зерен, вследствие повышения скорости резания свыше 120 м/с. Однако в литературе отсутствуют результаты исследований по высокоскоростному шлифованию твердых сплавов алмазными кругами и не определена граница высокоскоростного шлифования. Повышение скорости шлифования до нескольких сотен метров в секунду связано с решением сложных технических задач – разработки привода, проблем прочности шлифовального круга и балансировки привода. Представленная работа выполнена для определения целесообразности применения высококачественного лезвия.

Применение твердосплавных пластин марки ВК6-ОМ, с радиусом округления менее 1 мкм, на токарных операциях возможно при глубине резания не менее 2-3 мкм. Для подтверждения данного утверждения проводились исследования при наружном точении детали из стали ШХ15 (начальный диаметр D=23,00 мм и длина L=13,50 мм) на токарном станке с ЧПУ EMCO 450 Concept Turn, при этом толщина стенки детали была 1,5 мм (Рис. 1). Точение осуществлялось при скорости резания V=170 м/мин, подаче S=0,08 мм/об и глубине t=3 мкм.



Рис. 1. Деталь

По результатам испытаний получены результаты:

1. Осуществлялось точение с глубиной резания 3 мкм и осуществлялся контроль размера детали через каждые 10 проходов, при этом, контролировался получаемый размер и сравнивался с трубуемым номинальным. По полученным измерениям построина зависимость отклонений полученного размера от номинального и определялись фактический съем и номинальный (Рис. 2). В общей сложности было произведено 120 проходов или 1620 мм пути резания (длина прохода 13,5 мм).

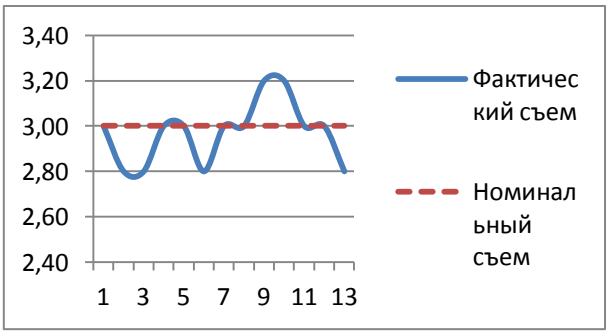
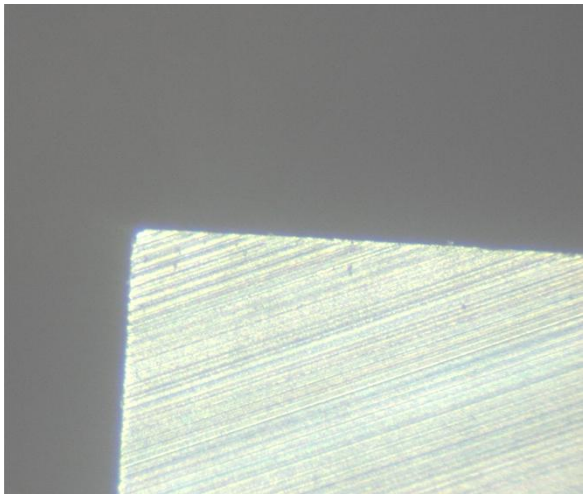
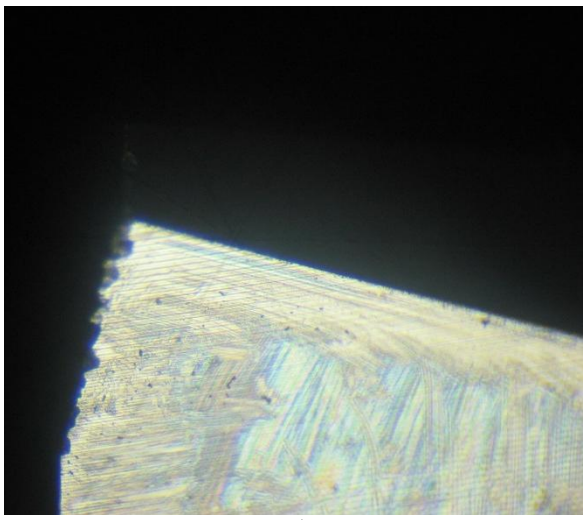


Рис. 2. Отклонения фактического съема от номинального

2. На рисунке 3 приведено лезвие резца до и после проведенной обработки. На лезвии инструмента наблюдается износ в виде микролунок, размер которых находится в диапазоне 1-3 мкм, при этом, характер износа равномерный по времени и расположению по задней и передней поверхностях, что свидетельствует о оптимальности выбранных режимов обработки.



а



б

Рис. 3. Лезвие резца:
а) до обработки; б) после обработки

3. На рисунке 4 приведена стружка, образованная в результате обработки. Вид и форма соответствует нормальному образованию стружки.

Длина микростружек составляет 5-10 мм, диаметр витков порядка 0,1 мм. На стружке не наблюдается прижегов и цветов побежалости, что свидетельствует о малых величинах контактных температур [2].

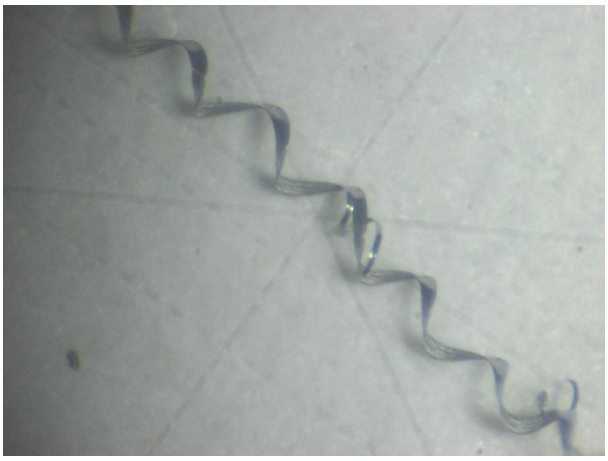


Рис. 4. Стружка, образованная в результате обработки

4. Качество обработанной поверхности детали определяющееся точностью размеров и величиной неровностей достаточно высокое [3]. Точность размеров составляет $\Delta=\pm0,25$ мкм (отклонение фактического от номинального размера). Величина неровностей (шероховатость) находится в пределах R_a=0,12-0,16 мкм.

Точность обработки и качество обработанной поверхности является закономерными и адекватными т.к. точность обработки и качество поверхности составляет 5-8% от глубины резания.

Список литературы

1. Монахов, Г. А. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / Г. А. Монахов, В. Ф. Жданович, Э. М. Радинский. – изд. 3-е – М.: Машиностроение, 1974. – 600 с.

2. Кушнер, В. С. Основы теории стружкообразования: В 2-х кн. Кн. 1. Механика резания: Учебное пособие. – Омск: ОмГТУ, 1996. – 130 с.

3. Фещенко, В. Н. Токарная обработка: Учебное пособие для сред. Проф.-техн. училищ / В. Н. Фещенко, Р. Х. Махмутов. – М.: Высш. шк., 1984. – 288 с.

EFFECT OF FINISHING PLASMA HARDENING ON STRUCTURAL-PHASE STATE AND MICROHARDNESS OF STEEL R6M5

Yeskermessov D.K., Rakhadilov B.K., Grechanick A.D.
Scientific supervisor: Skakov M.K., D.Sc., Professor
D. Serikbaev East-Kazakhstan State technical University,
070010, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Protozanova str, 69.
E-mail: didar.eskermesov@mail.ru

From the world practice it is known that, cutting tools, first of all, should be durable, strong, have high resistance to heat and corrosion. These properties of tool surfaces are characteristic equipment longevity [1].

In the industry is well-known technologies deposition of wear-resistant coatings for increasing of cutting tool durability – vacuum ion-plasma spraying, electric-spark alloying, the finishing plasma hardening (FPH); technology of surface modification – laser and plasma tempering [2]. The finishing plasma hardening of tools and technological equipment, ensuring the application of thin-film (up to 3 μm) coverage in non-aerated space at atmospheric pressure, belong to new industrial technologies [3]. The process of materials hardening occurs at heating in integral temperature 100^0C without changing the initial roughness of the working surfaces.

Decomposition of vapor of liquid technological products (introduced in the arc plasma generator, with follow passage of chemical reactions and the formation of the coating on the product) is the main principle of the application of thin-film coating, taken for a basis of this technology. As initial substances, for obtaining thin-film coating, used metallo-organic and organic compounds in liquid state. This process is meant for improving the durability of working surfaces of products, manufactured by traditional methods, is the finishing operation, so it is called - the finishing plasma hardening.

In connection with the above, the purpose of the present work is study of the effect of finishing plasma hardening, thin-film coating deposition of silicon carbide (SiC), the structural-phase state, and microhardness of the surface of high-speed steel R6M5.

Materials and methods of research

The R6M5 high-speed tungstenmolibdenic steel (State standard 19265-73: 0,80 - 0,88 C; A 3.8 - 4.4 Cr; 5,5-6,5 W; 1.7-2,1 V; 5,0-5,5 Mo) was chosen as a research material. The choice of material research is stipulated by the fact that the R6M5 steel is the most common in the metal-working, typical high-speed steel with moderate thermal stability. Harvesting of samples for research in the form of parallelepipeds with the size 10x30x30 mm^3 were cut from bars R6M5 steel in the state of delivery. Before the FPH thin-film coating deposition, samples were treating by normal heat-treatment: quenching at tempereture 1230^0C in oil, and a subsequent three-fold tempering at 560^0C (with duration of each tempering 1 hour, the cooling in air) [4]. Further, samples from all sides grinding to a depth of 1 mm. Before FPH samples were carefully un-oiled. Surface morphology were studied by optical microscope «ALTAMI-MET-1M». Microhardness (Hμ) of samples surface layers before and after treatment were measured by pressing a diamond indenter on the PMT-3M with a load of 150 g and under load 10 in accordance with State Standard 9450-76 in the research institute "Nanotechnology and New Materials" at D.Serikbayev EKSTU. Study of phase composition and crystalline lattice of the samples were carried out experimental methods of X-ray analysis on the diffractometer X'Pert Pro in Cuk_α-radiation. Elemental analysis was carried out on a scanning electron microscope JSM-6390LV with the prefix energy dispersive microanalysis in the laboratory of engineering profile «ИРГЕТАС» at D. Serikbayev EKSTU.

Experiments results and discussion

Analysis of the images obtained by the method of scanning electron microscopy allows to conclude that a thin-film coating consists of spherical particles with the size of 1-5 mm on the basis of silicon. Elemental analysis has shown that these spherical particles content of silicon is about 12%, and in other places 4-7% (Fig. 1).

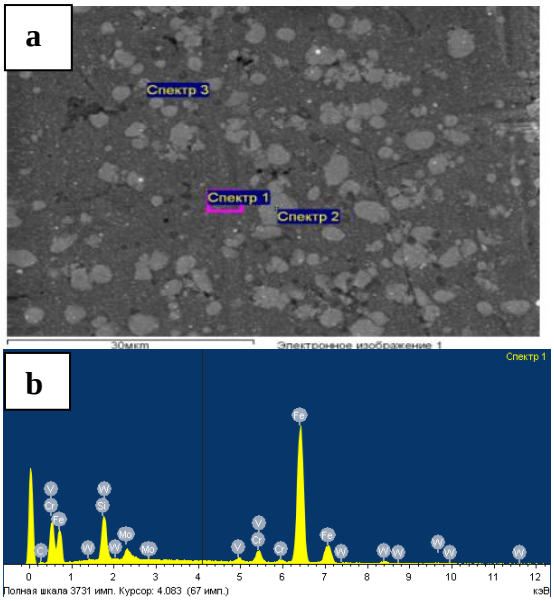


Figure 1 - SEM image (a) and elemental analysis (b) the coating of steel

Apparently this is due with the small thickness of coating, as the area of energy dispersive microanalysis is from 5 to 10 μm depending on material. Figure 1 identifies the area selected for the SEM-analysis.

In Figure 2 shows the X-ray diffraction pattern of the samples R6M5 before and after the FPH thin-film coating deposition. The FPH of R6M5 steel leads to a change in the initial phase composition of the surface layer.

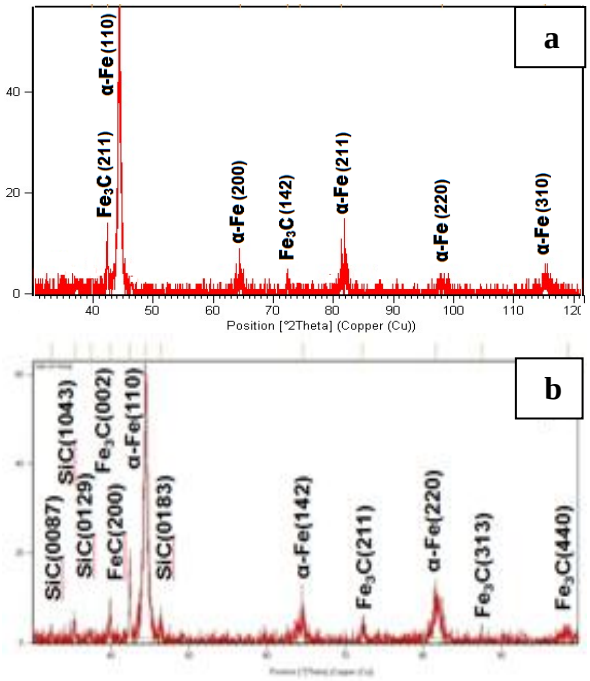


Figure 2 - X-ray diffractogram of subsurface layer of steel R6M5, initial (a) and after FPH (b)

Data of X-ray diffractogram indicate the presence in the modified layer of the SiC, α-Fe, Fe_3C phases.

Microhardness of the initial sample R6M5 (without covering) was 7,37 HPa. After the FPC thin-film coating deposition microhardness of R6M5 steel increased to 12.4 HPa (Fig. 3). From the literature we know that when silicon is present in quantities of more than 1% in the composition, it has special influence on the properties of steel: content of Si increases the strength of steel, with its viscosity is maintained. From this it follows that the small number of silicon enough for us to obtain good results in further studies [4]. Silicon carbide (SiC), by the structure and properties is diamond-like, which explains the high hardness of thin-film coating. Silicon carbide very stable substance and in an inert atmosphere decomposes only at very high temperatures.

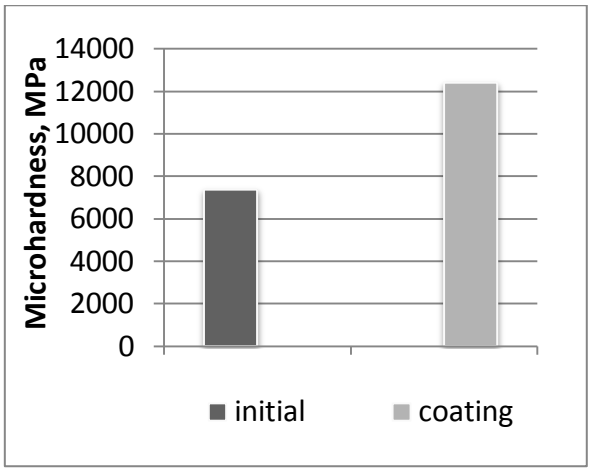


Figure 3 - Diagram of the microhardness of R6M5 steel, before (initial) and after coating

Proceeding from this, it can be argued that the FPH of cutting tool coating deposition of SiC is a promising highly effective method of hardening.

Thus, the accumulated the experience on practical application of the FPH technology and new researches in this sphere creates the preconditions to possibility of application of the FPH for surface hardening of tools from tungstenmolibdenic steels, providing high operational properties.

This work is executed at financial support of the Committee of science of Republic of Kazakhstan for 2012-2014 years, on the program "Grant financing of scientific researches".

Reference

1. Goldshtein M.Y., Grachev C.V., Veksler Yu.G., Specialnie staly. Uchebnik dlya vuzov. M.: Metallurgya, 1985 – 408 str.

2. Sosnin N.A., Ermakov C.A., Topoliansky P.A. Plazmennie tehnologiy: svarka, nanesenie pokritiy, uprochnenie. Izd. Politehnicheskogo Universiteta, S-Pb. 2008 – 405 str.

3. Topolyansky P.A., Sosnin N.A., Ermakov C.A. Novaya tehnologya – finishnoe plazmennoe uprochnenie // Strategya prodlenya i vosstanovlenya resursa energeticheskogo obarudovanya. Otechestvennie i zarubezhnie svarochnie i drugye tehnologiy. Izd. S-Pb. 1997. Str.175-181.

4. Geller Yu.A. Instrumentalnie staly. M.: Metallurgya, 1983 – 527 str.

5. Grigorevich V.K. Tverdost i microtverdost metallov. M.: Nauka, 1976. – 230 str.

MODIFICATION OF STAINLESS STEELS SURFACE LAYERS BY NITRIDING, CARBONITRIDING AND CEMENTATION WITH ELECTROLYTE PLASMA

Y.Zamanbekuly[1], Sh.Kurbanbekov, Y.Tabieva
Scientific director: Skakov M.K., D.Sc., Professor
D.Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, Protozanova, 69 str.
E-mail:[1] hasan_090@inbox.ru

Introduction

Today industry pays great attention to surface hardening technology development. It is known that surface condition significantly determines the strength and performance characteristics of machine parts. It is the product surface that is subjected to increased wear and tear, contact loads, to the greatest extent has been destroyed due to corrosion. Surface strengthening technology is based on metal surface modifying impact by energy or physicochemical methods, which radically change its structure and properties.

Methods of high-speed heating, including cathode heating in electrolytes, has a number of advantages from the point of view of its use for thermal or chemical-thermal process [1-2]. Chemical-thermal hardening, particularly carbonitriding, nitriding and cementation allow to increase both mechanical (hardness, strength, endurance) and corrosion-resistant properties.

With simultaneous diffusion of carbon and nitrogen in the austenite the diffusion of carbon is accelerated, besides nitrogen increases the content of residual austenite in the structure of hardened modified layer and the optimal modes cementation improves microhardness and strength with the formation of resistant coatings by doping and modification. Residual austenite delays the fatigue violations occurrence and increases the fatigue strength of nitrocarbonized parts. The presence of nitrogen in the solid solution increases the stability of the supercooled austenite. For combine short-term nitriding with hardening, electrolytic heating is especially useful due to the possibility of implementation in the same solution, on the same equipment by simply deenergization.

The purpose of the present work is to study the joint saturation of austenitic steel 12Cr18Ni10T with nitrogen and carbon in aqueous solutions contained carbamide and glycerin. Determination of electrolytic-plasma carbonitriding, nitriding. cementation modes, the phase composition of the modified layer and microhardness.

Material and Method of Research

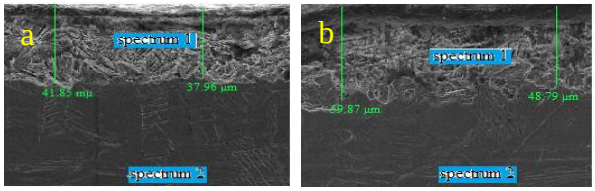
we chose steel of austenitic grade 12Cr18Ni10Ti as the object of research, the chemical composition of austenitic steel the next: C(0.12), Cr(17.00), Ni(10.66), Ti(0.50), Si(0.34), Mn(1.67), P(0.032),S(0.013) [3].

The samples of 12Cr18Ni10Ti steel rolled sheets by size 30x30x5 mm^3 were made for the research. For carbonitriding aqueous solution containing carbamide 15%NH_2CONH_2, 10 % glycerol ($C_3H_8O_3$) and 10 % sodium carbonate (Na_2CO_3), for nitriding: urea containing 20%NH_2CONH_2, and 10 % sodium carbonate (Na_2CO_3 and for cementation containing 10 % glycerol ($C_3H_8O_3$) and 15 % sodium carbonate (Na_2CO_3) were used as the electrolyte [4,5]. Heating temperature was measured with a digital measuring instruments ATE-9380.

The research of the modified layer elements distribution on the depth and surface structure morphology were studied in the scanning electron microscope JSM-6390LV, equipped with the prefix power dispatch analysis and optical microscope Altami MET 1M. Measures of samples microhardness (Hμ) was carried out by Vickers method on micro hardness test under loads on the indenter - 50 g.

Research Results and their Discussion

Analysis of the images obtained by the method of scanning electron microscopy allows to conclude that as a result of electrolyte-plasma processing, namely in the cathode nitriding, carbonitriding and cementation, there is a change of steel surface morphology.

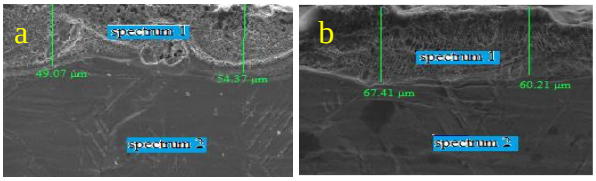


	C	N	O	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni
spect 1a	5.29	4.01	7.92	0.45	0.32	9.42	1.28	69.85	0.83
spect 1b	6.38	3.42	7.02	0.29		8.51	0.76	69.76	1.27
spect 2	2.53		0.28	0.62	0.46	17.38	1.63	71.65	5.46

Fig.1 SEM analysis of steel 12Cr18Ni10Ti when increasing a) image after nitriding processing at a temperature of 750 ^{0}C during 7 minutes,
b) at a temperature of 800^{0}C

It is found out that in the process of nitriding at a temperature of 750^0-800^{0}C (Fig. 1) within 7 min form a surface modified layer ranging from 43 to 60 μm. Nitrated modified layer has a variable concentration of nitrogen, changing in depth, decreasing from the surface to the core of the sample, which contributes to increased hardness and surface strength, as shown in table (Fig. 1).

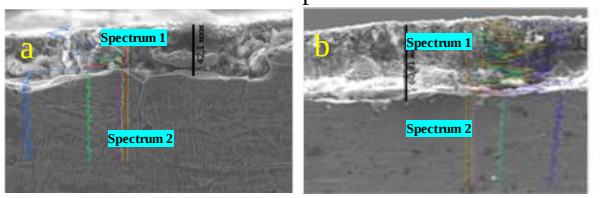
Surface modified layer is formed ranging from 55 to 68 μm after carbonitriding at the temperature of 850^0-900^{0}C within 7 minutes in electrolyte-plasma cathode mode. Carbonitriding modified layer has a variable concentration of carbon and nitrogen in depth, decreasing from the surface to the core of the sample, which contributes to increased hardness and strength of the surface as shown in the table (Fig. 2). To determine the chemical in the mode of energy dispersive analysis composition microanalysis was held.



spect	C	N	O	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni
pect1a	9.35	2.68	7.14	0.18	0.46	8.92	0.81	69.56	0.89
spect 1b	10.35	1.74	6.86	0.14	0.31	8.36	0.97	70.48	0.93
spect 2	2.32		0.24	0.65	0.68	17.15	1.32	72.96	4.69

Fig.2 SEM analysis of steel 12Cr18Ni10Ti when increasing a) image after processing by carbonitriding at a temperature of 850^{0}C during 7 minutes, b) at a temperature of 900^{0}C.

After cementation, at the temperature of 850^0-950^{0}C within 7 minutes in electrolyte-plasma cathode mode, surface modified layer is formed ranging from 55 to 61 µm [5]. Cemented modified layer has a variable concentration of carbon, changing in depth, decreasing from the surface to the core of the sample, which contributes to increased hardness and surface strength, as shown in table (Fig. 3). Microanalysis in the mode of energy dispersive analysis was held to determine the chemical composition.



	C	Cr	Ni	Ti	Mn	S	Fe
spect 1a	0.158	16.06	9.7406	0.4926	1.208	0.01207	71.856
spect 1b	0.219	16.813	9.78	0.456	1.158	0.0113	71.3154
spect 2	0.3404	16.7051	9.4083	0.4072	1.072	0.011	71.9492

Fig.3 SEM analysis of steel 12Cr18Ni10Ti when increasing a) image after processing by cementation at a temperature of 850^{0}C during 7 minutes, b) at a temperature of 950^{0}C.

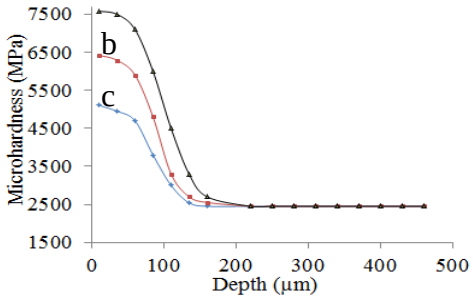


Fig.4. The distribution of surface layer microhardness to the core samples of steel 12Cr18Ni10Ti (a) after the electrolyte-plasma nitriding during 7 minutes at the temperature of 750^0, b) after the electrolyte-plasma carbonitriding during 7 minutes at the tem perature of 850^0, c) after the electrolyte-plasma cementation during 7 minutes at the tem perature of 950^0,

The hardness distribution along the thickness of the samples was studied using micro hardness testing when the load on the indenter 0,5N (50g). It is known that the original samples microhardness was in the interval of 170-200 HV. After nitriding, within a temperature range of 700^0-800^{0}C within 7 minutes (Fig. 4a), microhardness of samples increased to 758HV(7580 MPa). After carbonitriding within the temperature of 800^0-900^{0}C during 7 minutes (Fig.4b) microhardness of samples increased to 642HV (6420 MPa) and after cementation within the temperature of 850^0-950^{0}C during 7 minutes (Fig.4c) microhardness of samples increased to 485HV(4850 MPa),

Summary

1. It was found out that while the electrolyte-plasma processing of steel 12Cr18Ni10Ti by nitriding within the temperature range of 750^0-800^{0}C for 7 minutes a surface modified layer is formed with the depth from 43 to 60 microns, carbonitriding at temperatures of 850^0-900^{0}C for 7 minutes from 55 to 68 microns. After electrolyte-plasma nitriding and carbonitriding modified steel surface layer is enriched with nitrogen and carbon, cementation at the temperature of 850^0-950^{0}C within 7 minutes in electrolyte-plasma cathode mode, surface modified layer is formed ranging from 55 to 61 µm.

2. It is determined, that in comparison with the initial state maximum increase in microhardness of a surface layer in 3.2-3.8 is found during high-speed nitriding and carbonitriding steel 12Cr18Ni10Ti with the subsequent hardening, as compared to the initial state.

References

[1] I.V. Suminov, P.N. Belkin i drugie: Mir materialov i texnologiy. Plazmenno-electroliticheskoe modificirovanie poverxnosti metallov i splavov, T.1. M.: Technosphere, 2011, pp. 463. (in Russian).

[2] M. Skakov, S. Kurbanbekov, M. Scheffler: Hardening technology and wear durability increase for steel 12Cr18Ni10Ti, Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012, vol. II, pp 207-210.

[3] M. Skakov, S. Kurbanbekov, M. Scheffler: Influence of regimes electrolytic plasma cementation on the mechanical properties of steel 12Cr18Ni10Ti, Key Engineering Materials vol. 531-532, 2013, pp. 173-177. http://www.scientific.net/KEM.531-532.173.

[4] M. Skakov, S. Kurbanbekov, M. Scheffler, A. Naltaev: Changes of mechanical properties of steel 12Cr18Ni10Ti after electrolytic-plasma cementation, Advanced Materials Research, vol. 601, 2013, pp. 59-63. http://www.scientific.net/AMR.601.59

[5] S.A.Kusmanov, I.G.Dyakov, P.N.Belkin: Increase of efficiency of electrochemical-thermal cementation by the modification of the composition of the electrolyte, Tempered materials and coatings, Works of the 8-th all-Russia with international particip.ation of the scientific-technical conference. M.: MATI. 2009, pp. 119–122. (in Russian)

CHANGES OF MICROSTRUCTURE AND MICROHARDNESS STAINLESS STEELS AFTER NITRIDING AND CARBONITRIDING

Tabiyeva Y.Y., Kurbanbekov Sh.R., Zamanbekuly Y.
Scientific director professor M.Skakov
D.Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Kazakhstan,Ust-Kamenogorsk,Protazanova Str.69
E-mail: erkezhantabieva@mail.ru

The analysis of modern condition problem shows that effective way of steels and alloys surface strengthening, with prospects for further development, is chemical-thermal processing (CTP) [1]. The diversity of CTP types and variants gives the possibility to select the optimum method of strengthening on the basis of economic and operational tasks [2].

Methods of high-speed heating, cathode heating in electrolytes included, has a number of advantages from the point of view of its use for thermal or chemical-thermal process [3,4]. Chemical-thermal hardening, in particular carbonitriding and nitriding allow to increase as mechanical (hardness, strength, endurance) and corrosion-resistant properties.

Carbonitriding constantly expanding use is due to a number of this hardening method advantages compared to cementation: the lower temperature of saturation process, more high strength properties of parts [5,6]. At the same time, the advantages of electrochemical-thermal nitriding are significant in few minutes short-term treatment allowing to get low nitrogenous layers by thickness up to 30 μm. [7].

With simultaneous diffusion of carbon and nitrogen in the austenite the diffusion of carbon is accelerated, despite this, nitrogen increases the content of residual austenite in the structure of hardened modified layer. Residual austenite delays the fatigue violations occurrence and increases the fatigue strength of nitrocarbonized parts. The presence of nitrogen in the solid solution increases the stability of the supercooled austenite. To combine short-term nitriding with hardening, electrolytic heating is especially useful because of the hardening possibility in the same solution, on the same equipment, simply by deenergization.

The purpose of the present work is to study the joint saturation of austenitic steel 12Cr18Ni10Ti by nitrogen and carbon in aqueous solutions containing carbamide and glycerin and determination of electrolytic-plasma carbonitriding and nitriding modes, the phase composition, the modified layer and microhardness.

The research of equipped with the prefix power dispatch analysis and optical microscope Altami MET 1M. Measuring samples microhardness (Hμ) was carried out by Vickers method on micro hardness test under loads on the indenter - 50 g.

Research Results and their Discussion

Electrolytic-plasma nitriding and carbonitriding consist in the processing of austenitic steels in electrolyte, where at a certain voltage threshold and electric current amperage combined-cycle power shell is formed. Through significant heat release directly at the metal surface, nitrogen and carbon ions saturation is very quick forming chemical compounds. When power failure nitrohardening occured. After processing, we can see that on the sample surface nitrogen martensite was formed, that causes the significant increase in microhardness. Figure 1 shows a microstructure fragment of steel 12Cr18Ni10Ti surface after surface etching by 10% oxalic acid solution within 30-90 sec. The results of surface structure study testify to the fact that, in the initial state steel has austenitic structure (Fig. 1, a), after nitriding processing (Fig. 1, b) and carbonitriding (Fig. 1, c) austenitic martensitic structure is found.

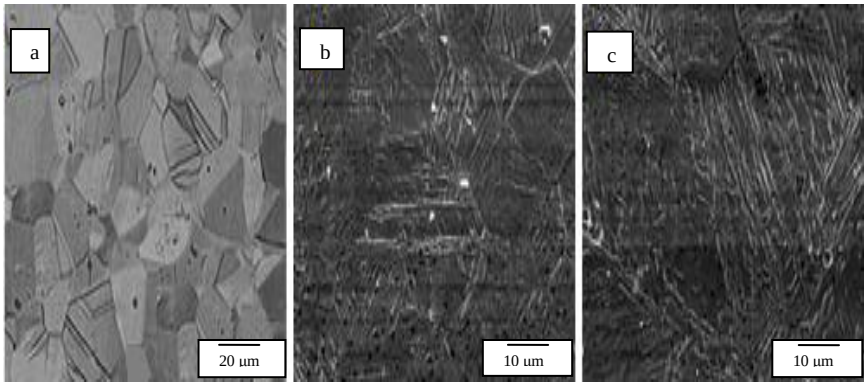


Fig.1. The microstructure of steel 12Cr18Ni10Ti surface
(a) the initial state, and b) after nitriding processing at a temperature of 750 ^{0}C during 7 minutes, after carbonitriding processing at a temperature of 850 ^{0}C during 7 minutes.

The hardness distribution along the thickness of the samples was studied using micro hardness testing when the load on the indenter 0,5N (50g). It is known that the original samples microhardness was in the interval of 170-200 HV. After nitriding, within a temperature range of 700^0-800^0C within 7 minutes (Fig. 2a), microhardness of samples increased to 758HV(7580 MPa). After carbonitriding within the temperature of 800^0-900^0C during Hμ 7 minutes (Fig.2b) microhardness of samples increased to 642HV(6420 MPa), i.e. 3.5-4 times.

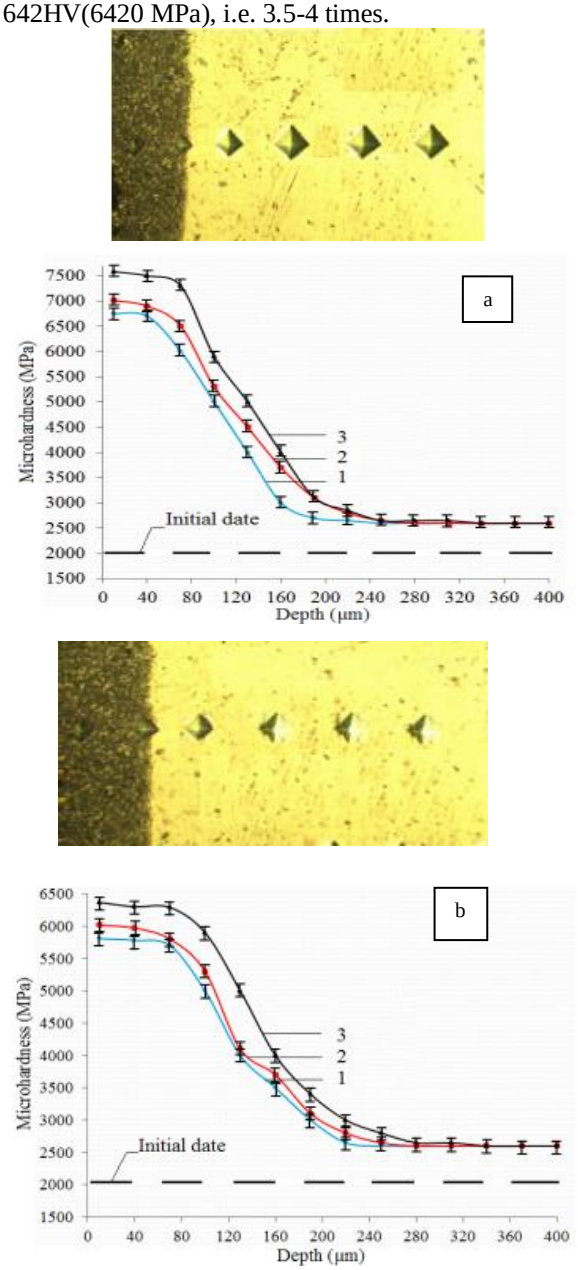


Fig.2. The distribution of surface layer microhardness to the core samples of steel 12Cr18Ni10Ti (a) after the electrolyte-plasma nitriding during 7 minutes at the temperature of 700^0(1), 800^0(2) and 750 ^{0}C(3), and b) after the electrolyte-plasma carbonitriding during 7 minutes at the temperature of 800^0(1), 900^0(2) and 850 ^{0}C(3)

Summary

1. It is set, that during high-speed nitriding and carbonitriding steel 12Cr18Ni10Ti with the subsequent hardening, maximum increase in microhardness of a surface layer is found 3.5-4

Acknowledgements

This work was financially supported by the JSC «NADT» of the Republic of Kazakhstan in 2012-2014.

References

[1] I.V. Suminov, P.N. Belkin i drugie: Mir materialov i texnologiy. Plazmenno-electroliticheskoe modificirovanie poverxnosti metallov i splavov, T.1. M.: Technosphere, 2011, pp. 463. (Russian).

[2] M. Skakov, S. Kurbanbekov, M. Scheffler: Hardening technology and wear durability increase for steel 12Cr18Ni10Ti, Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012, vol. II, pp 207-210.

[3] R.O. Hussein, X. Nie, D.O. Northwood, A. Yerokhin, A. Matthews: Spectroscopic study of electrolytic plasma and discharging behaviour during the Plasma Electrolytic Oxidation process– J. Phys D: Appl. Pys., 2010, pp. 13.

[4] M. Skakov, S. Kurbanbekov, M. Scheffler: Influence of regimes electrolytic plasma cementation on the mechanical properties of steel 12Cr18Ni10Ti, Key Engineering Materials vol. 531-532, 2013, pp. 173-177. http://www.scientific.net/KEM.531-532.173.

[5] M. Skakov, S. Kurbanbekov, M. Scheffler, A. Naltaev: Changes of mechanical properties of steel 12Cr18Ni10Ti after electrolytic-plasma cementation, Advanced Materials Research, vol. 601, 2013, pp. 59-63. http://www.scientific.net/AMR.601.59

[6] S.A.Kusmanov, I.G.Dyakov, P.N.Belkin: Increase of efficiency of electrochemical-thermal cementation by the modification of the composition of the electrolyte, Tempered materials and coatings, Works of the 8-th all-Russia with international particip.ation of the scientific-technical conference. M.: MATI. 2009, pp. 119–122. (in Russian).

[7] S.Yu.Shadrin: Electrochemical-thermal case hardening steel cylindrical samples in bubbling cell, Collection of works of the 4-th all-Russian international scientific-technical conference «Tempered materials and coatings». M.: «MATI Russian State Technical University, 2005, pp. 127–131. (in Russian).

APPLICATION OF ELECTROLYTIC-PLASMA PROSSECCING FOR STEEL 20'S PHYSICAL CHARACTERISTICS INCREASING

Podkorytova Y.A.
Scientific director professorM.Skakov
D.Serikbayev East Kazakhstan State Technical University,
Kazakhstan,Ust-Kamenogorsk, Ordzhonikidze st.4, 115
E-mail: podE_1989@mail.ru

Steel is main constructive material of machine manufacturing, transport, building industry and other brunches of industry.

Steel with a high level of elastic characteristics find widespread application in machine- tool engineering. In machine manufacturing there are used for producing of bow springs, shock-dampers, power springs of various application, in tool engineering – for a numerous elastic elements: dialysis parchment springs, relay planes, sylph ones, guy lines, lugs [1].

Springs, bow spring of machines and elastic elements of tools characterized by multifold forms, size, and different operating conditions. Peculiarity of their work is, that in high statistic and cyclic, duff load there isn't allows permanent set. In connection with this all spring- actuated alloys besides mechanical characteristics, typical for all constructive materials (durability, mold ability, ductility, staying power) and must possess high-resistance and small plastic strain.

Steel is divided by constructional and instrumental. High speed steel refers to the kind of instrumental steel. Steel 20 refers to constructive one.

Steel 20 is constructional, carbonic, qualitative by the type processing, are delivered as wrought, Sized, hot-drawn, bright-polished carbon tool-steel (spherical, functional finish). Upon the demand of mechanical characteristics point out 5 categories:

1) Steel of any kind of processing without impact-viscosity and distention testing.

2) Samples from normalized steel of all types of 25mm processing pass the test on impact strength and distention.

Tests on distention conducts on examples from normalized steel, size 20-100mm.

3) Samples for tension testing and impact strength are made of heat-treated billet of not more than 100 mm. Requirements of the third and fourth categories show to calibrate, hot-rolled and wrought stainless steel.

4) Mechanical tests in tension made for samples of calibrated heat treated (high loosen or annealed) or work-hardened steels [2].

Structure of steel 20 is a mixture of ferrite and pearlite. Heat treatment of structure steel 20 can receive the rack (batch) marten site. In such structural changes increase the strength and ductility decreases. After thermal hardening of steel 20 rolling can be used for the manufacture of metal products (strength class 8.8).

Temperature started forging steel 20 is 1280 ° C, the end of - 750 ° C, cooling forgings - air. Steel 20 non susceptibility to flaking and not inclined to selling ability. Weld ability of steel 20 is not limited to, excluding parts subject to chemical and thermal processing. Recommended welding methods DT, CBS, RDS, and a gas-shielded flux [3].

Steel is used for the production of 20 lightly loaded parts (fingers, axes, copiers, stops, gear), carburized components for long and very long service life (operation at temperatures above 350 ° C), the fine details of working on attrition. Steel 20 without heat treatment or after normalization is used for the production of crane hook, bearings and other components for use under pressure in the temperature range from - 40 to 450 ° C. Steel 20 after thermo chemical treatment is the production of parts that require high surface hardness (worms, worm pairs, gears).

Widely used for the production of steel 20 pipe fittings, pipes for steam with critical and supercritical steam pressure seamless pipe, welded sections of rectangular and square, etc [4,5].

A review of scientific and patent literature on the impact of different types of chemical and thermal processing, including electrolytic-plasma, the quality of machine parts. Based on the analysis of the results, it was concluded that the most effective method of chemical and thermal hardening is - electron-plasma treatment [6].

Electrolytic-plasma treatment of the surface of 20 steel is planned using the apparatus shown in Figure 1 [6].

The aim of this work is to create a technology of electrolytic-plasma hardening in processes of production parts. The proposed technology can significantly increase the strength, hardness and wear resistance of parts. The main advantages are:

- No deformation of the metal;
- Electrolytic-plasma treatment is carried out locally, which prevents the formation of cracks, warping metal surface decarburization;
- The possibility of hardening of complex profile, internal surfaces and cavities;
- No need for special surface preparation before coating;
- Electrolytic-plasma treatment is the energy-saving technology with low labor input and has a high environmental safety.

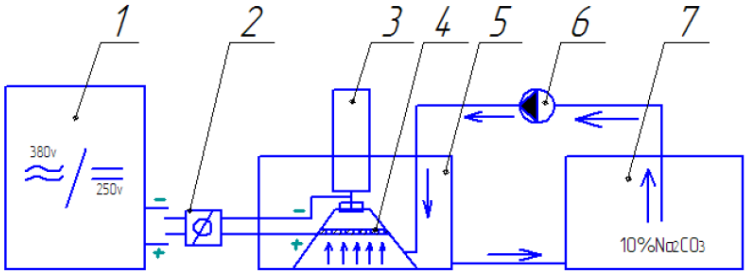


Fig. 1. Apparatus for electrolytic-plasma treatment:
1 - power supply, 2 - remote control, 3 - clamping mechanism and set a preset,
4 - nozzle for electrolytic-plasma treatment, 5 - Working bath: 6 - pump,
7 - a reservoir for the electrolyte.

Thus, on the basis of the analysis found that the most effective way to surface hardening of an electrolytic-plasma treatment. The advantages of this method are: low energy consumption at high speeds avtozakalki, the possibility of local surface treatment parts of complex configuration, working in conditions of intense stress, ease the process.

References

[1] Belkin P.N. Electrochemical and thermal processing of metals and alloys. M Press, 2005. - 336.

[2] M. Skakov, S. Kurbanbekov, M. Scheffler: Hardening technology and wear durability increase for steel 12Cr18Ni10Ti, Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012, vol. II, pp 207-210.

[3] R.O. Hussein, X. Nie, D.O. Northwood, A. Yerokhin, A. Matthews: Spectroscopic study of electrolytic plasma and discharging behaviour during the Plasma Electrolytic Oxidation process– J. Phys D: Appl. Pys., 2010, pp. 13.

[4] M. Skakov, S. Kurbanbekov, M. Scheffler: Influence of regimes electrolytic plasma cementation on the mechanical properties of steel 12Cr18Ni10Ti, Key Engineering Materials vol. 531-532, 2013, pp. 173-177. http://www.scientific.net/KEM.531-532.173.

[5] M. Skakov, S. Kurbanbekov, M. Scheffler, A.Naltaev: Changes of mechanical properties of steel 12Cr18Ni10Ti after electrolytic-plasma cementation, Advanced Materials Research, vol. 601, 2013, pp. 59-63. http://www.scientific.net/AMR.601.59

[6] M. Skakov, S. Parunin, A.Verigin, A. Fursov, E. Sapataev, sh. Kurmanbekov: Apparatus for electrolytic-plasma treatment, Patent № 11 of 15.11.2012

СЕКЦИЯ 4

Электромеханика

SECTION 4

Electromechanics

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРНЫХ РЕЖИМОВ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИ

Авилов И.Д.
Научные руководители: Каверин В.В., к.т.н., доцент
Карагандинский государственный технический университет,
100027, Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56
Филипас А.А., к.т.н., доцент
Северский технологический институт НИЯУ МИФИ,
636036, Томская область, г. Северск, пр.Коммунистический, 65
E-mail: vaness16@mail.ru

Регулируемый асинхронный электропривод нашел достаточно широкое применение в механизмах подачи, очистных комбайнов используемых для подземной добычи. Во многих случаях месторождения включают себя пласты полезных ископаемых с существенно большими углами наклона как по падению так и по простиранию. Что предъявляет жеские требования к регулированию скорости подачи, как в двигательных так и в генераторных режимах. Энергия маховых масс и кинетическая энергия комбайна расходуется на разрушение рабочих поверхностей тормозных устройств. Такой метод торможения достаточно надежен, но требует дополнительный контроль за состоянием рабочих поверхностей механических тормозных устройств.

С целью повышения надёжности работы выемочных машин целесообразно использовать для регулирования скорости при движении под уклон генераторные режимы работы регулируемого электропривода.

Двигательные режимы электропривода исследованы достаточно хорошо, генераторные режимы работы регулируемых элекроприводов изучены в меньшей степени.

В настоящее время исследование характеристик регулируемого электропривода выполняется с использованием следующих методов:

1. аналитическими;
2. моделированием с применением прикладных программ;
3. на физических моделях;
4. на заводских стендах в искусственных условиях;
5. на натурных образцах в промышленных условиях.

Применение того или иного метода в конкретных условиях определяется экономической рентабельностью, точностью и достоверностью результатов.

Одним из важнейших критериев качества результатов моделирования является точность. Она зависит от многих факторов, среди которых следует выделить точность собственно математической модели объекта и точность вычислителя;

В практике разработки электропривода, аналитические методы предполагают значительное упрощение модели на этапе синтеза с введением существенных допущений, влияние которых должно быть соответствующим образом исследовано на этапе анализа системы.

Одним из самых достоверных, а так же недорогих методов получения данных является физическое моделирование. Данный метод позволяет избежать недостатков метода математического моделирования.

На кафедре Автоматизации производственных процессов Карагандинского Государственного технического Университета разработан лабораторный стенд с применением оборудования фирмы Siemens, для проведения исследований характеристик работы регулируемого асинхронного электропривода в генераторных режимах. Структурная схема стенда представлена на рис. 1.

Структурная схема стенда состоит из двигатель-генераторной группы с системами управления и регистрации измеряемых параметров.

Двигательно-генераторная группа (блок а, рис. 1), является функционально законченной конструкцией собранной на металлической раме которая состоит из:

1. двигатель постоянного тока марки 2ПН-112-УХЛ4;
2. двигатель марки АО32-4;
3. тахогенератор марки ТМГ-30 УЗ;
4. и энкодер марки ЛИР-158Б.

Для реализации возможности формирования различных физических моделей на базе лабораторного стенда на нем имеются несколько различных систем управления. На стенде есть возможность проводить эксперименты в любой части рабочей области приводов. Система управления стендом состоит из:

1. преобразователь частоты с системой управления марки FR-A540-1 5K-EC;
2. управляемый выпрямитель марки SIMOREG 6RA7013-6DV62-0;
3. контроллер ALPHA 2 AL2-2DA;
4. широтно-импульсный преобразователь машины постоянного тока;
5. блок регистрации хранения и обработки данных.

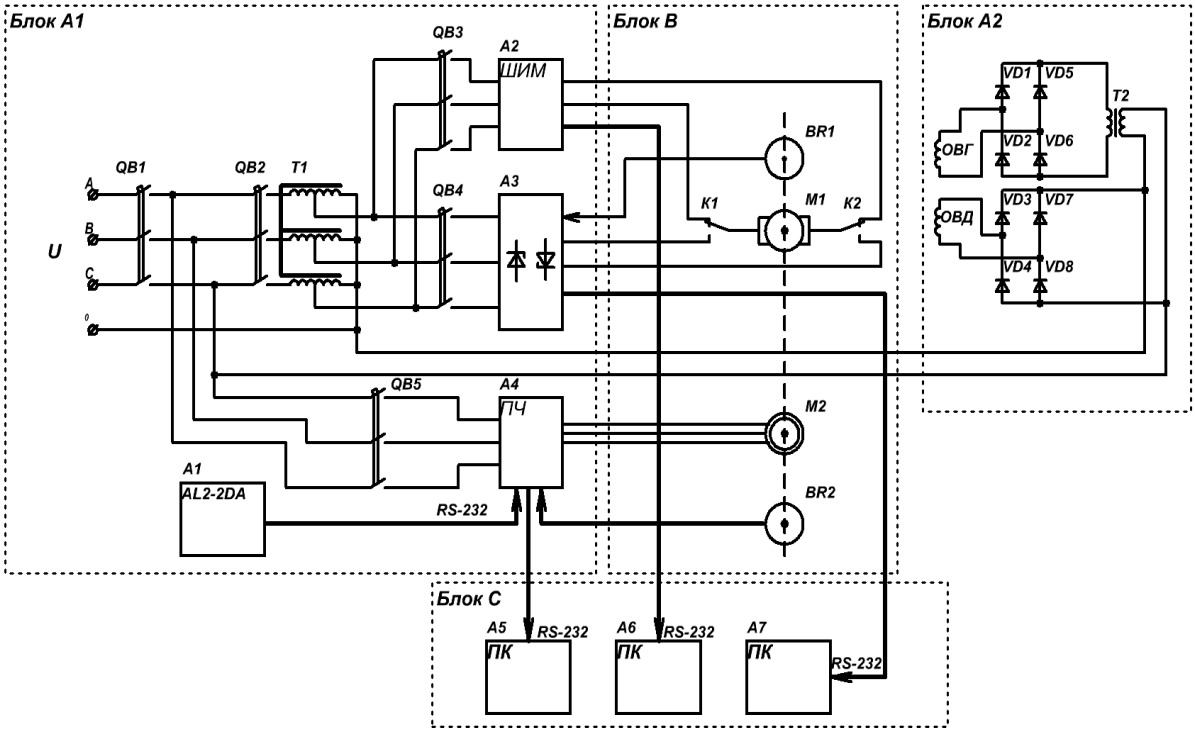


Рисунок 1 – Структурная схема стенда

Необходимость исследования режимов работы электропривода обусловлена жесткими требованиями в широком ряде технологических особенностей эксплуатации, обеспечением безопасности, и надежностью работы.

Независимо от типа и конструктивного исполнения механизмы подачи очистных комбайнов должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. обеспечивать регулируемую рабочую скорость подачи с ручным или автоматическим её регулированием и чёткой фиксацией;
2. обеспечивать необходимое тяговое усилие;
3. обеспечить надёжное ограничение предельного тягового усилия;
4. обладать высокой эксплуатационной надёжностью и быть удобными в эксплуатации;
5. иметь автоматическое регулирование скорости подачи в зависимости от сопротивляемости пласта резанию, захвата и вынимаемой мощности комбайна;
6. оснащаться предохранительными устройствами, обеспечивающими удержание машины при обрыве (поломке) тягового органа;
7. система управления механизмом подачи должна располагаться с учётом безопасного обслуживания на основании требований, вытекающих из возможности рабочей позы, зоны видимости и удобства манипулирования.

Программа проведения исследований на физической модели заключается в получении статических и динамических характеристик регулируемого асинхронного электропривода.

К статическим характеристикам относятся:

1. электромеханические характеристики, силовой части лабораторного стенда;
2. механические характеристики электропривода стенда;
3. регулировочные характеристики электропривода стенда;
4. значения коэффициентов основных уравнений электропривода;

К динамическим характеристикам относятся реакции на управляющие и возмущающие воздействия.

А так же в программу исследований входит получение логарифмических амплитудно-частотные характеристик, проверка адекватности математических моделей, и принятых допущений.

Список литературы

1) Каверин В.В. Исследование и разработка управляемых систем динамического торможения регулируемого электропривода постоянного тока горных машин.: Автореф. дис. канд. – М., 2001. – 20 с.

2) Глушко В. В. Характеристики режимов работы горных машин и их автоматическое управление. М., «Недра», 1973. 240 с.

ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Болгов И.С.
Научный руководитель: Дементьев Ю.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
Email: elektrik@sibmail.com

По общему признанию экспертов, мировой рынок спутниковых телекоммуникаций находится на подъеме.

В последние пять лет мировой рынок спутникового ресурса рос в среднем на 6,7% в год. Совокупные годовые доходы спутниковых операторов фиксированной связи превысили 10 млрд. долларов, а средний уровень загрузки спутников фиксированной связи достиг нового максимума, составив 77%. И в дальнейшем мировой рынок спутникового ресурса будет уверенно развиваться темпами не ниже 5% в год.

Рынок цифрового спутникового телевидения продолжает быть ключевым фактором развития спутниковой индустрии в целом. Сейчас через спутники транслируется около 30 тыс. телеканалов.

Рост рынка корпоративных сетей будет обусловлен в первую очередь быстрым ростом широкополосных спутниковых услуг. Рост количества малых станций спутниковой связи (VSAT), обслуживающих мировую нефтегазовую отрасль, составит в ближайшее десятилетие 6,8%.

В настоящее время наблюдается пик бизнес-цикла в сфере производства коммерческих геостационарных спутников. Сейчас в стадии строительства находится более 30 геостационарных спутников фиксированной связи.

В последние годы темп роста спроса на спутниковую емкость в России составляет около 8-10%, что выше, чем в среднем в мире. Ограничивает развитие спутниковой связи дефицит спутникового ресурса над Россией. Сейчас Россию обслуживает около 300 транспондеров, что как минимум на 20% меньше, чем текущий спрос [1].

Любой спутник связи эксплуатируется в составе системы, которая помимо космических аппаратов включает телепорты, телекоммуникационные и телевизионные сети, а также наземный комплекс управления спутниками. Поэтому системные требования к спутнику задаются исходя из критериев эффективности функционирования спутниковой системы, так как она производит телекоммуникационную услугу для конечного потребителя: телефонию, передачу данных, телевидение. Основные параметры космического аппарата должны обеспечивать качество и конкурентоспособность телекоммуникационной услуги, что позволяет оператору окупить инвестиции, вложенные в создание спутника. К ключевым параметрам спутника связи относятся мощность и количество транспондеров, зоны обслуживания, точность удержания в орбитальной позиции и точность ориентации антенн спутника на заданные районы Земли. Эти параметры прежде всего влияют на размеры и стоимость земных станций спутниковой связи (ЗССС), которые потребители используют для организации связи. Поэтому чем сложнее и качественнее параметры спутника, тем проще и дешевле ЗССС, а значит, массовому потребителю еще выгоднее использовать услуги спутниковой связи. Но есть еще один параметр, принципиально влияющий на экономическую эффективность спутников: это срок активного функционирования на орбите, который по современным требованиям должен составлять не менее 15 лет [2].

Интерес к малым спутникам и бурное развитие этого направления объясняется короткими сроками разработки и изготовления, относительно низкой стоимостью самого аппарата и его вывода на орбиту. Немаловажным фактором, обусловленным развитием техники, является способность малых спутников выполнять некоторые задачи, которые ранее были подвластны только большим и дорогостоящим аппаратам. Кроме того, на базе нескольких миниатюрных спутников возможно создание формаций и группировок спутников, предоставляющих возможность проведения одновременных экспериментов в различных, но близких точках пространства.

Система ориентации имеет решающее значение для успеха всей миссии. Большинство первых спутников либо не имело систему ориентации, либо имело пассивную систему. Вообще, под пассивными системами понимаются такие системы, которые в процессе своего функционирования не расходуют энергетических ресурсов аппарата и не требуют информационного обеспечения. К активным относятся системы, включающие в свой состав датчики, вычислитель и исполнительные органы, потребляющие энергию. Развитие активных систем ориентации началось в основном благодаря запускам телекоммуникационных спутников, имеющих ограничение на направление антенны. Основным способом ориентации при этом являлась стабилизация собственным вращением. В этом случае спутник, быстро вращаясь, ведет себя как гироскоп – очень долго сохраняет неизменным положение оси вращения. Все основные способы ориентации, однако, были принципиально реализованы в самом начале космической эры.

К системам ориентации малых спутников и их компоновке предъявляются особые требования в связи с ограниченными размерами спутника и весьма жесткими ограничениям по энергетике и вычислительным ресурсам. Если к точности ориентации спутников не предъявляется высоких требований, то можно и целесообразно использовать магнитные системы ориентации. Их принцип действия основывается на взаимодействии собственного магнитного момента спутника с внешним геомагнитным полем, в результате которого возникает управляющий механический момент. Магнитный момент может быть реализован пассивно с помощью постоянных магнитов и гистерезисных стержней или активно с помощью токовых катушек с намагничиваемым сердечником или без него. Такие системы конструктивно надежные и относительно простые. Возможность создавать на спутнике магнитное поле и управлять этим полем привела к разработке разнообразных систем и алгоритмов, использующих магнитные моменты для управления его угловым движением.

Другим распространенным методом обеспечения ориентации является использование маховиков. Преимуществами маховиков являются их высокая точность и быстродействие. Основным недостатком, в случае рассмотрения малых аппаратов, является цена. Кроме того, при использовании маховиков возникает проблема насыщения. Маховик может достичь максимальной скорости вращения, но при этом спутник еще не выйдет на номинальный режим ориентации. В этом случае необходимо затормозить маховик, создавая при этом момент, компенсирующий возникающий при его торможении. Обычно для разгрузки применяются магнитные катушки. [3].

Основными типами электромеханических исполнительных органов систем ориентации и стабилизации космических аппаратов, получившими широкое распространение являются двухстепенные силовые гироскопы (гиродины). Основная задача гиродина – обеспечение пропорциональной зависимости угловой скорости рамки гироскопа (с раскрученным до номинальной скорости маховиком) от кода управления.

Базовым элементом для таких приборов служат бесконтактные двигатели постоянного тока, обладающие рядом преимуществ: по точности, ресурсу, массогабаритным и энергетическим характеристикам, в сравнении с другими типами двигателей.

Применяемые в настоящее время системы управления основаны на регулировании тока в фазах двигателя, а, следовательно, его электромагнитного момента. Такие системы не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к приборам, из-за сильного влияния момента сопротивления на их выходные моментно-скоростные и моментно-регулировочные характеристики. Системы управления приводом вращения рамки гиродина также не обеспечивают требуемой точности реализации угловой скорости в зависимости от кода управления, что связано в основном с кинематической погрешностью редуктора и отсутствием точного датчика скорости.

Так как угловая скорость рамки гиродина очень мала и при этом кратность регулирования составляет 0,015…0,06 ^{0}/с на единицу младшего разряда кода управления, то построение системы управления указанным приводом по традиционной схеме с обратной связью по скорости не дает удовлетворительного результата из-за наличия нелинейностей компонентов, смещений нулевого уровня и низкочастотных шумов [4].

Обеспечение высокого уровня информационных технических и эксплуатационных характеристик бортовых приборов малых космических аппаратов фундаментальных космических исследований (МКА ФКИ) имеет решающее значение для достижения высокого технического уровня космических аппаратов в целом. Недостаточный ресурс работы, большие массогабаритные параметры и энергопотребление, и самое главное, невысокие информационные характеристики (пространственное разрешение, точность ориентации и стабилизации, качество калибровки и др.) многих современных российских приборов создают серьезные затруднения при разработке новых МКА ФКИ. В связи с этим необходимо уделять повышенное внимание совершенствованию российской аппаратной базы с целью создания опережающего задела бортовых приборов МКА ФКИ [5].

Список литературы

1. Возможности и перспективы развития системы спутниковой связи «Ямал». Федеральный справочник «Связь и массовые коммуникации в России» 2012 год.

2. Особенности космического производства. Журнал «Стандарт» №8(103) август 2011.

3. Системы ориентации и стабилизации малых спутников. С.С. Ткачев. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

4. Астатические системы электроприводов систем ориентации и стабилизации космических аппаратов. Балковой Н.Н., Муравяткин Ю.Е., Лянзбург В.П. ОАО «Научно-производственный центр «Полюс», Томск.

5. Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года. Федеральное космическое агентство. Москва 2006.

УСТРОЙСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Брагин А.Д.
Научный руководитель: Однокопылов Г.И., к.т.н., докторант
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lflenylol@gmail.com

Значительные экономические потери, нарушения в эксплуатации оборудования могут возникнуть в случае возникновения аварийной ситуации в исполнительном электроприводе опасных производственных объектов в таких отраслях как военная, ядерная и химическая.

Электропривод переменного тока с обеспечением свойства живучести [1, 2], имеет существенный недостаток - невозможность восстановления работоспособности для электропривода у которого отсутствует техническая возможность соединения точки подключения обмоток статора двигателя и нулевой точки источника питания.

Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода переменного тока (ЭПТ) с применением блока обеспечения живучести (БОЖ), позволяющего сохранить работоспособность электропривода в случае возникновения аварии в одной из фаз преобразователя частоты, приведена на рис. 1. Представленный электропривод включает в себя трехфазный преобразователь частоты, подключенный к выводам звена постоянного тока, электродвигатель переменного тока, в качестве которого может выступать асинхронный двигатель (АД) или вентильный (ВД), датчик скорости либо датчик положения (ДС/ДП), задатчик частоты вращения (ЗЧВ) и микроконтроллер (МК1). Блок обеспечения живучести состоит из плавких вставок FU1-FU3, коротящих тиристоров VD1-VD6, ключей с двусторонней проводимостью VT9-VT10, резервного плеча инвертора VT7-VT8, датчиков тока $ДТ_a$, $ДТ_b$, $ДТ_c$, , $ДТ_d$, а также микроконтроллера (МК2).

В случае наступления аварийной ситуации МК2 на основе анализа отказов вырабатывает бит отказа соответствующей фазы. По биту отказа a (b, c) происходит выключение силовых ключей в отказавшем плече преобразователя частоты и включение соответствующего коротящего тиристора, например VD1 или VD2. В результате этого происходит перегорание плавкой вставки FU1 (FU2, FU3) и поступление напряжения от отказавшего полумоста преобразователя частоты на соответствующую фазу обмотки статора двигателя прекращается. Одновременно с этим микроконтроллер на основе бита отказа d, служащего индикатором отказа в одной из фаз преобразователя частоты, формирует сигнал на включение полностью управляемого ключа с двухсторонней проводимостью VT9 (VT10, VT11), в результате чего к фазе обмотки статора двигателя подключается резервный полумост. На управляющие выводы силовых ключей VT7, VT8 МК2 начинает подавать импульсы управления аналогичные импульсам управления, подаваемым нам силовые ключи в отказавшем полумосте трехфазного преобразователя частоты МК1.

Для проверки работоспособности предложенного устройства была использована имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода (а проверяем на примере АД) в среде Matlab Simulink, позволяющая исследовать аварийные и неполнофазные режимы трехфазного асинхронного электропривода [3].

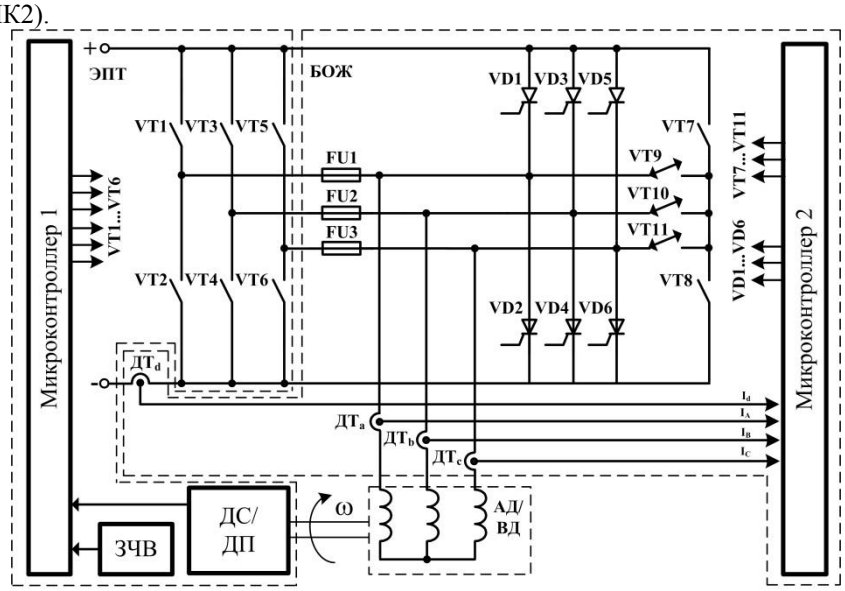


Рис. 1. Функциональная схема электропривода переменного тока с применением устройства повышения живучести

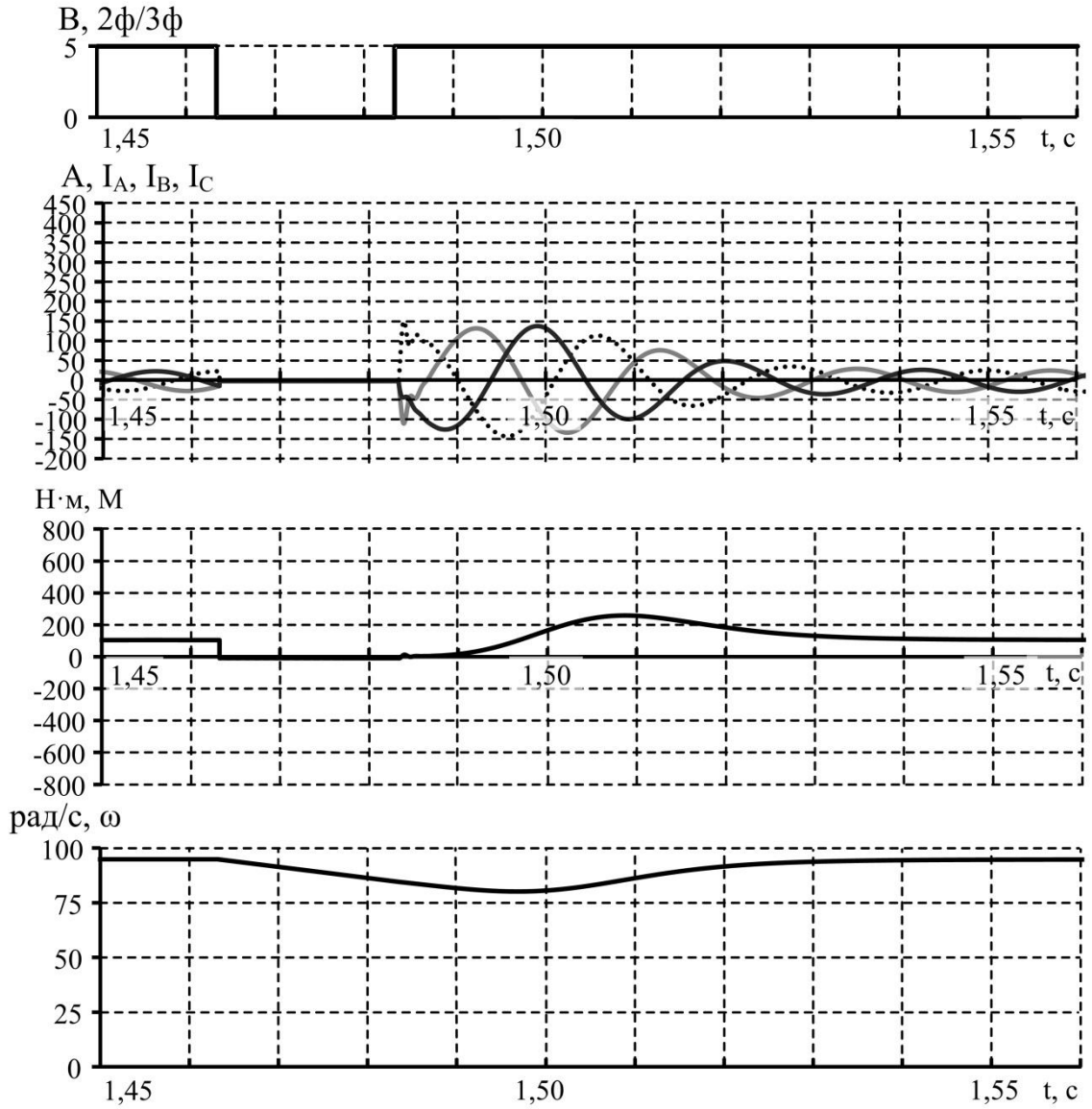


Рис. 2. Временные диаграммы переходных процессов в электроприводе при отказе в одной из фаз преобразователя частоты для схемы со связанными фазами и с отключением тока в коммутационной паузе

ВЫВОДЫ

1.На основе разработанной имитационной модели в среде в Matlab Simulink показан процесс полного восстановления работоспособности электропривода для электродвигателя с независимым формированием фазных токов преобразователя частоты для 20 мс провала напряжения в аварийной фазе с подключением резервного полумоста. Провал частоты вращения на время потери работоспособности электропривода составляет порядка 15% от номинальной частоты вращения, броски тока превышают номинальные значения в 6 раз (что соответствует пусковым токам), а момента – в 2.4 раза.

2. Использование предложенного устройства обеспечения живучести электропривода переменного тока позволяет полностью восстановить работоспособность электропривода за минимальное время.

Списоклитературы

1. Однокопылов Г.И., Однокопылов И.Г. Обеспечение живучести электродвигателей переменного тока: Монография. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 187 с.

2. ОднокопыловГ.И., Образцов К.В., Однокопылов И.Г. Принципы обеспечения «живучести» электроприводов переменного тока // Электричество. – 2009. – №12. – С. 51-57.

3. Однокопылов Г.И., Брагин А.Д. Исследование в среде MatlabSimulink трехфазного асинхронного электропривода в аварийном двухфазном режиме работы // «Технические науки — от теории к практике»: материалы XVI международной заочной научно-практической конференции. - Новосибирск, 2012. - С. 125-130.

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С РЕЗЕРВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Брагин А.Д.
Научный руководитель: Однокопылов Г.И., к.т.н., докторант
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lflenylol@gmail.com

Известны способы и устройства обеспечения живучести [1, 2] для исполнительных электроприводов (ЭП) переменного тока на основе асинхронных двигателей (АД). Такой подход позволяет обеспечить живучесть без дополнительных аппаратных затрат, однако он ограничен в применении так как не позволяет полностью восстановить работоспособность электропривода во всем диапазоне нагрузок и частот вращения.

Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода с использованием резервного полумоста при отказе в одной из фаз преобразователя частоты приведена на рис.1. Работу АД обеспечивают преобразовательные ячейки ПЯ$_a$, ПЯ$_b$, ПЯ$_c$ выполненные на ключахVT1...VT6. Защитные элементы на шунтирующих тиристорах VD1...VD6 и предохранителяхFU1...FU6 обеспечивают блокирование соответствующим битом отказа неисправной преобразовательной ячейки от цепей питания за счет принудительного формирования величины тока через защитный элемент. Резервный полумост, выполненный на транзисторах VT7, VT8, подключается для замещения через соответствующий ключ VT9...VT11 с двухсторонней проводимостью к неисправной преобразовательной ячейке. Коммутацией ключа VT10 обеспечивается выбор структуры электродвигателя со связанными фазами (VT10 разомкнут) и с развязанными фазами (VT10 замкнут). В результате при отказе в одной из фаз преобразователя частоты происходит подключение резервного полумоста с токовой или бестоковой паузой на время подключения T_n.

Для проверки предложенного способа повышения живучести АД была разработана имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривод в среде Matlab Simulink [3].

По результатам моделирования на рис.2 построена зависимость провала частоты вращения Δω (о.е.)от величины момента двигателя M_c (о.е.) и времени переключения структуры электропривода T_n построенная для значений T_n = 0..0,1с, для двигателя с независимыми фазами при m=3 типа MTF-311-6.

На рис.3. показана зависимость падения частоты вращения Δω (о.е.) от момента нагрузки M_c (о.е.) для различных схем включения АД и варианта подключения резервного полумоста с токовой или бестоковой паузой переключения. На рис. 3. обозначено: зависимость 1 - схема включения АД с независимыми фазами и без отключения питания обмоток на время переключения; зависимость, 2 - схема включения АД с взаимосвязанными фазами и без отключения питания обмоток на время переключения; зависимость, 3 - схема включения АД с независимыми фазами или взаимосвязанными фазами с отключением питания обмоток на время переключения.

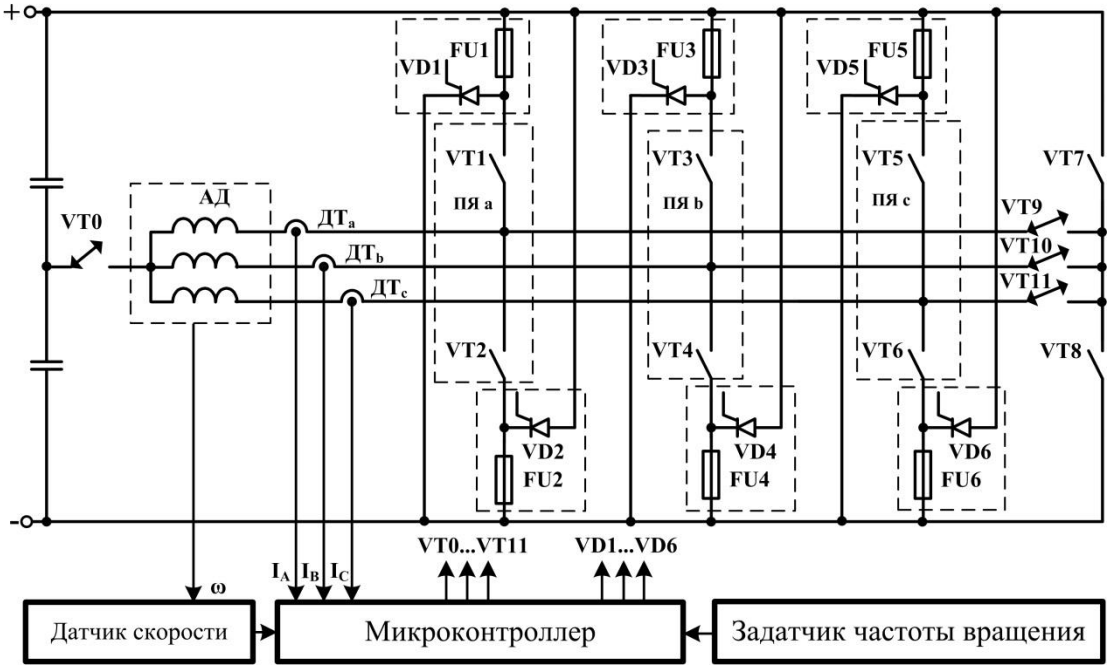


Рис. 1. Функциональная схема частотно-регулируемого трехфазного асинхронного электропривода с обеспечением свойства живучести на основе резервных элементов

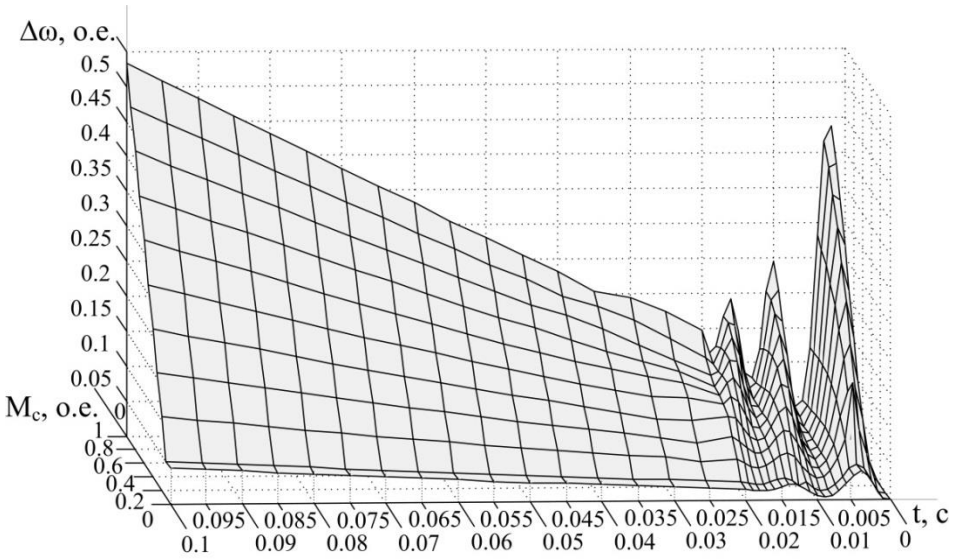


Рис. 2. Зависимость провала частоты вращения Δω от величины момента двигателя M_c и времени переключения структуры электропривода $T_П$, построенная для двигателя с развязанными фазами

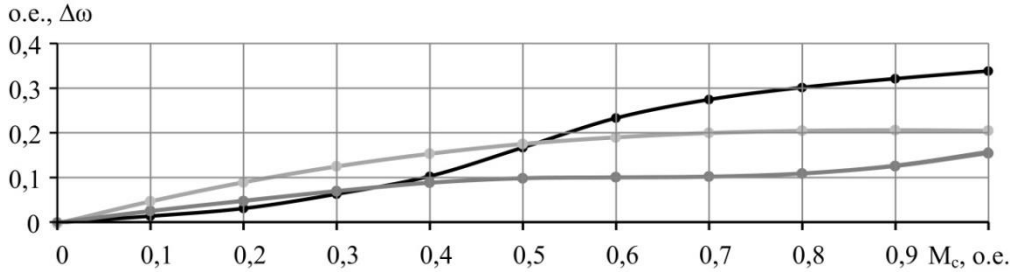


Рис. 3. Зависимость падения частоты вращения Δω от момента нагрузки двигателя M_c для различных схем включения двигателя

Из зависимости, представленной на рис. 2. видно, максимальный провал частоты вращения для значений времени переключения структуры электропривода определенного $T_П$= 15…20мс, с учетом блокирования отказавшего полумоста, не превышает Δω < 0,19 для номинального момента. Кроме того, зависимость на рис.2 позволяет оценить текущие или максимальные значения уменьшения частоты вращения (например, Δω=0.525 для времени переключения структуры электропривода T_n = 0,1с).

Из зависимостей на рис. 3 видно, схема с развязанными фазами и неотключаемым токовым питанием на время паузы переключения дает наихудший результат, падение частоты вращения составило Δω=0,35 от номинального значения. В случае применения схемы со связанными фазами и неотключаемым токовым питанием на время паузы переключения падение частоты вращения составило Δω=0,21 от номинального значения. Для схем со связанными и развязанными фазами и отключением токового питания на время паузы переключения падение частоты вращения одинаковое и составило Δω=0,16 от номинального значения.

ВЫВОДЫ

1.Произведена оценка влияния факторов, определяющих процесс восстановления работоспособности электропривода, таких как время переключения структуры и величины нагрузки электропривода в момент аварии.

2. Применение бестоковой паузы снижает степень влияния случайной составляющей текущего значения фазы тока в момент аварии на падение частоты вращения на два порядка и становится пренебрежимо малым как для схемы с развязанными фазами, так и для схемы с развязанными фазами.

Список литературы

1. Однокопылов Г.И., Однокопылов И.Г. Обеспечение живучести электродвигателей переменного тока: Монография. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 187 с.

2. Однокопылов Г.И., Образцов К.В., Однокопылов И.Г. Принципы обеспечения «живучести» электроприводов переменного тока // Электричество. – 2009. – №12. – С. 51-57.

3. Однокопылов Г.И., Брагин А.Д. Исследование в среде MatlabSimulink трехфазного асинхронного электропривода в аварийном двухфазном режиме работы // «Технические науки — от теории к практике»: материалы XVI международной заочной научно-практической конференции. - Новосибирск, 2012. - С. 125-130.

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМИ МАГНИТНЫМИ ПОДШИПНИКАМИ

Вавилов В.Е., Дуракова В.С.
научные руководители д.т.н. проф. Исмагилов Ф.Р., д.т.н. проф. Хайруллин И.Х.
ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
E-mail: s2_88@mail.ru

Наряду с централизованным электроснабжением потребителей электроэнергии, перспективным является и децентрализованное, автономное электроснабжение. При автономном электроснабжении потребитель не зависит от линии электропередачи значительной протяженности, а, следовательно, и от аварий, которые могут возникнуть на этой линии. Особенный интерес представляет применение автономного электроснабжения в отдаленных малонаселенных районах, например в районах крайнего севера РФ в связи с большой протяженностью кабельных линий, сложностью ландшафта и малым числом потребителей. Также автономное электроснабжение может применяется в качестве резервного на различных объектах согласно требований ПУЭ.

Основным в системе автономного электроснабжения (далее САЭ) является генератор. Для обеспечения экономической рентабельности применения САЭ, ее генератор должен обладать максимальными энергетическими показателями, максимальной надежностью при эксплуатации в экстремальных условиях и простотой конструкции. Наиболее полно на данный момент времени, представленным требованиям отвечают бесконтактные магнитоэлектрические машины (БММ) [1].

Для достижения максимальных энергетических показателей и минимизации массогабаритных показателей БММ, приходиться увеличивать частоту вращения их ротора, что в свою очередь вызывает значительное трение в подшипниковых узлах, при этом не только увеличиваются потери полезной мощности БММ, но и может произойти разрушение подшипников.

Решением проблемы трения в БММ является применение в качестве подшипниковых опор гибридных магнитных подшипников (далее ГМП). ГМП состоит из магнитных подшипников на постоянных магнитах, управляемых магнитных подшипников и датчиков положения ротора (ДПР) [2].

Традиционно в качестве ДПР в ГМП применяются вихретоковые или индуктивные датчики, которые устанавливаются на внутренней поверхности корпуса БММ, что приводит к усложнению конструкции, технического обслуживания и ремонта БММ, так как при неисправности одного из ДПР необходим полный останов и разборка БММ.

Для устранения указанных выше недостатков авторами предлагается оригинальное техническое решение для электромагнитной системы управления ГМП. Суть данного решения состоит в следующем: в качестве ДПР применяются датчики Холла, установленные непосредственно на внешней поверхности корпуса БММ, над постоянными магнитами ГМП. При возникновении смещения колец ГМП друг относительно друга происходит изменение напряженности внешнего магнитного поля постоянных магнитов ГМП, которое фиксируется датчиками Холла и по ее изменению формируются управляющий сигнал, поступающий на электромагниты.

Для практической реализации предлагаемого метода важно разработать математический аппарат, подтверждаемый экспериментальными данными и компьютерным моделированием, описывающий изменение ВМП от величины смещения ГМП, и на основе полученного математического аппарата разработать алгоритм управления ГМП.

Изменение ВМП ГМП в зависимости от величины смещения определяется методом эквивалентного соленоида [3, 4]. Для этого ГМП условно рассекается на 2 сечения, каждое сечение соответствует точки измерения ВМП, рисунок 1, и рассматривается как отдельный соленоид.

Для упрощения математического анализа вводятся следующие допущения и граничные условия:

– величина немагнитного зазора ГМП намного меньше радиуса его кривизны;

– магнитная проницаемость немагнитного зазора ГМП и корпуса БММ равна проницаемости вакуума μ_0, магнитная проницаемость постоянных магнитов постоянна.

– в качестве системы координат принята декартова;

– граничные условия Дирихле $\varphi_M = f_1(x, y, z)$.

Тогда магнитная индукция ВМП в точке измерения M_1, определяется в виде:

$$B_z = \frac{\mu_0 J}{2}\left(\begin{matrix}\cos\gamma_1 - \cos\gamma_2 - \cos\gamma_3 + \cos\gamma_4 + \\ + \cos\gamma_5 - \cos\gamma_6 - \cos\gamma_7 + \cos\gamma_8\end{matrix}\right), \quad (1)$$

С учетом геометрических соотношений, рисунок 1, определяются составляющие выражения (1).

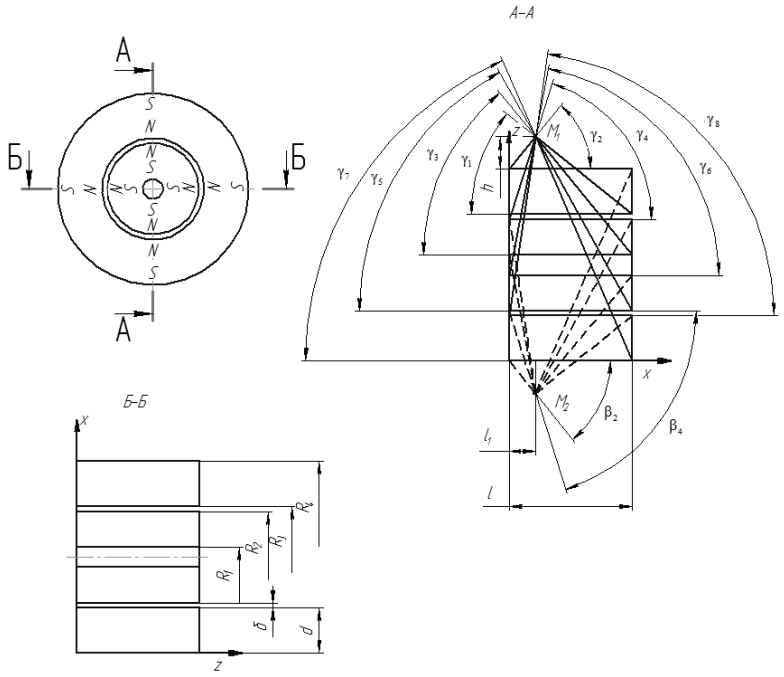


Рисунок 1. Расчетная схема ВМП ГМП

где *N, S*–полюса постоянных магнитов, $\gamma_1 ... \gamma_8, \beta_2 ... \beta_4$ –геометрические углы, R_1–геометрические радиусы постоянных магнитов; *l, l*$_1$– осевые длины постоянных магнитов; M_1,M_2–точки измерения ВМП ГМП

Для точки измерения M_2, при отсутствии смещения в ГМП, магнитная индукция ВМП определяется аналогичным образом, причем: $\cos\beta_1 = \cos\gamma_2$; $\cos\beta_4 = \cos\gamma_1$; $\cos\beta_n = \cos\gamma_{(n-1)}$, тогда:

$$B_z^* = -\frac{\mu_0 J}{2}(\cos\gamma_1 - \cos\gamma_2 - \cos\gamma_3 + \cos\gamma_4 + \cos\gamma_5 - \cos\gamma_6 - \cos\gamma_7 + \cos\gamma_8), \quad (2)$$

таким образом:

$$|B_z| = |B_z^*|, \quad (3)$$

Аналогичным образом производился анализ для другого сечения ГМП, при отсутствии смещения, в результате:

$$|B_z| = |B_z^*| = |B_x| = |B_x^*|, \quad (4)$$

При появления смещения воздушный зазор представляется как функция координат *z* и *x* [5]:

$$\delta = \delta_0 - z\cos\alpha - x\sin\alpha, \quad (5)$$

Таким образом, при не нулевом смещении колец ГМП, для магнитной индукции ВМП в рассматриваемых сечениях справедливо:

$$|B_z| \neq |B_z^*| \neq |B_x| \neq |B_x^*|, \quad (6)$$

Для визуализации полученных математических выражений, были произведены расчеты ГМП с геометрическими параметрами: в программном комплексе *MathCAD*. При расчетах принималось, что смещение присутствует только в направлении оси *z*.

Анализ результатов расчетов, показывает, что при отсутствии смещения, в точках измерения магнитной индукции ВМП ГМП при нанесении на принятую систему координат преобразуются в окружность, при появлении смещения полученная окружность трансформируется в эллиптическую фигуру.

Таким образом, на основе аналитических расчетов, можно сделать вывод, что при управлении ГМП по ВМП должно обеспечиваться, посредством электромагнитной системы управления, такое положение ротора БММ при котором значения магнитной индукции с датчиков Холла, минимум система имеет 4 датчика, равны. То есть при нанесении значении магнитной индукции ВМП ГМП на принятую систему координат данные значения должны формировать окружность.

Список литературы

1. Moore M. J. «Micro-turbine generators» – Professional Engineering. Printed in the USA. 2002 – 113с.

2. Хайруллин И. Х., Исмагилов Ф. Р., Вавилов В. Е. Определение сил гибридного магнитного подшипника для высокоскоростных шпинделей // Вестник УГАТУ Т.16. 2012. С. 70–74.

3. Постоянные магниты: Справочник/А.Б.Альтман, Э.Е.Верниковский, А.Н.Герберг и др.;Под ред. Ю.М.Пятина .— 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Энергия, 1980 .— 486с

4. Герасин А. А., Исмагилов Ф. Р., Хайруллин И. Х., Вавилов В. Е. Анализ осевой составляющей силы отталкивания в многокольцевых магнитных подшипниках с осевым направлением намагниченности // Сборка в машиностроении, приборостроении – 2012 – №10. С.14–18.

5. Геллер Б., Гамата В. Высшие гармоники в асинхронных машинах / Пер. с англ. под ред. З.Г. Каганова. – М.: Энергия, 1981. – 352 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫМ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА БАЗЕКОНТРОЛЛЕРА TMS320F28335

Волков А. В., Лапшина В. А.
Научный руководитель: Гуляев И.В., д.т.н. профессор
Мордовский государственный университет, 430000, Россия, г. Саранск, ул. Б.Хмельницкого , 39
E-mail: elsoldador@rambler.ru

На сегодняшний день все более необходимо развитие энергосберегающих технологий. Тенденциями развития технологий являются миниатюризация изделий, комплексная автоматизация производства, и поддержка достижений в области современной силовой электроники, в частности, создание регулируемого электропривода на базе интеллектуальных силовых модулей с прямым процессорным управлением. По самым скромным оценкам на одного жителя земли в ближайшее время будет проходиться 10 электрических двигателей, из которых, по крайней мере, один потребует качественного регулирования скорости. Таким образом, рынок встраиваемых микроконтроллерных систем управления двигателями имеет устойчивые тенденции к росту.

Реализация поставленной задачи заключается в выборе метода управления двигателем. На сегодняшний день существует достаточно много способов управления. В последнее десятилетие самым перспективным является векторное управление электроприводом, так как при таком способе достигается наибольшая экономия электроэнергии.

Рассмотрим векторный метод управления асинхронизированным двигателем (рис.1) [1]. В наблюдателе состояния системы управления осуществляется преобразование числа фаз токов статора и ротора и их перевод в синхронную систему координат x, y. Затем проводится аппроксимация функции вида «кривая намагничивания» степенным рядом

$$\psi_\delta = \sum_{j=1}^{n} k_j |I_m|^j$$

и определяется значение модуля основного магнитного потока, соответствующее суммарному значению токов намагничивания. Электромагнитный момент вычисляется в блоке вычислителя момента (ВМ) с учетом $i_{xs} = 0$, $\psi_{y\delta} = 0$. Для управления фазой тока статора необходимо непрерывно определять значение угла опережения коммутации β, который задает угол сдвига фаз φ_1 между векторами тока и напряжения статора. При этом инвертор тока в ПЧ статора работает в режиме искусственной коммутации тиристоров. Блок регуляторов имеет в своем составе регуляторы скорости, момента, основного магнитного потока и ортогональных составляющих токов статора и ротора. В блок параметров базовой машины вводятся значения активных сопротивлений обмоток статора R_s и ротора R_r, индуктивностей рассеяния $L_{\sigma s}$ и $L_{\sigma r}$ и коэффициентов потерь от вихревых токов R_{ec} и от гистерезиса K_h. При управлении асинхронным двигателем (АД) с малыми значениями частоты тока ротора ($\omega_2 < 5Гц$) и ограничением перегрузочной способности преобразователя по току на уровне $I_{\max} \le 2I_{SH}$, параметры R_r, $L_{\sigma s}$, $L_{\sigma r}$ можно принять постоянными. Если в рабочих режимах электропривода частота тока ротора и амплитуда тока статоры выходят за пределы установленных выше ограничений, то для адекватного описания динамических процессов в системе уравнений будет необходимо учесть их статические зависимости $R_r(\omega_2)$, $L_{\sigma s}(I_s)$, $L_{\sigma r}(I_s)$, $L_{\sigma r}(\omega_2)$, полученные на уточненной модели АД с учетом его конструкции. Причем наиболее существенной является ее составляющая $j\omega_c\psi_\delta$, т.е. потери в стали пропорциональны квадрату потокосцепления взаимоиндукции и квадрату синхронной частоты.

Таким образом, для создания полноценной системы управления необходимо знать в каких пределах могут изменяться основные параметры двигателя. Так же очень важно правильно выбрать оборудование для более точного определения измеряемых величин. С этой целью необходимо провести анализ огромного рынка технического оборудования, который существует на сегодняшний день.

Построение сложных систем управления стало возможным с появлением высокопроизводительных и недорогих микропроцессоров цифровой обработки сигналов. Текущее развитие цифровой обработки сигналов для цепей управления идет по следующим направлениям [2]:

1. переход от традиционной фоннеймановской архитектуры центрального процессора к более производительной многошинной конвейерной архитектуре, в частности, модифицированной гарвардской, переход от обычных микроконтроллеров к сигнальным микроконтроллерам.
2. повышение тактовой частоты и производительности центрального процессора (до 100-400 млн.оп./с), расширения числа функций системы управления, реализуемых исключительно программным путем.

В качестве промышленной ЭВМ может быть выбрано оборудование фирмы Texas Instruments, а в качестве основного вычислителя плата TMS320F28335 eZdsp на базе сигнального процессора с плавающей запятой TMS320f28335, снабженная комплектом навесных модулей ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов.

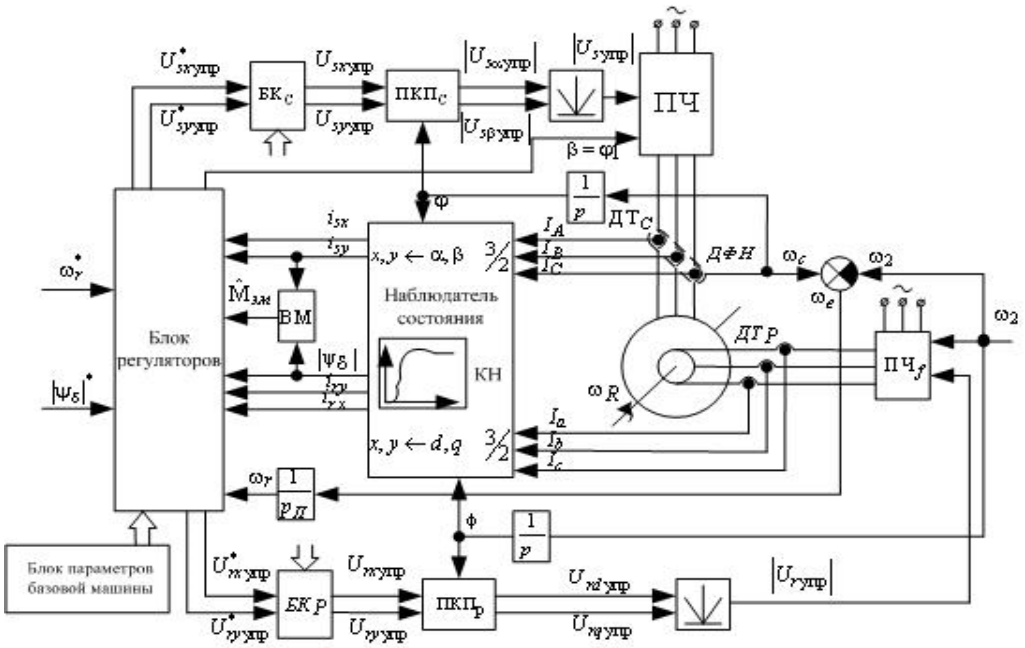


Рис. 1 – Функциональная схема системы векторного управления машинно-вентильным комплексом АВД с учетом потерь в стали

Структурная схема двухпроцессорного устройства управления регулируемым электроприводом представлена на рис. 2 и включает в себя[3]:

1. основной (host) процессор который выполняет функции загрузки DSP-процессора, контроля, диагностики, технологической автоматики, сопряжения с технологическим пультом управления, терминалом и внешней ЭВМ;

2. дополнительный быстродействующий процессор на базе сигнального процессора, который берет на себя все задачи, требующего большого объема вычислении с использованием операций умножения, деления и других нелинейных преобразований, характерных для векторных систем управления;

3. устройства сопряжения, с объектом предназначенные для сопряжения с внешней технологической автоматикой – ввод и вывод внешней автоматики и защит привода;

4. аппаратная защита в составе блока преобразования и нормализации аналоговых сигналов, воздействующие на отключение входного выключателя и индуцирующих последовательность действий для работы микропроцессорного устройства в аварийных режимах; сторожевой таймер, воздействующий на отключение входного выключателя при отказе микропроцессорного устройства управления, в том числе и по причине сбоев программного обеспечения.

Рассмотренный выше способ управления и выбранный контроллер TMS320F28335 фирмы Texas Instruments позволяют реализовать энергоэффективную систему электропривода с ассинхронизированным вентильным двигателем тем самым, также решается задача повышения надёжности всей системы управления, силовой части и самого двигателя.

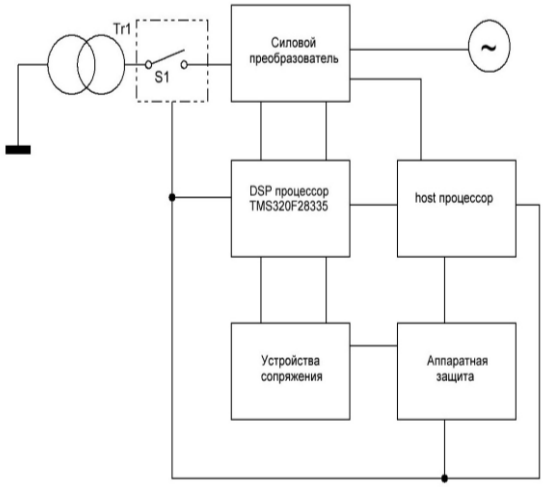


Рис. 2 – Структура системы управления регулируемого привода

Список литературы

1. Гуляев И.В. Системы векторного управления электроприводом на основе асинхронного вентильного двигателя / И.В. Гуляев, Г.М. Тутаев. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – 200 с.

2. Тутаев, Г.М. Математическая модель двигателя двойного питания при векторном управлении / Г.М Тутаев, А.Н. Ломакин // Изв. ВУЗов. Электромеханика. − 2007. − №5. − С. 8–14.

3. Козаченко В.Ф., Обухов Н.А., Трофимов С.А.,Чуев П.В. Применение DSP микроконтроллеров фирмы Texas Instruments в преобразователях частоты «Универсал» с системой векторного управления // Электронные компоненты. № 4. 2002.

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ТРЕХОСНОМ ГИРОСКОПИЧЕСКОМ СТАБИЛИЗАТОРЕ

By Доан Кет
Научный руководитель: Белянин Л. Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tamhoncuada_267@yahoo.com

Кафедра точного приборостроения ТПУ проводит разработку трехосного гиростабилизатора для ортофотосъёмки с легких и сверхлегких летательных аппаратов[1]. Особенность схемы гиростабилизатора состоит в том, что пространство вокруг вертикальной оси симметрии платформы должно быть свободно. Это необходимо для размещения там объектива фотокамеры. В связи такой компоновкой гиростабилизатора возникают проблемы токопередачи с внутренней рамы на платформу. Несмотря на уже принятое решение по использованию роликового токоподвода в сочетании с токоподводом через шарикоподшипник подвеса платформы остается проблема передачи сигнала с датчик угла процессии на основание гиростабилизатора. Данная статья посвящена поиску путей беспроводной передачи информации с выхода датчика угла прецессии на основание гиростабилизатора.

Были рассмотрены следующие известные способы беспроводной передачи информации:

- использование радиоканала;
- использование оптического канала;
- использование акустического канала;
- использование для передачи информации переменного магнитного поля.

При выборе направления исследования было принято во внимание, что передаваемый сигнал – сигнал переменного тока, амплитудно модулированный на несущий частоте 400Гц. Указанный сигнал должен поступать на вход усилителя стабилизирующего двигателя по оси стабилизации платформы в азимуте.

Принятый способ должен удовлетворять следующим требованиям:

- отсутствие искажения;
- помехоустойчивость;
- стабильность коэффициента передачи.

В итоги, использование магнитного поля является простейшим способом для проведения эксперимента. Сущность способа заключается в использовании явления взаимной индукции двух обмоток. Если по виткам передающей катушки протекает переменный ток, то в витках приемной катушки будут наводить ЭДС. Величина этой ЭДС определяется [2].

$$\varepsilon_2 = -\frac{d}{dt}(L_2 \cdot i_2 \pm M \cdot i_1),$$

где ε_2 – ЭДС в приемной обмотке;

L_2 – индуктивность приемной обмотки;

M – взаимная индуктивность обмоток;

i_1, i_2 – токи, протекающие в обмотках.

Цель экспериментальных исследований состоит в следующим:

- определить степень изменения коэффициента передачи при изменении взаимного положения катушек для различных вариантов исполнения катушек, их взаимного расположения и электрического соединения;
- определить внутреннее сопротивление системы беспроводной передачи информации, как источника напряжения;
- оценить влияние присутствующих вблизи катушек металлических конструкций на качество работы системы.

При выполнении эксперимента использовались набор катушек, параметры которых приведены в таблицу 1; наклонный стенд; специальная немагнитная нетокопроводящая подставка (рис.1); генератор сигналов низкочастотный Г3 – 56/1; милливольтметр В3-38.

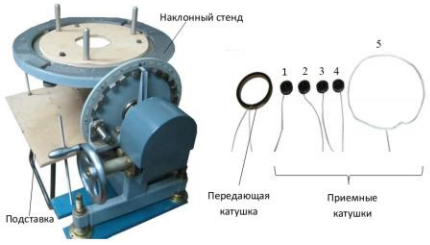


Рис.1 Наклонный стенд и набор катушек

Таблица 1 – параметры катушек

Наименование	Диаметр обмоточного провода, мм	Внутренний диаметр катушки, мм	Число витков	Омическое сопротивление, Ом	Индуктивность, мГн
Передающая катушка	0,4	109,3	172	9,1	6,82
Катушка 1	0,1	30,3	650	155	19,1
Катушка 2	0,1	30,3	650	156	19,1
Катушка 3	0,1	30,3	650	159	19,7
Катушка 4	0,1	30,3	650	155	19,1
Катушка 5	0,14	310	150	216	34,1

Передающая катушка крепится на платформе стенда, имеющей возможность вращения вокруг горизонтальной оси, а приемные катушки крепятся на подставке. Эксперимент выполняется следующим образом: на передающую катушку подается напряжение 3В частоты 400Гц, а приемная катушка соединяется с милливольтметром В3 – 38; платформа наклоняется в одну и в другую стороны. При этом измеряются напряжения на приемных катушках.

Эксперимент с катушкой 1

Катушка 1 устанавливается на линии окружности подставки диаметром 250 мм. Такая окружность сосна с передающей катушкой. Цель эксперимента – экспериментально подобрать положение катушки, при котором ЭДС, наводимая в ней, максимально. По результатам эксперимента отмечается в случае катушка перпендикулярна подставке ЭДС будет максимальной.

Эксперимент с четырем катушками 1 – 4, подключенными последовательно и согласно

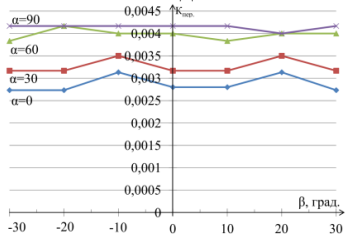


Рис.2 Изменение коэффициента передачи при использовании катушек 1 – 4

α - угол наклона обмоток относительно подставки, градусов; β - угол наклона платформы относительно горизонта

По результатам эксперимента при α = 90° коэффициент передачи имеет самую высшую стабильность. Отклонение значений в диапазоне наклона ±30°

$$\%к = \frac{к_{мак.} - к_{мин.}}{к_{мак.}} = 4{,}167\%.$$

Эксперимент с катушкой 5 диаметром 310 мм

Катушка 5 устанавливается на подставке так, чтобы она была соосна с передающей катушкой, находящейся в горизонтальном положении. По результатам эксперимента был построен график изменения $к_{пер.}$ (рис.3)

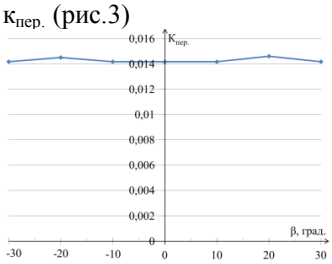


Рис.3 Изменение коэффициента передачи при использовании катушки 5

β - угол наклона платформы относительно горизонта, градусов

Отклонение значений коэффициента передачи в диапазоне наклона ±30°

$$\%к = \frac{к_{мак.} - к_{мин.}}{к_{мак.}} = 3{,}4\%.$$

Итак, использование одной катушки большого диаметра является лучшим вариантом.

Так как в процессе работы катушка 5 играет роль источника напряжения, поэтому необходимо определить внутреннее сопротивление этой катушки. С этой целью приемная катушка нагружается резисторами сопротивлением 1 мОм, 100 кОм, 50 кОм, 10 кОм и 1 кОм; определяется ток нагрузки.

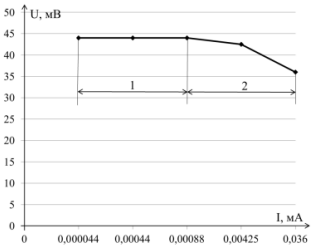


Рис.4 Вольт – амперная характеристика катушки 5

На рис.4 показана вольт – амперная характеристика системы передачи сигнала, отмечается в первой участке график прямой, а в другой кривой. Полное внутреннее сопротивление катушки 5 определяется

$$Z_{Внутр.} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = 222.5, Ом.$$

Определение влияния металлических тел на коэффициент передачи

При этом поочередно устанавливаются в компоновке эксперимента:

- шарикоподшипник соосно с передающей катушкой на платформе;
- металлическая пластина (экран) между катушками;
- два куска метала рядом с приемной катушкой на подставке.

В каждом случае определяется изменение коэффициента передачи (рис.5).

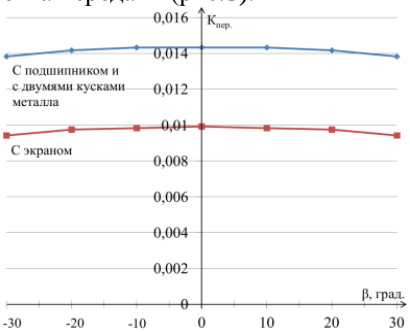


Рис.5 Коэффициент передачи системы при наличии металла

При наличии подшипника или кусков метала коэффициент передачи почти не уменьшается, а при наличии экрана коэффициент передачи падает. Но во всех случаях стабильность коэффициента сохраняется.

В данной работе были проведены эксперименты для определения коэффициента передачи беспроводной системы с разными приемными катушками, полученные результаты показываются, что использование одной катушки большого диаметра является лучшим вариантом - %к =3,4%. Также было определено внутреннее сопротивление систем и влияние металла на коэффициент передачи, полученные результаты удовлетворяются предусмотренными требованиями.

Список литературы

1. Нгуен Чонг Иен, Ву Доан Кет. Питание трехфазного асинхронного гироматора от однофазной сети. Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 426 с.

2. Л. А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. — 9-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1996. — 638 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМУЩАЮЩИХ МОМЕНТОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ-МАХОВИКОМ

Денисова А.А., Гладышев Г.Н.
ОАО «НПЦ «Полюс»
E-mail: polus@online.tomsk.net

Одним из основных свойств электродвигателей-маховиков (ЭДМ), входящих в систему ориентации и стабилизации космических аппаратов (КА), является минимальная виброактивность (возмущающие моменты – ВМ) конструкции при вращении ротора-маховика.

Частоты ВМ, действующих на КА со стороны ЭДМ, должны быть не менее 1 Гц, а в диапазонах от 1 до 10 Гц и свыше 10 Гц не должны превышать заданных значений возмущающих моментов ($M_{воз}$) конкретных ЭДМ.

Главным и определяющим источником ВМ является остаточная неуравновешенность (дисбаланс) ротора-маховика.

Остаточная неуравновешенность ротора-маховика регламентируется ГОСТ 12327–79.

Рассматриваемые роторы-маховики в соответствии с ГОСТ 12327–79 относятся к средним (свыше 3 до 1000 кг), для которых рекомендуется использовать классы точности балансировки 6,3; 2,5 и 1,0. Каждому классу соответствует наибольшее допустимое произведение $e\omega$, равное 1,0 мм·рад/с, где e – удельный остаточный дисбаланс, ω – частота вращения ротора-маховика.

В конструкцию обода маховика заложены две плоскости коррекции A и B (рис. 1), симметрично расположенные относительно центра масс ротора. Поэтому расчетные значения его допустимых остаточных дисбалансов

$$\Delta_1 = \Delta_2 = 0{,}5Pe,$$

где P – вес ротора-маховика.

При вращении статически неуравновешенного ротора возникает центробежная гармонически возмущающая сила

$$F_{ц} = m\omega^2 e\sin(\omega t),$$

где m – масса маховика.

Под действием $F_{ц}$ в упругой системе, включающей ротор-маховик *3*, вал *5* с распоротой втулкой *1*, опоры *6*, втулку *2*, возникают вынужденные колебания, возбуждаемые гармонической силой. При этом все величины, участвующие в данном процессе, изменяются с одной и той же частотой (частотой внешней силы) [1]. Эти колебания – следствие возникновения восстанавливающей силы, которая появляется в связи с тем, что механическая система, отклоняясь от положения равновесия, стремится вернуться в него снова. Таким образом, колебательные свойства механической системы есть результат действия именно восстанавливающей силы. Основным ее типом является сила упругости $F_{уп}$.

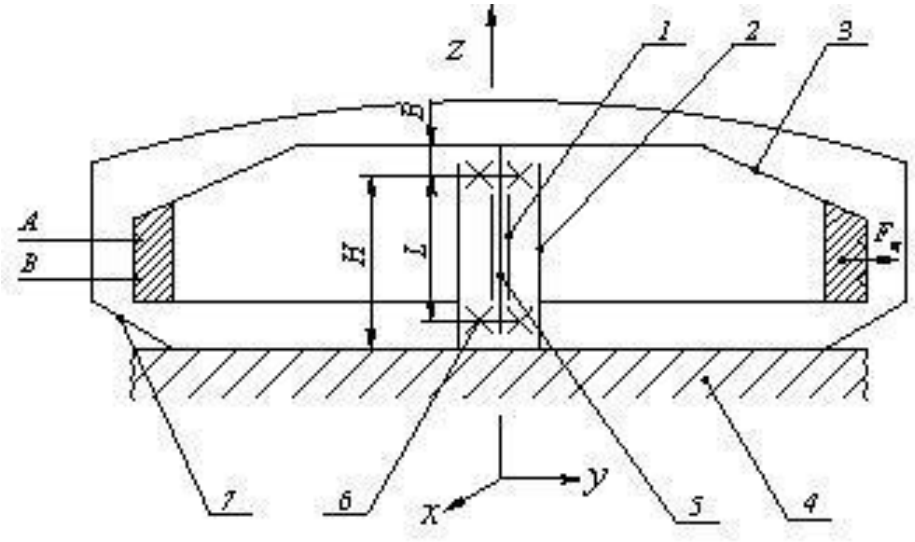


Рис. 1. Схема ЭДМ

В рассматриваемой линейно-деформируемой системе $F_{ц}=F_{уп}$ и определяется коэффициентом суммарной динамической жесткости K, включающим в себя коэффициенты динамической жесткости вала *5* ($K_{в}$), втулки *2* ($K_{вт}$), шарикоподшипника *6* ($K_{ШП}$) и диска маховика ($K_{д}$):

$$K = \sum_{i=1}^{n} K_i . \qquad (1)$$

Динамическая жесткость, главной особенностью которой является ее зависимость от частоты приложенной силы [3], определяется для заданной точки системы.

Если частота внешней силы равна нулю (статическая сила), то динамическая жесткость совпадает со статической, т. е. $K=c$, где c – коэффициент статической жесткости. В противном же случае

$$K = -m\omega^2 + c . \quad (2)$$

Для втулки и вала рассматриваемой конструкции он вычисляется по формулам [2]

$$c_{\text{в}} = \frac{3EJ_{\text{в}}}{(B+L)B^2};$$

$$c_{\text{вт}} = \frac{24EJ_{\text{вт}}}{H^3},$$

где E – модуль Юнга; $J_{\text{в}}$, $J_{\text{вт}}$ – моменты инерции вала и втулки соответственно; B, L, H – геометрические размеры шарикоподшипникового узла.

Коэффициент статической жесткости шарикоподшипника ($c_{\text{ШП}}$) определяется его радиальной жесткостью (C_r) [3]:

$$C_r = \frac{3\sqrt[3]{F_a D_w z^2}\cos^2\alpha}{4(c_1+c_2)\sqrt[3]{\sin\alpha}} + \frac{F_a \sin\alpha}{r_1 + r_2 - D_w + (c_1+c_2)\left(\frac{F_a}{z\sin\alpha}\right)^{2/3}/\sqrt[3]{D_w}},$$

где F_a – осевая нагрузка; D_w – диаметр шарика в шарикоподшипнике; z – число шариков; α – угол контакта; c_1, c_2 – коэффициенты, характеризующие контакт шарика с дорожкой качения.

Используя определенные ранее значения статической жесткости, можно определить по выражению (2) значения динамической жесткости вала, втулки и шарикоподшипника при разных частотах вращения ротора-маховика.

Динамическая жесткость диска маховика ($K_{\text{д}}$) определяется его собственной частотой $f_{\text{с}}$:

$$K_{\text{д}} = m\omega_{\text{с}}^2 = m(2\pi f_{\text{с}})^2,$$

где $\omega_{\text{с}}$ – собственное ускорение диска маховика.

Собственная частота диска маховика определяется при помощи модального анализа, в частности средствами программного продукта SolidWorks.

Силу упругости можно представить следующим образом:

$$F_{\text{уп}} = F_{\text{ц}} = KS , \quad (3)$$

где S – амплитуда смещения при вынужденных колебаниях конца вала ротора-маховика. Отсюда

$$S = \frac{F_{\text{ц}}}{K}.$$

Амплитуда ускорения при вынужденных колебаниях [3]

$$w_a = \omega^2 S .$$

Амплитуда усилия, возникающая при этом,

$$F = mw_a .$$

Поскольку вращающийся ротор-маховик (рис. 1) является симметричным телом относительно оси Z, то возмущающие моменты относительно осей X и Y равны между собой:

$$M_{\text{воз}.X} = M_{\text{воз}.Y} = M_{\text{воз}} = FH .$$

Циклическое деформирование реальной детали обнаруживается несовпадением зависимостей между усилием P и деформацией S при нагрузке и разгрузке [4], что свидетельствует о неупругом характере деформирования реальных материалов, приводящем к затуханию (демпфированию) возникающих колебаний, которое определяется логарифмическим декрементом затухания δ.

В табл. 1 приведены значения δ для материалов деталей, входящих в кинематическую цепь, по которой передаются колебания от вала ротора-маховика до КА.

Таблица 1. Значения декремента затухания для материалов деталей

Деталь	Материал детали	δ, %
Вал	20Х13	0,65
ШП	ШХ15	0,22
Втулка	20Х13	0,65
Корпус	АМг6	0,63

С учетом всего вышеизложенного можно утверждать, что возмущающие моменты, возникающие в ЭДМ при частоте f<1 Гц, ничтожно малы, затухают в кинематической цепи «вал ротора-маховика – шарикоподшипники – корпус ЭДМ» и не передаются на КА.

В качестве примера использования данного способа расчета определены возмущающие моменты для ЭДМ, вес ротора-маховика которого P=6,4 кг, его частота f=0…100 Гц, класс точности балансировки 1,0 (табл. 2).

Таблица 2. Расчетные параметры для определения возмущающих моментов

Параметр	Значение параметра при частоте	
	10 Гц	100 Гц
$F_{\text{ц}}$, Н	0,04	4,1
$c_{\text{в}}$, Н/мм	$8.425\cdot10^4$	
$c_{\text{вт}}$, Н/мм	$2{,}105\cdot10^6$	
C_r, Н/мм	$9{,}264\cdot10^4$	
$K_{\text{д}}$, Н/мм^2	$6.911\cdot10^3$	
K, Н/мм	$5{,}721\cdot10^5$	$5{,}702\cdot10^5$
S, мм	$7{,}15\cdot10^{-8}$	$7{,}175\cdot10^{-7}$
w_a, Н/мм^2	$2{,}82\cdot10^{-4}$	2,829
F, Н	$1{,}839\cdot10^{-6}$	0,018
$M_{\text{воз}}$, Н·м	$1{,}526\cdot10^{-3}$	15

Значения возмущающих моментов при частоте до 10 Гц составляют менее 1 % от допустимых, а при частоте от 10 Гц и выше – 76 %.

Список литературы

1. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. – М. : Машиностроение, 1976.

2.Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний. – М. : Наука, 1963.

3. Биггер И. А. Расчет на прочность деталей машин : справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1979.

4. Писаренко Г. С., Яковлев А. П. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. – К.: Наукова думка, 1971.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПЛАСТИНЫ ЛЕНТОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ

Екимова О.Ю., Зыль К.А.
Научный руководитель: Иванова А.Г., аспирант
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: olechka_15@sibmail.com

Проведенные в свое время экспериментальные исследования на установке для изучения теплофизического процесса нагревания пластины, при протекании по ней электрического тока, потребовали аналитического изучения с использованием программного продукта COMSOL Multiphysics.

Аналитические исследования, проводимые на кафедре точного приборостроения [1,2,3,4] с помощью указанного программного продукта, позволили определить распределение усилия по длине активного элемента (пакета). Определены такие геометрические соотношения между пластиной и шириной постоянного магнита, позволяющие получить равномерную силовую характеристику в центре пластины. Также рассматривалось влияние геометрии пластины на электрические параметры двигателя, в результате чего были сделаны выводы, что с увеличением количества вырезов активная мощность увеличивается, т.к. возрастает количество зон тепловыделения [4].

Следующей задачей является распределения тепловых потерь в пластине при различных ее геометрических параметрах.

В процессе аналитических исследований задавалась геометрия реальной пластины, являющейся одной из составных частей пакета активного элемента двигателя. Вид линий тока приведен на рис.1, который получен с помощью программного продукта COMSOL Multiphysics. При исследовании предполагалось, что пластина выполнена из однородного материала - алюминиевой ленты, которая имеет одинаковую толщину во всех точках (d = 0,1 мм).

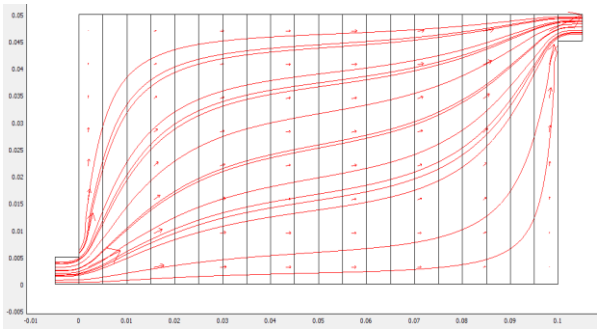


Рис. 1. Распределенный ток, протекающий по пластине

Наличие вырезов обеспечивают концентрацию линий тока в диагональном направлении.

В процессе исследований, задавались различные значения электрического тока, протекающего по пластине (1 А, 5А, 10А и 50 А). Предполагалось, что грани вырезов алюминиевой пластины теплоизолированы от окружающей среды, а все остальные грани охлаждаются воздухом при температуре 300 К.

На рис.2, 3, 4 последовательно показаны распределенные токи, протекающие по пластине без вырезов, с 1 и 3 вырезами. Цифрами обозначены характерные точки, представляющие особый интерес при исследовании распределения температуры по площади пластины.

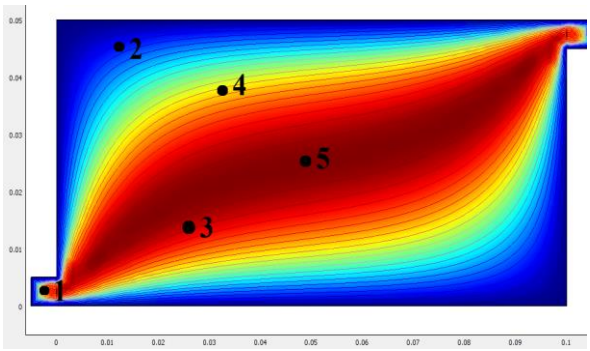


Рис. 2. Распределение температуры по пластине без вырезов

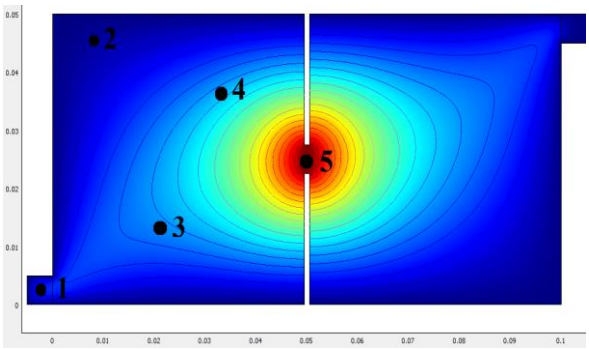


Рис. 3. Распределение температуры по пластине с 1 вырезом

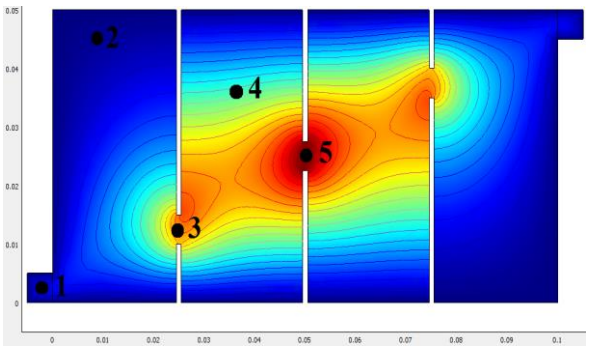


Рис. 4. Распределение температуры по пластине с 3 вырезами

На графиках рис.5, 6, 7 показаны расчетные характеристики зависимости температуры от протекающего тока для рассматриваемых пластин. Линия 1 показывает распределение температуры в первой точке, линией 2 – во второй точке, линией 3 - в третьей точке, линией 4 – в четвертой точке, линией 5 – в пятой точке.

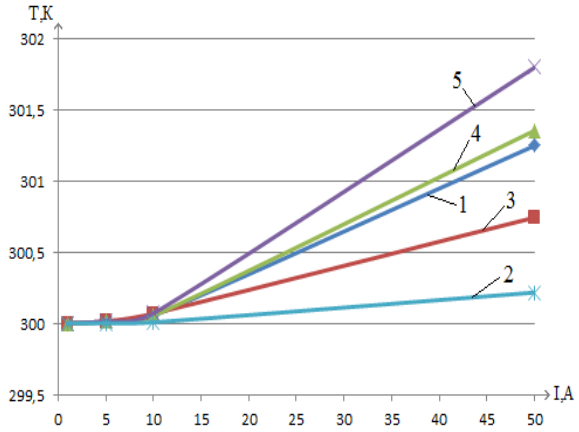


Рис.5. Характер распределения температуры по пластине без вырезов

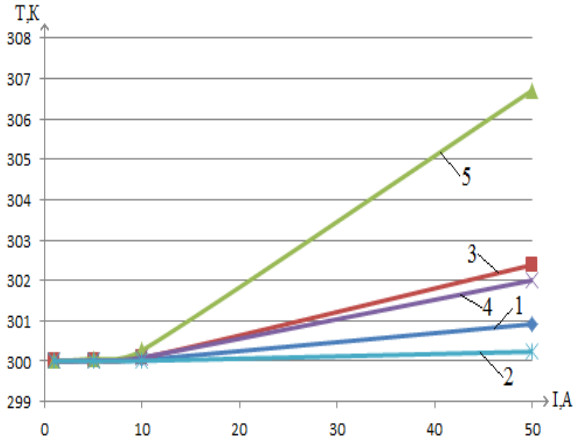


Рис.6. Характер распределения температуры по пластине с 1 вырезом

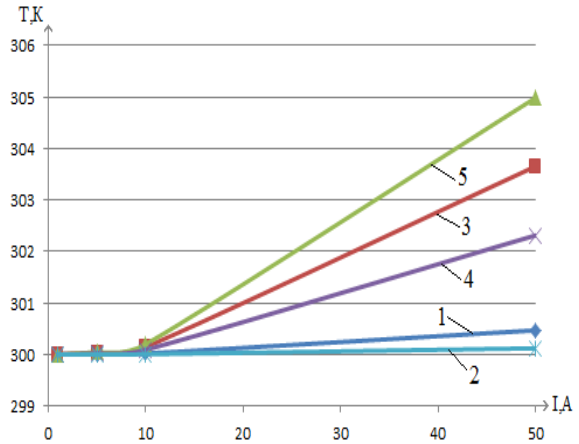


Рис.7. Характер распределения температуры по пластине с 3 вырезами

По полученным зависимостям можно сделать вывод о максимально возможной величине тока, протекающего по пластине в двигателях с пакетным элементом, который не приведет к необратимым последствиям. Основными источниками тепла, выделяемого при протекании тока, будут сужения ленты, образованные вырезами. Однако указанные участки будут охлаждаться за счет оттока тепла в те зоны ленты, где плотность тока не высока, а поверхности охлаждения имеют достаточные размеры.

Таким образом, проведенные расчетные эксперименты показали, что нагрев пластин есть, но он не существенный.

Данные исследования являются начальным этапом проведения температурного анализа пакетного элемента (пластин).

Для создания большего момента на валу двигателя, необходим большой ток. Проведенные ранее эксперименты показали, что при увеличении тока происходит перегрев пластины и ее возможное разрушение. В следствии чего, было определено что ток порядка 50 А является оптимальным для обеспечения работы двигателей с пакетным элементом.

Список литературы

1. К.А. Татарникова, О.Ю. Екимова. Выбор приемов сглаживания силовой характеристики двигателя // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: Сборник научных трудов II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 2-х томах. Томск: изд-во ТПУ, 2012.

2. К.А. Татарникова, О.Ю. Екимова. Влияние геометрии пластин на вид силовой характеристики двигателя //Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 3-х томах. Томск: изд-во ТПУ, 2012.

3. О.Ю. Екимова, К.А. Татарникова. Влияние геометрических параметров на силовую характеристику двигателя с пакетным элементом // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: Сборник научных трудов II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 2-х томах. Томск: изд-во ТПУ, 2012.

4. К.А. Зыль, О.Ю. Екимова. Влияние геометрии пластины на электрические параметры двигателя // Наука. Технологии. Инновации: сборник всероссийской научной конференции молодых ученых в 7 частях . Новосибирск: изд-во НГТУ, 2012.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕГАТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ РАБОТЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Калинкин Д.Ю.
Научный руководитель: Столярова О.О., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: kalinkin-85@mail.ru

В последнее время вентильные двигателя с постоянными магнитами (ВДПМ) привлекают повышенный интерес в связи с их активным использованием в промышленных электроприводах благодаря высокими энергетическими и массогабаритными показателями [1]. В тоже время неравномерная структура воздушного зазора статора приводит к возникновению реактивного момента, который неблагоприятно сказывается на характеристиках электропривода в целом.

Реактивный момент в обесточенной магнитоэлектрической машине возникает в результате магнитного тяжения между постоянными магнитами (ПМ) на роторе и зубцами статора. Это магнитное тяжение стремиться принять такое положение магнитов ротора и зубцов статора, при котором сила притяжения постоянных магнитов к зубцам статора будет больше всех сторонних сил, стремящихся вывести систему из равновесия [2].

Целью данной работы является исследование негативных явлений при работе магнитоэлектрического вентильного двигателя и путей их уменьшения.

Влияние реактивного момента приводит к уменьшению пускового момента электрической машины (ЭМ), а так же способствует остановке ротора в определенных положениях и увеличивает неравномерность воздушного зазора, что в конечном счете приводит к увеличению дополнительных потерь ЭМ, и как следствие повышенный нагрев и снижение КПД ЭМ.

В общем виде уравнение для реактивного момента M_p можно записать:

$$M_p = \kappa \Phi \frac{d\lambda}{d\theta} \qquad (1)$$

Зависимость проводимости λ от угла поворота ротора θ обусловлена влиянием зубчатости статора и может быть записана в виде

$$\lambda(\theta) = \lambda_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n \cos z_1 \theta n \qquad (2)$$

Из формулы (1) и (2) видно, что пульсации реактивного момента кратны числу зубцов статора z_1 за один оборот ротора.

Электромагнитные поля, в электрической машине представляют собой сложное по характеру распределение в пространстве квазистационарное магнитное поле, поэтому точное аналитическое решение для трехмерных полей получить практически невозможно, а нахождение численных решений связано с большим объемом вычислений [3]. Приближенное решение можно найти путем сведения пространственной задачи к плоской. При плоскопараллельной постановке полевой задаче вектор магнитной индукции B имеет две составляющие соответствующие осям прямоугольной системы координат (3). Расчет целесообразно вести через векторный магнитный потенциал A, при этом связь межу B и A вводится соотношением $B = rot\ A$ [3].

$$B_x = \frac{\partial A_z}{\partial y} \qquad B_y = \frac{\partial A_z}{\partial x} \qquad (3)$$

В области немагнитного зазора $\mu = \mu_0 = const$

$$\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} = 0 \qquad (4)$$

Граничные условия, необходимые для решения уравнения (4), задаются, исходя из условий существования магнитного поля на внешних границах расчетной области.

Реактивный момент M_p при гармоническом анализе будет содержать косинусные и синусные гармоники при разложении функции $M_p(\theta)$в ряд Фурье.

$$M_p = \sum_{k=1}^{\infty} \left(\begin{array}{l} M_{pc} \cos\left(\frac{k\pi\theta}{180\tau}\right) \\ + M_{ps} \sin\left(\frac{k\pi\theta}{180\tau}\right) \end{array} \right) \qquad (5)$$

где амплитуды косинусных и синусных гармоник M_{pc} и M_{ps}

$$M_{pc} = \frac{1}{\tau} \int_0^{2\tau} M_p(\theta) \cos\left(\frac{k\pi\theta}{180\tau}\right) d\theta$$

$$M_{ps} = \frac{1}{\tau} \int_0^{2\tau} M_p(\theta) \sin\left(\frac{k\pi\theta}{180\tau}\right) d\theta \qquad (6)$$

Приведенные уравнения можно решить аналитическими или численными методами.

При этом $M_p(\theta)$ можно представить в виде:

$$M_p(\theta) = M_p \sin(2\kappa\pi p\theta) \qquad (7)$$

На основании выше изложенного подставляем уравнение (7) в модель вентильной машины во вращающейся системе координат [2,4] и получаем:

$$\begin{cases} U_d = Ri_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega L_q i_q \\ U_q = Ri_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega L_d i_d + \omega \Phi_0 \\ M = \frac{3}{2} p \Phi_0 i_q \\ J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_н - M_p \sin(2\pi kp\theta) \\ \frac{d\theta}{dt} = \omega_m \end{cases} \qquad (8)$$

где u_d, u_q – проекции вектора напряжения на оси d и q; i_d, i_q – проекции вектора тока на оси d и q; L_d, L_q – проекции вектора индуктивности на оси d и q; R – активное сопротивление статора; p – число пар полюсов электродвигателя; J - момент инерции ротора; ω_m – угловая частота вращения ротора; $M_н$ – момент нагрузки на валу; θ – угол поворота ротора.

Приведенная система уравнений (8) является математическим описанием магнитоэлектрического вентильного двигателя, с учетом пульсаций реактивного момента в системе координат dq и может быть промоделирована с помощью программы Math lab с пакетом расширения Simulink рис.1 [2].

Для решения этой системы уравнений необходимо задаться следующими ограничениями:

- отсутствует насыщение магнитной цепи, потери в стали, эффект вытеснения тока;
- обмотки статора симметричны;
- индуктивности рассеяния не зависят от положения ротора.

Исследования проводились на опытном образце вентильного двигателя ШД-1, Исходными данными являются: число полюсов $2p = 8$, $m = 3$ фазы, число пазов $z_1 = 24$, напряжение питания постоянного тока $U_1 = 27$, В; активное сопротивление фазы $R = 0{,}25$, Ом; индуктивность по продольной и поперечной осям $L_d = L_q = 2{,}85 \cdot 10^{-5}$, Гн; основной магнитный поток $\Phi_0 = 9{,}7 \cdot 10^{-5}$, Вб; момент инерции вращающихся частей $J = 33 \cdot 10^{-4}$, кг·м2; угловая частота вращения ротора $\omega_н = 100{,}53$, рад-1; номинальный момент двигателя $M_н = 0{,}4$, Н·м; реактивный момент $M_p = 0{,}136$, Н·м.

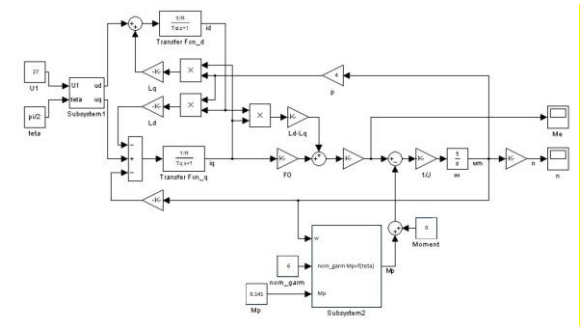
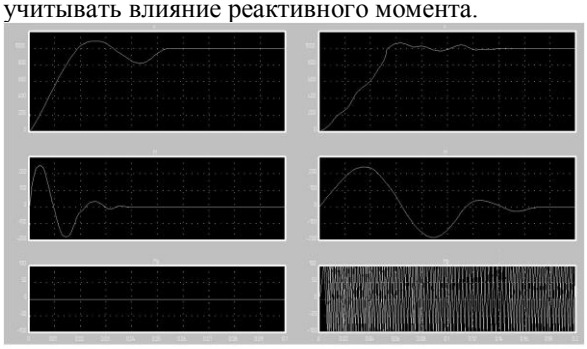


Рис.1. Математическая модель образца вентильного двигателя ШД-1в Math lab Simulink

В результате расчета приведенной системы уравнения (8) пульсации частоты вращения при холостом ходе составили 4,375% от номинальной частоты вращения без учета пульсаций. Следует так же отметить увеличение времени переходного процесса пуска 0,052 с; до 0,1315 с; на приведенных осциллограммах рис.2.

Анализируя зависимости рис.2 можно сделать вывод, о том, что реактивный момент негативно влияет на работу электродвигателя. Увеличивается время переходного процесса, ухудшаются пусковые свойства, которые проявляются в неравномерном вращении ротора. Поэтому необходимо учитывать влияние реактивного момента.



а – без учета М б – с учетом Мр

Рис. 2. Зависимости n, M, Mp = f(t) при холостом ходе

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что реактивный момент негативно влияет на работу магнитоэлектрического вентильного двигателя. Это проявляется в появлении вибрации, увеличении шума, снижении КПД, а так же ухудшаются пусковые свойства машины. Для уменьшения негативного влияния реактивного момента, можно применить следующие меры: скос пазов статора или скос магнитов, сдвиг магнитов в несколько ступеней.

2. Приведена математическая модель магнитоэлектрического вентильного двигателя, позволяющая учитывать негативное влияние реактивного момента.

Список литературы:

1. Абд Эль Вхаб Амр Рефки, Каракулов А.С., Дементьев Ю.Н., Кладиев С.Н. Сравнительный анализ векторного управления и прямого управления моментом синхронного электродвигателя с постоянными магнитами // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319., №4. – С. 93 – 99.

2. Опалев Ю.Г. Вентильные электродвигатели для прецизионных быстродействующих приводов мехатронных технологических модулей двигатели: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Чебоксары, 2011. – 20 с.

3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высшая школа, 2001. 327 с.

4. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0:Учебное пособие. – СПб.: Корона принт, 2001. – 320 с.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ТРАМВАЕВ

Калугин В. М.
Научный руководитель: Столярова О.О., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: viktor_k@sibmail.com

На сегодняшний день в городской транспортной системе России одним из самых распространенных транспортных средств являются трамвайные вагоны. Это объясняется тем, что данный вид транспорта обеспечивает минимальные эксплуатационные затраты и высокие объемы перевозки пассажиров. В виду этого, необходимо не только повышать скорости движения трамваев и улучшать уровень комфортности пассажиров, но и уделять повышенное внимание вопросам, связанным с эксплуатационной надежностью трамвайных вагонов.

К сожалению, у современных отечественных трамвайных вагонов имеются существенные конструктивные недостатки. Это является причиной дополнительных затрат на ремонт. Неисправности требуют дополнительных затрат сил и средств на их восстановление. В связи с этим актуальна не только проблема повышения надежности, но и в частности, продления срока службы трамвайных вагонов и, как следствие, сокращения затрат на их ремонт.

Целью статьи является анализ технического состояния, отказов трамваев по полученным данным во время эксплуатации и факторов, которые могут быть причинами отказов.

Важным шагом для рассмотрения проблем, поставленных в статье, является сбор информации. Для сбора информации о техническом состоянии трамвайных вагонов была использована информация с разовых натурных обследований, которые проводились при поступлении вагонов в плановые и текущие ремонты. Информация получена из специализированной литературы.

Анализ данных из специализированной литературы показал, что наибольшее количество неисправностей, вызванными факторами перечисленными выше, приходится на электрооборудование, кузов и ходовые части. Диаграмма отказов узлов трамвайного вагона представлена на рис. 1.

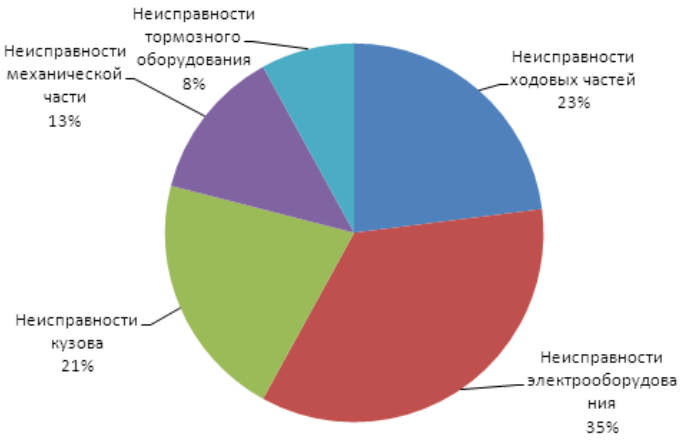


Рис. 1. Отказы основных узлов трамвайного вагона в %

В работах Н.А. Костенко [1] теоретически обоснована возможность достоверной оценки показателей надежности по результатам разовых обследований. Благодаря этому достаточно фиксировать отказы узлов в течение короткого промежутка времени (1-2 года).

Опыт эксплуатации трамваев показывает, что наиболее повреждаемыми узлами являются элементы ходовых частей и электрооборудования. Это подтверждается выполненным анализом распределения отказов трамвайных вагонов этой серии. Чаще всего неисправности происходят в электрооборудовании (доля отказов от общего числа составляет 35%) ,ходовых частей(доля отказов от общего числа составляет 23%), кузова(доля отказов от общего числа составляет 21%) [2]. Как видно, наиболее проблемными узлами являются ходовые части и электрооборудование. Рассмотрим это на примере вагонов моделей «Спектр» и КТМ-5М.

Наиболее характерными неисправностями тележек трамвайных вагонов модели «Спектр» являются: образование трещин в продольных балках в местах соединения с кожухами редукторов, излом пружин центрального рессорного подвешивания, просадка резиновых амортизаторов, обрыв болтов подвески тягового электродвигателя, разрушение уплотнительной втулки и изгиб штока гидравлического гасителя в центральной ступени подвешивания, ослабление крепления моноблока колеса [3].

Так же можно рассмотреть отказы электрооборудования на примере вагона КТМ-5М. Неисправности электрооборудования трамвайного вагона по месту возникновения можно классифицировать следующим образом:

1. Неисправности в силовых цепях.
2. Неисправности в цепях управления.
3. Неисправности в служебных и вспомогательных цепях.

Анализ распределения неисправностей по электрическим цепям вагона по данным статистики, показал, что в силовых цепях процент неисправностей составляет не более 1%. В большинстве случаев остаётся возможность продолжить движение трамвая в ДЕПО для последующего ремонта. Значительная часть отказов происходит по вине коммутационной аппаратуры СУ ТЭД. Так процентная доля этих неполадок составила 23,4%. Неисправности в служебных и вспомогательных цепях не являются критическими так как не приводят к остановке трамвайного вагона на линии [4].

Основными электрическими аппаратами и компонентами СУ ТЭД являются контроллер водителя (КВ), различные реле, силовые контакторы, полупроводниковые приборы, двигатель реостатного контроллера и источник питания. Неисправности РКСУ можно разделить на следующие виды:

1. Неисправности коммутационных аппаратов (реле, контакторов).
   1.1. Обрыв катушки.
   1.2. Короткозамкнутые витки катушки.
   1.3. Неисправность контактных пар.
   1.4. Отклонение временных параметров процессов коммутации.
2. Неисправность контроллера водителя.
2.1. Дребезг контактов при замыкании.
2.2. Плохой контакт в замкнутом состоянии.

Распределение отказов по видам неисправностей в СУ ТЭД по данным статистики представлено на диаграмме рис. 2.



Рис. 2. Распределение отказов по видам неисправностей в СУ ТЭД в %

Условия эксплуатации оказывают наибольшее влияние на надежность электротехнических устройств. Удары, вибрация, перегрузки, температура, влажность, солнечная радиация, песок, пыль, плесень, коррозирующие жидкости и газы, электрические и магнитные поля — все влияет на работу устройств.

Таким образом, по полученным статистическим данным эксплуатации трамваев был выявлены отказы основных узлов, нарушающих работоспособность. Чаще всего неисправности происходят в электрооборудовании (доля отказов от общего числа составляет 35%) ,ходовых частей(доля отказов от общего числа составляет 23%), кузова (доля отказов от общего числа составляет 21%). Для снижения отказов и повышения долговечности проводится ряд мероприятий. К ним можно отнести соблюдение технических требований, таких как, профилактическое обслуживание, плановый ремонт, контроль за износом деталей. Качество эксплуатации электротехнических устройств зависит от степени научной обоснованности применяемых методов эксплуатации и квалификации обслуживающего персонала. Применение профилактических мероприятий ремонта, использование опыта эксплуатации электротехнических устройств обеспечивают их более высокую эксплуатационную надежность.

Список литературы

1. Костенко Н.А. Прогнозирование надежности транспортных машин//-Машиностроение.- 1989.- 240 с.
2. Зайнетдинов Р.И. Развитие методов оценки работоспособности несущих конструкций подвижного состава с использованием закономерностей самоорганизации/Дис. докт. техн. наук.- М.: МИИТ, 2000.- 435 с.
3. Бачурин Н.С. Методика оценки показателей надежности трамвайного вагона/Научно-технический журнал "Транспорт Урала".-№1(20).- 2009.-93 с. Режим доступа: [http: //vagons.tramvaj.ru/].
4. Копцев А. Л. Система диагностирования технического состояния цепей управления тягового электропривода трамвайного вагона : диссертация ... кандидата технических наук : 05.09.03.- Магнитогорск, 2006.- 151 с.: ил. РГБ ОД, 61 06-5/3717

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СОПРЯЖЕНИЯ КОНФОРМНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Клабуков Р.П.
Научный руководитель: Муравлёв О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: KlabukovRP@gmail.com

Электрический привод с вентильным электродвигателем с возбуждением от постоянных магнитов (ВДПМ) является на сегодня одним из самых перспективных приводов. Это объясняется не только его высокой перегрузочной способностью, благодаря использованию редкоземельным магнитам, но также и другими преимуществами: большой гибкостью и многофункциональностью, возможностью построения быстродействующих систем управления, хорошими регулировочными свойствами, разнообразием конструкций и схем, бесконтактностью, возможностью работы в тяжёлых условиях эксплуатации, большим сроком службы и высокой надёжностью. Применение подобных двигателей позволяет создать быстродействующие электроприводы, обеспечивающие повышение производительности и точности специальных устройств, главным образом следящих систем.

Целью данной работы является расчёт магнитного поля быстродействующего вентильного двигателя с постоянными магнитами методом сопряжения конформных отображений.

Требование максимального быстродействия устройств автоматики обусловило необходимость разработки исполнительных двигателей с малым моментом инерции вращающихся частей. Для этого электрическая машина заданной мощности проектируется с максимально допустимой по механической устойчивости длиной якоря при минимальном его диаметре[1].

При проектировании быстродействующих систем важнейшим показателем качества является время отработки управляющего воздействия. В этом смысле проектирование ВДПМ на максимум быстродействия эквивалентно проектированию двигателя с минимально возможным значением электромеханической постоянной времени, достигаемым при затратах единицы потребляемой мощности в единице массы [2].

Вентильные двигатели, расположенными на ярме ротора в виде сравнительно тонкого магнитного слоя, находят широкое применение в электроприводах различных механизмов, прежде всего станков и робототехнических комплексов.

Для обоснованного выбора расхода (толщины) магнитного сплава, допустимого тока кратковременной перегрузки ВДПМ (по условиям отсутствия необратимого размагничивания магнитов), оценки уровня насыщения отдельных элементов магнитных сердечников, характера пульсаций электромагнитного момента необходим уточнённый расчёт магнитного поля ВД на интервале пространственного периода.

Рассматриваемый двигатель имеет сравнительно большую активную длину, поэтому математически моделировать его функциональные свойства можно с достаточной точностью на основе решения плоской полевой задачи методом сопряжения конформных отображений[3].

Системы с постоянными магнитами могут рассчитываться с помощью метода Фурье, интегральных уравнений, конечных элементов. В статье используется метод расчёта плоскопараллельных магнитных полей (МП) в нелинейных средах, состоящих из следующих этапов:

- разбиение исходной области с МП на совокупность кусочно-однородных элементарных областей канонической формы;
- конформное отображении верхней полуплоскости на указанные элементарные области;
- использовании интегральных уравнений для комплексной потенциальной функции верхней полуплоскости.

Для плоской области, содержащей магнитно-неоднородную среду, известны источники потенциального МП — это заданное распределение внутри её и на границе скалярного магнитного потенциала (СМП) и магнитных зарядов. Выделяем в области однородные участки, магнитные проницаемости которых неизменны (например, участки воздушные и участки, занятые немагнитными проводниками с током). Остальную часть области с магнитно-нелинейной средой разобьем на элементарные участки (ЭУ) треугольной или четырехугольной формы, в пределах которых полагаем магнитную проницаемость и остаточную намагниченность среды одинаковыми. Прямолинейные границы ЭУ разделим на N равных интервалов, СМП которых аппроксимируем линейными или кусочно-постоянными зависимостями [3].

На рис. 1 расчётная область ВДПМ мощностью 15 кВт представлена половиной круга, являющейся периодом для магнитного поля, которая разбита на 54 ЭУ.

Участки 1, 2, 3 относятся к ярму статора, который выполнен из холоднокатаной изотропной электротехнической стали 2412**.** Участки 4÷22 соответствуют токовому слою беспазовой петлевой двухслойной трехфазной обмотки; ЭУ 22÷30 соответствуют воздушному зазору; ЭУ 31÷48 относятся к бандажному стакану ротора; ЭУ 50, 52, 54 являются поперечными сечениями магнитов неодим-бор, имеющих B_r=1,1 Тл; H_{CB}=750 кА/м; k_α=0,1 (коэффициент восприимчивости по оси намагничивания α); ЭУ 51, 53 – межполюсные окна; ЭУ 49 – поперечное сечение ярма ротора и вала.

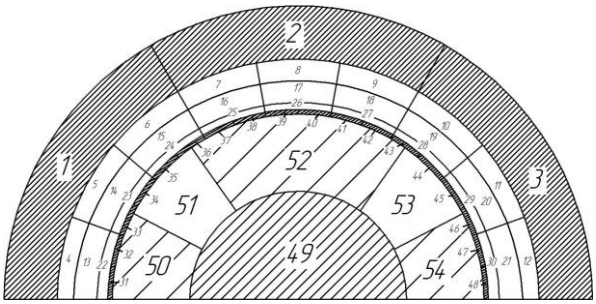


Рис. 1. Внутренняя расчётная область ВДПМ

Из рис. 1 видно, что нижняя граница участка 22 проходит по нижнему краю воздушного зазора; максимум индукции на соответствующей этому участку кривой составляет примерно 0,6 Тл.

Для расчета тепловых потерь в магнитах, бандаже ротора и сердечнике статора расчетная область двигателя была дополнена и разбита уже на 88 ЭУ. Для нахождения тепловых потерь в различных элементах конструкции ВДПМ были введены в рассмотрение виртуальные элементарные контуры (ЭК) [4]. Так, виртуальные ЭК шихтованного статорного сердечника позволяли определить магнитные потери от вихревых токов, замыкающихся поперек шихтовки. Аналогично разбивался и фрагмент бандажа. Плотность тока и магнитная проницаемость каждого ЭУ принимались равномерными. В результате были получены расчетные кривые мгновенных средних значений нормальной и тангенциальной составляющих магнитной индукции в ЭУ шихтованного статорного сердечника в режиме номинальной нагрузки. Разложение этих кривых в ряд Фурье на гармонические составляющие приведено в таблице.

Таблица. Разложение на гармонические составляющие расчётных кривых статорного сердечника ВДПМ

Номер гармоники	Амплитуда			
	Нормальной составляющей индукции (Тл) в	Тангенциальной составляющей индукции (Тл) в	Нормальной составляющей индукции (Тл) в	Тангенциальной составляющей индукции (Тл) в
1	$1{,}5395e^{-001}$	$1{,}5687e^{+000}$	$4{,}6379e^{-001}$	$1{,}7678e^{+000}$
2	$6{,}7421\ e^{-004}$	$1{,}766e^{-003}$	$8{,}318e^{-004}$	$5{,}3488e^{-004}$
3	$4{,}9061e^{-004}$	$2{,}9051e^{-003}$	$1{,}3109e^{-002}$	$2{,}7672e^{-002}$
4	$4{,}1145e^{-003}$	$9{,}4310e^{-004}$	$2{,}1628e^{-004}$	$2{,}5690e^{-003}$
5	$4{,}1445e^{-003}$	$8{,}8976e^{-003}$	$2{,}6355e^{-003}$	$1{,}4391e^{-003}$
6	$5{,}8844e^{-004}$	$9{,}981\ 3e^{-004}$	$8{,}4493e^{-004}$	$2{,}5557e^{-003}$
7	$9{,}403e^{-004}$	$1{,}9649e^{-003}$	$1{,}7368e^{-003}$	$4{,}3325e^{-003}$
8	$8{,}2240e^{-005}$	$1{,}7770e^{-003}$	$2{,}851\ e^{-004}$	$2{,}5638e^{-003}$
9	$8{,}4280e^{-005}$	$2{,}5037e^{-002}$	$7{,}2803e^{-004}$	$6{,}1289e^{-003}$
10	$6{,}5428e^{-004}$	$7{,}8654e^{-004}$	$9{,}1248e^{-004}$	$2{,}3398e^{-003}$
11	$1{,}6813e^{-003}$	$4{,}5653e^{-003}$	$1{,}7314e^{-003}$	$3{,}7773e^{-003}$

Преобладающее действие первой гармоники позволяет достаточно точно определить магнитные потери в статорном сердечнике именно по этой гармонике.

Магнитные потери (на перемагничивание и гистерезис) в шихтованном статорном сердечнике от каждой из гармоник в отдельности, находятся по формуле:

$$П = p_{1/400}B^2\left(\frac{f}{400}\right)^{1,3}G\alpha,$$

где П – потери в шихтованном сердечнике, Вт; B – амплитуда соответствующей гармоники магнитной индукции, Тл; f – частота изменения магнитного потока, Гц; $p_{1/400}$=12,5 Вт/кг – удельные потери в электротехнической стали 1512 (Э44) толщиной 0,2 мм при B=1 Тл и f=400 Гц; G – масса шихтованного стального массива, кг; α=1,2 – коэффициент, учитывающий технологические факторы (наклеп, заусеницы и др.), неравномерность магнитной индукции. По результатам расчета потери от высших гармоник индукции составляют менее 0,8% потерь от первой гармоники [4].

Суммарные тепловые потери на перемагничивание и гистерезис в шихтованном статорном сердечнике от всех гармоник индукции магнитного поля составили 123,13 Вт.

ВЫВОДЫ

1. Выбран метод сопряжения конформных отображений для расчёта магнитного поля быстродействующего ВДПМ.

2. Проведён расчёт магнитной индукции в ЭУ шихтованного статорного сердечника в режиме номинальной нагрузки, что позволяет анализировать распределения магнитного поля в воздушном зазоре и сердечниках ВДПМ для выбора более оптимальной магнитной системы

Список литературы

1. Коков Е.Г., Жибинов А.С., Гейнц Э.Р., Цехместрюк Г.С. Магнитное поле и ЭДС малоинерционных магнитоэлектрических машин // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320.,№ 4. – С. 158-162.

2. Каган В.Г. Электроприводы с предельным быстродействием для систем воспроизведения движений. – М.: Энергия, 1975.

3. Афанасьев А.А., Воробьёв А.Н. Расчёт магнитного поля магнитоэлектрического вентильного двигателя методом сопряжения конформных отображений // Электричество., 1994, № 1. – С. 40-49.

4. Афанасьев А.А. и др. Малоинерционный высокоскоростной магнитоэлектрический беспазовый вентильный двигатель // Электричество., 2007, № 4. – С. 28-35.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКОЙ

Кодермятов Р.Э., Самодуров И.Н.
Научный руководитель: Мартемьянов В.М. к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kodermyatovra@mail.ru

При проектировании моментного двигателя с ленточной намоткой [1,2] встает вопрос об оптимальном выборе параметров активного элемента, который представляет собой намотанную на тонкостенную гильзу (элемент корпуса двигателя) ленту из электропроводящей фольги, покрытым изоляционным материалом. На ленте поочередно с двух её боковых сторон выполняются узкие вырезы, которые при намотке образуют в активном элементе боковые пазы. Расстояние между центрами получающихся боковых пазов равно полюсному делению магнита ротор. Элемент ленты между смежными вырезами можно рассматривать и исследовать как отдельную пластину, результаты измерения которые переносятся и на все остальные. При подключении к ленте источника тока характер протекания последнего определяется наличием в ленте боковых вырезов. Поперечные составляющие тока, взаимодействия с полем постоянного магнита, вызывают появление сил, создающих момент относительно оси вращения ротора моментного двигателя. Создаваемый таким двигателем момент зависит от числа полюсов магнита ротора; радиуса центра зазора, в котором помещена ленточная намотка; числа наложенных друг на друга пластин (витков намотки); силы, которая создается поперечным током в одной пластине. Так как рассматриваемый двигатель является магнитоэлектрическим, то упомянутая сила определяется следующим образом:

$$F(l, I, B) = I_y \cdot l \cdot B(\delta), \qquad (1)$$

где: I_y – сумма поперечных компонент тока, находящихся в зоне действия магнитного потока;

l – параметр, характеризующий геометрию пластины;

B(δ) – индукция магнитного потока, зависящая от величины немагнитного зазора S.

Необходимо отметить, что «поперечный» ток I_y линейно зависит от тока I, протекающего по ленточной намотке:

$$I_y = \gamma \cdot I$$

В данном случае коэффициент γ определяется как геометрическими пропорциями пластины (элемента намотки), так и положением источника магнитного поля относительно пластины.

В работе [3] показано, что закон изменения индукции в зазоре может быть представлен в виде выражения:

$$B(\delta) = a + b \cdot \delta + c \cdot \delta^2, \qquad (2)$$

где: a, b, c – коэффициенты аппроксимации, получаемый при анализе результатов эксперимента.

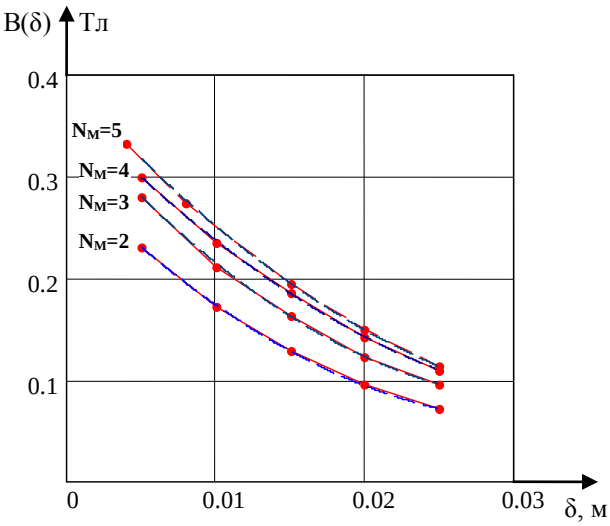


Рисунок Зависимость индукции от длины зазора

На рисунке приведены экспериментальные и аппроксимационные кривые, полученные при исследовании магнитных цепей с различным количеством постоянных магнитов [3].

Величина зазора, в котором размещен активный элемент (ленточная намотка), определяется выражением:

$$\delta = d \cdot N + \Delta_M, \qquad (3)$$

где: d – толщина ленты с учетом изоляции;

Δ_M – механический воздушный зазор;

N – число витков ленты в намотке.

С учетом замечаний, сделанных выше, выражение для момента, развиваемого двигателем, будет иметь следующий вид:

$$M = F \cdot N \cdot 2 \cdot p \cdot r =$$

$$= \gamma \cdot I \cdot l \cdot B(\delta) \cdot N \cdot 2 \cdot p \cdot r = k \cdot I \cdot N \cdot B(\delta),$$

где: $k = 2 \cdot \gamma \cdot l \cdot p \cdot r$;

p – число пар полюсов;

r – радиус центра зазора.

Если учесть выражения (2) и (3), момент двигателя запишется в виде:

$$M = k \cdot I \cdot N \cdot [a + b \cdot (d \cdot N + \Delta_M) + c \cdot (d \cdot N + \Delta_M^2)] = 0 \quad (4)$$

Встает задача определить, при каком количестве N витков намотки можно получить наибольшую величину развиваемого момента. Предположим, что источник питания позволяет при различном числе витков намотки обеспечить один и тот же ток I, который при дальнейших выкладках будем считать постоянной величиной. В предположении, что толщина ленты d достаточно малая величина, можно считать выражение для индукции $B(\delta) \equiv B(N)$ непрерывной функцией. В этом случае применяем традиционные методы математического анализа и определяем экстремум функции $M(N)$:

$$\frac{dM}{dN} =$$

$$k \cdot I[3 \cdot c \cdot d^2 \cdot N^2 + 2 \cdot d \cdot (b + 2 \cdot c \cdot \Delta_M) \cdot N + (a + \Delta_M + c \cdot \Delta_M^2)] = 0 \quad (5)$$

Из выражения (5) следует квадратное уравнение:

$$N^2 = \frac{2 \cdot (b + 2 \cdot c \cdot \Delta_M)}{3 \cdot c \cdot d} \cdot N + \frac{a + b \cdot \Delta_M + c \cdot \Delta_M^2}{3 \cdot c \cdot d^2} = 0,$$

корни которого N_1, N_2 дают информацию о количестве витков намотки, при котором момент двигателя имеет максимальное значение при заданном токе I.

Учитывая реальные значения параметров, можно показать, что полученное квадратное уравнение запишется в виде:

$$N^2 + \frac{2 \cdot b}{3 \cdot c \cdot d} \cdot N + \frac{a + b \cdot \Delta_M}{3 \cdot c \cdot d^2} = 0 \quad (6)$$

Приближенное значение одного из корней этого уравнения, удовлетворяющее условию, что магнитная индукция лежит в интервале её аппроксимации, имеет вид:

$$N_1 = -\frac{a}{2 \cdot b \cdot d} \quad (7)$$

Значение числа витков намотки, при котором наблюдается максимальная величина момента, определяемое выражением (7) положительно, так как коэффициент b аппроксимационного выражения (2) отрицателен.

Как видно из этого выражения, число витков определяется первыми двумя коэффициентами аппроксимационного выражения (2) и толщиной ленты.

Величина зазора, определяемая выражением (3), будет иметь значение:

$$\delta_1 = d \cdot N_1 + \Delta_M = -d \cdot \frac{a}{2 \cdot b \cdot d} + \Delta_M = -\frac{a}{2 \cdot b} + \Delta_M \quad (8)$$

а индукция, описываемая (2), запишется как:

$$B_1 = a + b \cdot \left(-\frac{a}{2 \cdot b} + \Delta_M\right) + c \cdot \left(\frac{a}{2 \cdot b} + \Delta_M^2\right) = \frac{a}{2} + b \cdot \Delta_M + c \frac{a^2}{4 \cdot b^4} + \frac{a \cdot c}{b} \cdot \Delta_M + c \cdot \Delta_M^2 \approx \frac{a}{2} + b \cdot \Delta_M + \frac{a^2 \cdot c}{4 \cdot b^2}$$

Зная число витков намотки N_1, можно по выражению (3) определить величину зазора δ, по выражению (2) – величину индукции B, а также развиваемый двигателем момент (4).

Если учесть, что сопротивление одной пластины R_0, то полное сопротивление намотки определяется как:

$$R = R_0 \cdot 2 \cdot p \cdot N_1,$$

а напряжение источника питания необходимо выбирать из условия:

$$U = I \cdot R = 2 \cdot I \cdot p \cdot R_0 \cdot N_1$$

Важной для работы моментного двигателя является величина потребляемой от источника мощности.

$$P = U \cdot I = 2I^2 \cdot p \cdot R_0 \cdot N_1.$$

Часто характеристики моментного двигателя выражаются относительными величинами, в частности удельным моментом:

$$M_{уд_1} = \frac{M_1}{P} = \frac{\gamma \cdot I \cdot l \cdot B_1 \cdot N_1 \cdot 2 \cdot p \cdot r}{2 \cdot I^2 \cdot p \cdot R_0 \cdot N_1} = \frac{\gamma \cdot l \cdot r}{I \cdot R_0} \cdot \left(\frac{a}{2} + b \cdot \Delta_M + \frac{a^2 \cdot c}{4 \cdot b^2}\right) \quad (9)$$

Список литературы

1. Моментный двигатель: Патент РФ №2441310. МПК H02K 26/00 /В.М. Мартемьянов, А.Г. Иванова. Заявлено 10.08.2010; Опубликовано 27.01.12 Бюллетень №3 6с.

2. В.М., Мартемьянов, А.Г. Иванова. Активный элемент моментного двигателя // Контроль. Диагностика. 2011. Специальный выпуск с. 109-111.

3. А.Г. Иванова Характеристики активного элемента моментного электродвигателя // Современные техника и технологии: Сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференция студентов, аспирантов и молодых ученных в 3т. Томск, 9-13 апреля 2012.- Томск, ТПУ, 2012 – т.1 – с.361-362

МОДАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРЕХФАЗНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Коротков М. Ф., Пахомов А. Н.
Научный руководитель: В. И. Пантелеев, д.т.н., профессор
Сибирский Федеральный университет, 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: hamsterboo@mail.ru

В системах электроснабжения различных потребителей для питания установок электропривода переменного тока широко используют полупроводниковые преобразователи частоты и инверторы напряжения. Для достижения высокого качества электрической энергии на выходе таких преобразователей применяют различные виды широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Снабдив систему преобразователь частоты с автономным инвертором напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ПЧ с АИН с ШИМ) – асинхронный двигатель (АД) модальным регулятором, построенным на основе суммирования обратных связей по вектору состояния, возможно обеспечить предельное быстродействие и точность в динамических режимах работы.

Рассмотрим методику синтеза модального регулятора системы ПЧ с АИН с ШИМ – АД. Расчет коэффициентов модального регулятора и проверка работы системы производится в несколько этапов. В дополнение к [4] настоящая методика синтеза и исследования позволяет учесть модель ПЧ с АИН с ШИМ вместо статического коэффициента $k_{\text{п}}$.

1. Построение математической модели объекта управления. За основу взята математическая модель АД с учетом общепринятых допущений [2, 3] в декартовой системе координат *u-v*, вращающейся с произвольной скоростью ω_k. Системы уравнений приведены в [4].

Синтез модального регулятора производится для двух контуров регулирования: потокосцепления и скорости ротора АД.

ПЧ с АИН с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения имеет лучшие формы напряжения и тока и более высокий коэффициент мощности, в сравнении с другими видами ПЧ с автономными инверторами.

В состав ШИМ входят (рис. 1):

- генератор опорного напряжения (ГОН) вырабатывающий напряжение пилообразной формы;
- пороговое устройство (ПУ), дающее сигнал минимального уровня (нулевой сигнал) при разнице опорного и напряжения управления $(U_{on} - U_y) > 0$ и сигнал максимального уровня (единичный сигнал) при $(U_{on} - U_y) < 0$;
- формирователь управляющих импульсов (ФУИ), преобразующий сигналы ГОН и ПУ в соответствующие управляющие импульсы для силовых вентилей коммутатора.

Широтно-импульсный модулятор преобразует входную координату - напряжение управления во внутреннюю координату - скважность включения вентилей (γ).

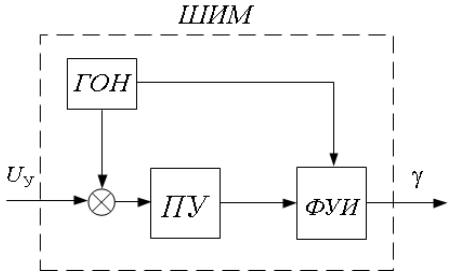


Рисунок 1 – Структурная схема ШИМ

Поскольку в ПЧ с АИН с ШИМ автономный инвертор формирует не только частоту, но и амплитуду выходного напряжения, влияние звена постоянного тока на динамические свойства системы при синтезе можно не учитывать. В основу математического описания АИН с ШИМ положена схема замещения инвертора с углом проводимости вентилей $\lambda = \pi$. Допущения, принятые для математического описания автономного инвертора напряжения как элемента системы автоматического управления:

- все вентили инвертора - идеальные ключи;
- время переключения вентилей равно нулю;
- влияние контуров коммутации на форму выходного сигнала напряжения АИН не учитывается.

Используем систему координат *u-v*, вращающуюся со скоростью ω_k вращения магнитного поля и ориентированную по вектору потокосцепления ротора. Матрицы динамики и входа канала регулирования потокосцепления ротора, для обоих каналов регулирования приведены в [4].

В матрице входа используется коэффициент передачи ПЧ АИН с ШИМ $k_{\text{п}}$, который определяется отношением амплитуд основной гармоники выходного напряжения АИН и выходного сигнала регулятора.

2. Расчет модальных регуляторов. Синтез регуляторов производится отдельно для двух каналов управления: канала регулирования потокосцепления ротора АД и канала регулирования скорости АД.

Определение коэффициентов модального регулятора выполняется методом стандартных уравнений в нормированной форме [1]. Векторы коэффициентов модального регулятора (K_{11}; K_{12}) и (K_{21}; K_{22}) для обоих каналов регулирования приведены в [4].

3. Имитационное моделирование замкнутой системы электропривода. Проверим эффективность приведенной методики при помощи пакета имитационного моделирования *Matlab* фирмы *The MathWorks, Inc*. На рис. 2 приведена соответствующая структурная схема замкнутой системы асинхронного электропривода во вращающейся со скоростью магнитного поля системе координат.

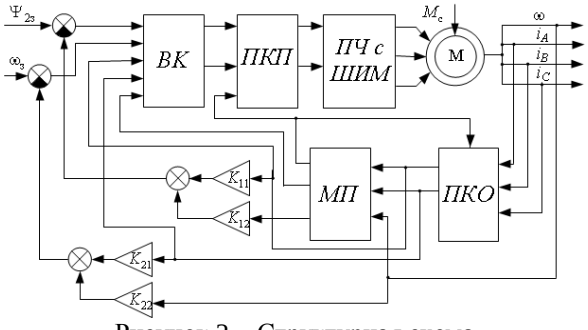


Рисунок 2 – Структурная схема

В структурной схеме приняты следующие обозначения: *М* – модель трехфазного АД; *ВК* – блок компенсаций перекрестных связей по току статора; $\Psi_{2з}$ и $\omega_з$ – заданные значения потокосцепления и скорости ротора АД; K_{ij} – коэффициенты модального регулятора; ω, Ψ_2 – скорость, электромагнитный момент, потокосцепление ротора АД; ПКП, ПКО - преобразователи координат прямого и обратного каналов; МП - модель потока.

МП описывается следующими уравнениями:

$$F = \frac{L_m}{T_2 p + 1} i_x, \quad \omega_0 = \frac{k_2 R_2 i_x}{|\Psi|} = \frac{L_m i_x}{T_2 |\Psi|}.$$

На рис. 3 изображены графики переходных процессов в исследуемой модели. Сначала подается задание на потокосцепление ротора АД, которое успешно отрабатывает канал регулирования потокосцепления, после чего производится скачек задания на скорость вращения ротора и включается в работу второй канал. И, наконец, на третьем участке осуществляется моделирование наброса нагрузки на валу АД.

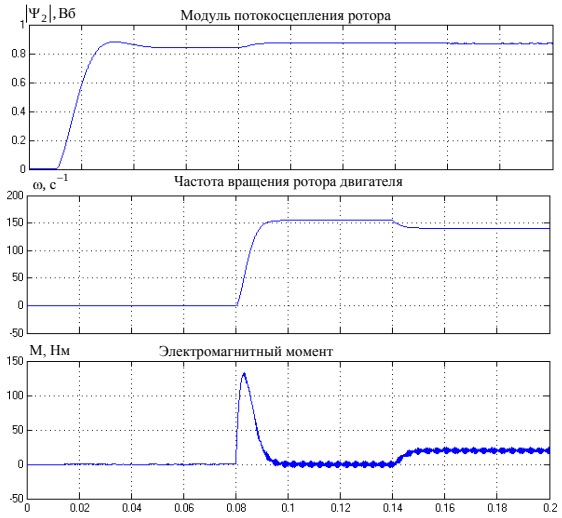


Рисунок 3 – Графики переходных процессов

На рис. 4 изображены графики выходного напряжения ($U_{ВЫХ}$) ПЧ с ШИМ по трем фазам с напряжением управления поступающим на вход этого блока.

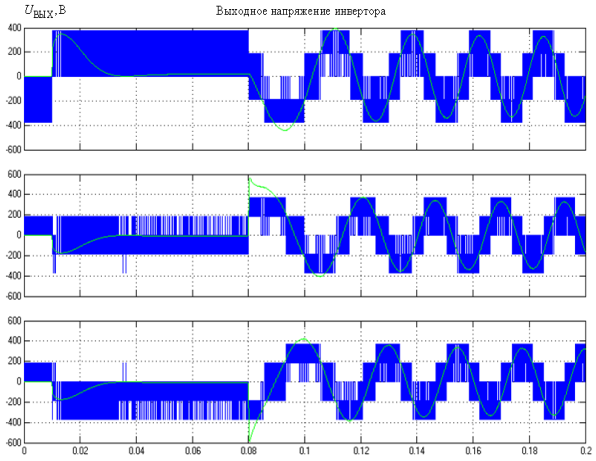


Рисунок 4 – Графики выходного напряжения ПЧ с ШИМ

Характер переходных процессов соответствует заданным настройкам. Следовательно, регуляторы позволяют обеспечить требуемый уровень скорости и потокосцепления.

Основными результатами работы является получение уравнений состояния для двух каналов управления (канал регулирования потокосцепления ротора АД и канал регулирования скорости АД) и синтез двух модальных регуляторов стабилизации потокосцепления и скорости.

Библиографические ссылки

1. Терехов В. М. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов; Под ред. В. М. Терехова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.

2. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. Заведений / Г. Г. Соколовский. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.

3. Карагодин М. С. Уравнения динамики частотно-управляемых электроприводов: учеб. пособие / М. С. Карагодин, А. А. Федоренко. – КрПИ: Красноярск, 1985. – 92 с.

4. Коротков, М. Ф. Методика проектирования модального регулятора векторной системы асинхронного электропривода / М. Ф. Коротков, А. Н. Пахомов // Современные техника и технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. - 581 с.

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСА

И.Ю. Михайлов, А.Л. Федянин
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский Политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mihaylov_iy@mail.ru

Большая часть городского общественного транспорта (городских пассажироперевозок) в данный момент представлена электрическим транспортом. Под электрическим транспортом понимается механическое устройство, использующее электрическую тягу. К ним относятся троллейбусы, трамваи, метро и т.д. Выход из рабочего состояния этой техники влечет за собой ощутимый отрицательный экономический эффект. Для снижения экономических потерь и повышения срока эксплуатации электротранспорта, необходимо получить сведения об эксплуатационной надежности, на основании которых разработать предписания о более корректной эксплуатации оборудования электротранспорта, а также составить методические указания по продлению срока службы [1].

Величины, характеризующие надежность (показатели надежности) конкретного аппарата или технологической системы, носит вероятностный характер. Это значит, что тот или иной показатель надежности справедлив лишь по отношению к большому числу образцов, либо к одному образцу, но при условии, что наблюдение за ним ведется так долго, что имеется возможность наблюдать большое число отказов.

Вероятностный характер показателей надежности обусловлен тем, что большую часть своего срока службы технический объект находится на этапе нормальной работы, когда отказы происходят внезапно, т.е. носят случайный характер.

Однако и на этапе износа и старения, несмотря на то что приближение отказа того или иного объекта можно предвидеть (т. е. он носит не случайный, а закономерный характер), самый момент отказа точно предсказать невозможно, а это означает, что время безотказной работы так же, как и на этапе нормальной работы, является случайной величиной. Таким образом, процесс появления отказа является случайным событием.[2, 3]

Цель данной работы состоит в определении фактических значений показателей безотказности, характеризующих эксплуатационную надежность электрооборудования троллейбуса на стадии эксплуатации.

Исходя из этого, произведем расчет надежности электрооборудования троллейбуса АКСМ-321. АКСМ-321 — белорусский низкопольный троллейбус большой вместимости для внутригородских пассажирских перевозок, производящийся с 2001 на Белкоммунмаше. Относится к третьему поколению троллейбусов, разработанных заводом. АКСМ-321 - базовая модель с транзисторной системой управления на IGBT-модулях и двигателем переменного тока.

На данный момент Томское трамвайно-троллейбусное управление насчитывает 48 единиц этого вида. Исходя из этого, а также статистики об отказах оборудования вероятность безотказной работы P_i каждого элемента по формуле

$$P(t)=1-\frac{n(t)}{N_0},$$

где n(t) – число отказавших образцов в интервале времени;

N_0 – общее число рассматриваемых изделий;

Учитывая большую величину влияющих параметров, принимаем нормальный закон распределения, согласно которому:

$$P(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx \qquad (1)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение и $\bar{x}$ - среднее значение, рассчитываются по формулам [2]:

$$\bar{x}=\frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \qquad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}} \qquad (3)$$

x_i – измеренное значение на i-ом шаге;

n – число измерений параметра.

Физическая величина, подвержена влиянию значительного числа независимых факторов, способных вносить с равной погрешностью положительные и отрицательные отклонения, вне зависимости от природы этих случайных факторов. При расчете эксплуатационной надежности электрического двигателя используют нормальный закон распределения, пользуясь формулами 2, 3 и 4 рассчитаем вероятность безотказной работы узлов деталей и деталей троллейбуса. Полученные данные сравним данным статистического анализа.

Вероятность безотказной работы (ВБР), исходя из нормального закона распределения случайных величин, полученные данные приведем в таблице.

Таблица – Количественные показатели надежности оборудования троллейбуса

Наименование элемента	**P(t) (стат)**	**P(t) (норм)**	**T, ч**
Двигатель компрессора	0.5954	0.5757	4250
Контакторы (на один контакт)	0.0433	0.0852	379
Датчик тока утечки	0.7251	0.7198	6352
Двигатель гидроусилителя руля	0.4589	0.4657	3274
Тяговый двигатель	0.6052	0.6873	5302
Дроссели	0.5405	0.5489	4735
Интегральные схемы	0.0115	0.0985	101
Конденсаторы	0.9691	0.9594	8489
Транзисторы, германиевые кремниевые	0.8820	0.08698	7726
Резисторы, металлопленочные	0.9991	0.9991	8752
Рессоры подвески	0.7959	0.7428	7848
Осветительные приборы наружные	0.6829	0.6584	5982
Осветительные приборы внутренние	0.4329	0.4859	3792
Двигатель вспомогательный открытия дверей	0.8168	0.8067	6367
Токоприемники	0.8619	0.8957	7550
Световая и звуковая сигнализация	0.5151	0.5459	4512
КИПиА	0.7924	0.7528	6941
Преобразователь напряжения	0.8957	0.8469	7846

В таблице приведены результаты расчета ВБР по формуле (1) и для определения нормального закона распределения по формуле (2) для всех элементов троллейбуса.

На рис. 1 представлен график распределения ВБР в течение 2012 года для тягового двигателя. Данные показатели являются низкими величинами, что связано с высокими значениями интенсивности отказов некоторых отдельных элементов. На данном графике видно, что ВБР уменьшается в зимнее время года, начиная с ноября. Это связано с понижением температуры, повышенной влажностью и наибольшей вероятности обледенения. Наименьшая вероятность безотказной работы в декабре и январе – наибольшая вероятность замерзания компрессора и обледенения контакторов, начиная с февраля, ВБР постепенно увеличивается.

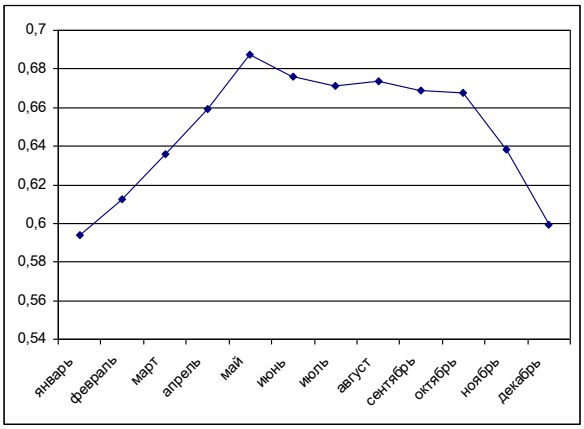


Рис. 1. Распределение ВБР тягового двигателя в течение 2012 года

Выводы:

1. Систематизированы элементы структуры троллейбуса. Получены количественные значения показателей надежности, средняя наработка на отказ и вероятность безотказной работы.
2. Для всех элементов троллейбуса можно применять нормальный закон распределения.
3. Количественные показатели надежности будут использованы для определения оптимальной периодичности замены отдельных элементов деталей и узлов, а также при проектировании и изготовлении электрооборудования.

Список литературы

1. Михайлов И.Ю., Федянин А.Л. Особенности эксплуатации электрооборудования троллейбуса//Современные техника и технологии: Труды XVIII Междунар. Научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2012. – Т.1. – С425-426.
2. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов. – М: Издательский дом МЭИ,2006.- 432 с.
3. Обеспечение надежности асинхронных двигателей / Захарченко П.И., Ширнин Е.Г., Ванеев Б.Н., Гостищев В.М. Донецк: УкрНИИВЭ, 1998. – 324 с.

ВЛИЯНИЕ СОСЕДНИХ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС

Морозов А.Л.,
Научный руководитель: Лавринович В.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: rudnicms@sibmail.com

Существует проблемы, связанные с диагностикой механического состояния обмоток трансформаторов [1]. Для диагностики обмоток трансформатора используется метод низковольтных импульсов, который считается наиболее перспективным. Аналогичная проблема существует и для электродвигателей, но литературы по диагностике состояния обмоток электродвигателей недостаточно. Например, отсутствуют данные по скорости распространения электромагнитной волны по обмотке электродвигателя. Для электродвигателей эта проблема осталась открытой, так как в пазу электродвигателя обмотки имеют несколько параллельных проводников и неизвестно, как соседние проводники оказывают влияние на распространение электромагнитной волны, что затрудняет построение адекватной схемы замещения обмотки машины. Нами была предпринята попытка исследовать этот процесс.

Электрическая схема замещения обмотки электродвигателя при прохождении через нее прямоугольного импульса представлена на рис.1.

Для исследования этого процесса была создана физическая модель обмотки электродвигателя (рис. 2). В модели присутствует стальной сердечник М, изолированный слоем бумаги В толщиной 0,25 мм, на который намотаны, пять проводников S.

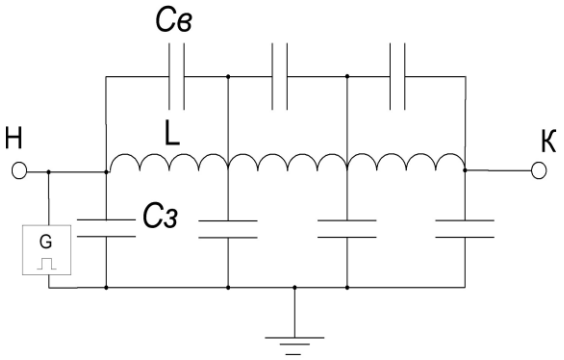


Рис. 1. Электрическая схема обмотки: $C_в$ – межвитковая емкость; $C_з$ – емкость между землей и обмоткой; L-индуктивность части обмотки; H и K – начало и конец обмотки, G – генератор прямоугольных импульсов

Модель состоит из нескольких параллельных проводников, на один из которых подается импульс от генератора низковольтных импульсов, который подключается к началу обмотки.

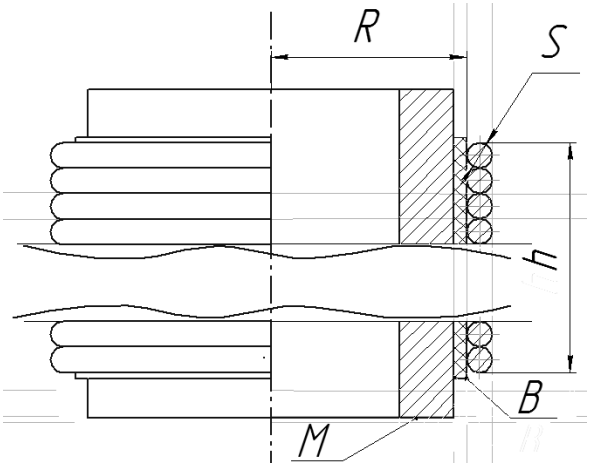


Рис. 2. Эскиз модели: R – радиус витка, S – диаметр провода, h – высота намотки

Эксперименты проводились на трех моделях. В модели 1: общее число витков N_1=56 материал сердечника – сталь S=0,75 мм, R=45.13 мм, 4 параллельных проводника; в модели 2: N_2=14, S=0,75 мм; R=45.13 мм, материал сердечника – сталь, один проводник; в модели 3: N_3=95, S=0,5 мм; R=40.1 мм, материал сердечника – алюминий, один проводник. Форма импульса, подаваемого от генератора, представлена на рис. 3.

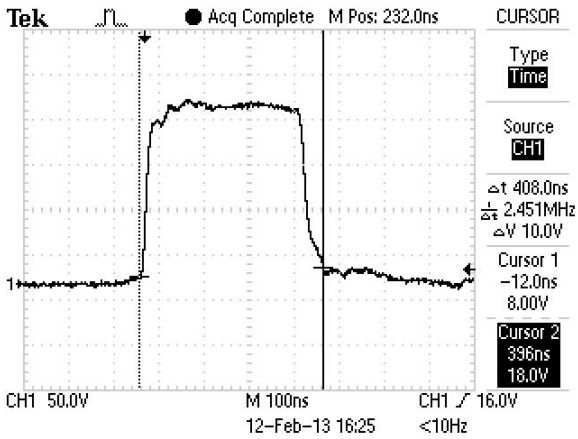


Рис. 3. Форма импульс генератора на холостом ходу

Измерялось время прохождения импульса по обмотке осциллографом типа Тектроникс, а емкости и индуктивности (рис. 1) прибором Актаком АМ-3001 АЕ. Данные измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1. Экспериментальные данные

№ п/п	Осциллограф		Актаком АМ-3001 АЕ					
	l=3,97 м для стали *l*=23.69 м для алюминия		100 Гц			100 кГц		
	t, нс	V, м/с	L, мкГн/м	$C_з$, пФ/м	$C_в$, пФ/м	L, мкГн/м	$C_з$, пФ/м	$C_в$, пФ
Модель 1	20,4	1,94e+08	12,9	165,2	118,2	1,5	158,2	110,9
Модель 2	22	1,8e+08	24,5	39,6	–	4,2	37,1	–
1 виток сталь	–	–	–	–	157,0	–	–	153,5
Модель 3	92	2,58e+08	61,6	44,7	–	3,5	42,5	–

t – время прохождения импульса,
l – длина провода.
V – скорость электромагнитного импульса.

Ниже представлена осциллограмма фронта импульса.

Из табл. 1 видно, что индуктивность с увеличением частоты уменьшается, это связано с тем, что магнитная проницаемость материала падает при увеличении частоты. В моделях 1, 2 емкость между землей и обмоткой отличны друг от друга, так как в модели 1, в которой емкости между параллельными проводниками намного больше, чем емкости между обмоткой и землей, и поэтому количество параллельных емкостей между землей и обмоткой больше.

Скорость прохождения импульса определялась по времени прохождения импульса по обмотке. Полученные осциллограммы приведены на рис. 4, 5.

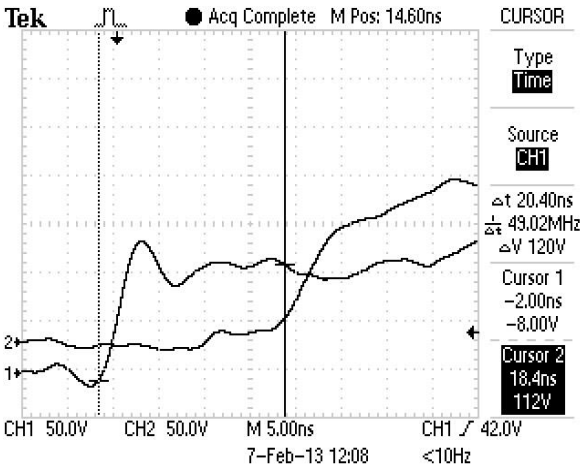


Рис. 4. Осциллограммы для модели 1

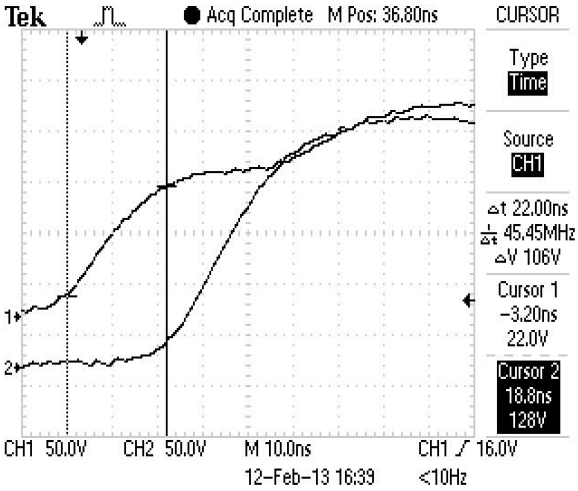


Рис. 5. Осциллограммы для модели 2

Полученные результаты показывают, что наличие соседних витков увеличивает скорость прохождения волны вдоль обмотки примерно на 10 %. Замеренная скорость распространения электромагнитной волны зависит от материала сердечника. Например, замена стали на алюминий увеличивает скорость волны в 1.4 раза.

Список литературы

1. Диагностика обмоток силовых трансформаторов методом низковольтных импульсов/ С.В. Аликин, А.А. Дробышевский, Е.И. Левицкая и др. // Электротехника «Энергоатомиздат» - 1991 г. - №12. – С. 30-35.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПЕРЕДАЧИ ПИТАНИЯ И ИНФОРМАЦИИ НА ПЛАТФОРМУ ТРЕХОСНОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА

Нгуен Чонг Иен
Научный руководитель: Белянин Л.Н., к.т.н, доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: trongyen_bn_87@yahoo.com

Гироскопические приборы содержат большое количество электрических элементов. Ответственной и сложной задачей при проектировании гироскопических приборов является передача электрической энергии и информации между узлами прибора, движущимися друг относительно друга. Для решения этой задачи применяются специальные устройства, называемые токоподводами. В зависимости от угла поворота, количества цепей, особенностей конструкции прибора применяют разные виды токоподводов: упругие и гибкие токоподводы применяются при малых углах поворота; а при больших углах поворота применяются контактные токоподводы (коллекторные, точечные центральные…). В отдельных случаях применяются жидкостные или бесконтактные токоподводы (трансформаторные).

На кафедре точного приборостроения ИНК ТПУ разрабатывается трехосный гиростабилизатор для проведения ортофотосъемки с легких и сверхлегких летательных аппаратов. Особенность конструкции данного гиростабилизатора заключается в том, что платформа гирастабилизатора, установленная на специальном шарикоподшипнике с большим внутренним диаметром (120 мм), имеет неограниченный угол поворота относительно промежуточной рамки карданового подвеса. В центре платформы имеется отверстие с большим диаметром для размещения в ней объектива фотокамеры. Целью настоящей работы является разработка способов и средств передачи на платформу питающего напряжения, а также передачи с платформы и на платформу управляющих сигналов для осуществления стабилизации платформы в азимуте и азимутальной коррекции. В этом случае требуются 7 цепей передачи. Применение коллекторных токоподводов становится невозможным из-за недопустимо большого момента сил сухого трения, создаваемого таким устройством. С целью уменьшения количества цепей предложено следующее техническое решение. Во первых, заменить питание гиромотора от трехфазной сети питанием его от однофазной сети переменного тока с использованием при этом фазосдвигающего конденсатора [1]. Во вторых, применить роликовый токоподвод в сочетании с токоподводом через шарикоподшипник подвеса платформы (корпусный проводник). По этой цепи одновременно передавать питающее напряжение 36 В 400 Гц и сигнал постоянного тока для управления датчиком момента с использованием разделительных конденсаторов. Датчик момент при этом перевести в режим работы на постоянном токе. В третьих, сигнал переменного тока с выхода датчика угла передавать на основание стабилизатора и, далее, на вход усилителя стабилизирующего двигателя с помощью беспроводной дистанционной системы.

Для экспериментальной отработки предложенных технических решений была создана установка, электрическая принципиальная схема которой приведена на рис.1, а внешний вид – на рис. 2.

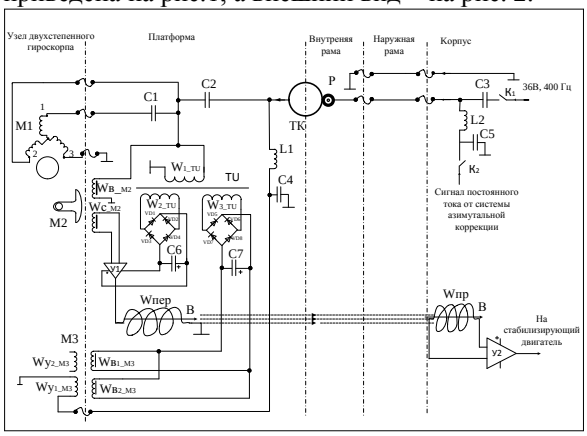


Рис.1 Электрическая схема установки

На рис.1 обозначено :M1– гиромотор типа ГУА-2Д; M2– датчик угла с обмоткой возбуждения (Wв_M2) и сигнальной обмоткой (Wc_M2); M3– датчик момента с обмотками возбуждения (Wв1_M3, Wв2_M3) и обмотками управления (Wy1_M3, Wy2_M3); C1– фазосдвигающий конденсатор ; C2, C3– разделительные конденсаторы; L1,C4 и L2,C5- фильтры низких частот; ТК– токоподводящее кольцо; Р- ролик; TU – трансформатор для создания напряжений питания датчика момента и усилителя У1; У1, У2 – усилители; VD1-VD4, VD5-VD8– мостовые выпрямители; C6, C7 – Фильтры сглаживания. Wпер,Wпр – передающая и принимающая обмотки беспроводной системы передачи; К1,К2- ключи.

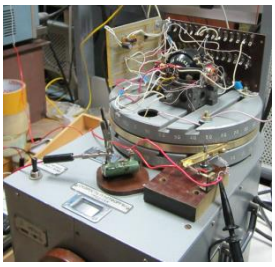


Рис.2 Внешний вид установки

Установка состоит из стенда, имеющего вращающуюся платформу. На платформе установлены: двухстепенный гироскоп; токоподводящее кольцо (ТК), трансформатор, электронные элементы. ТК, ролик (Р) и рычаг выполнены из латуни марки ЛС-59-1. Ролик установлен на подшипнике скольжения диаметром шипа 2,5мм. Ролик прижимается к кольцу с помощью рычага и пружины, давление которой регулируется винтом.

Эксперимент по определению контактного сопротивления

Идеальное токоподводящее устройство должно обеспечить нулевое контактное сопротивление при вращении. Чтобы оценить качество контакта был проведен эксперимент, электрическая схема которого приведена на рис. 3.

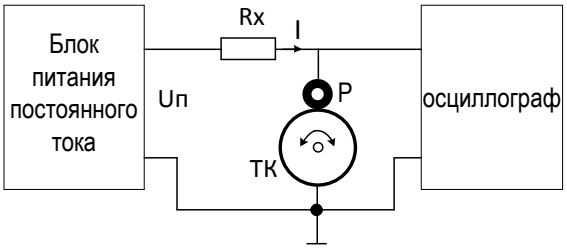


Рис.3 Схема по определению контактного сопротивления

Сущность эксперимента заключается в том, что при обеспечении постоянства тока I, падение напряжения на контактном переходе прямо пропорционально контактному сопротивлению. При разных давлениях ролика на кольцо и разных скоростях вращения кольца (ω), контактное сопротивление меняется. График изменения контактного сопротивления получается из графика изменения падения напряжения на контактном переходе с учетом коэффициента К =I.

Результаты экспериментов

При замыкании ключа К1(рис.2) были получены следующие результаты: время разгона гиромотора ГУА-2Д - $t_{\text{разгон}} = 3'25''$; общий потребляемый ток- $I_{\text{потр.}} = 0{,}22\text{А}$ падение напряжения на конденсаторе С2- $U_{C2} = 1.6\text{В}$.

При подключении схемы рис.3 к источнику питания постоянного тока($U_{\text{п}} = 62\text{В}$, $R_x = 280$ Ом) был получен ток I =0.22А=const. Эксперимент был проведен при разных значениях давления ролика на кольцо и разных скоростях вращения платформы. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 Результаты экспериментального определения контактного сопротивления

F, Гс	$Uk_{ст}$, мВ	w, град/сек	$Uk_{вр\_min}$, мВ	$Uk_{вр\_max}$, мВ	$Rk_{ст}$, мОМ	$Rk_{вр\_min}$, мОм	$Rk_{вр\_max}$, мОм	$\Delta R_{вр}$, мОМ	$Rk_{вр\_min} > Rk_{ст}$, раз	$Rk_{вр\_max} > Rk_{ст}$, раз
100	84,8	20	192	208	385,5	872,7	945,5	72,7	2,3	2,5
		60	201	217		913,6	986,4	72,7	2,4	2,6
		120	201	217		913,6	986,4	72,7	2,4	2,6
150	63,2	20	125	137	287,3	568,2	622,7	54,5	2,0	2,2
		60	129	149		586,4	677,3	90,9	2,0	2,4
		120	158	182		718,2	827,3	109,1	2,5	2,9
200	61,6	20	102	118	280,0	463,6	536,4	72,7	1,7	1,9
		60	102	122		463,6	554,5	90,9	1,7	2,0
		120	114	134		518,2	609,1	90,9	1,9	2,2
250	55,2	20	98	114	250,9	445,5	518,2	72,7	1,8	2,1
		60	96	120		436,4	545,5	109,1	1,7	2,2
		120	111	131		504,5	595,5	90,9	2,0	2,4
300	56	20	94	106	254,5	427,3	481,8	54,5	1,7	1,9
		60	110	122		500,0	554,5	54,5	2,0	2,2
		120	110	126		500,0	572,7	72,7	2,0	2,3
350	52	20	92	104	236,4	418,2	472,7	54,5	1,8	2,0
		60	100	112		454,5	509,1	54,5	1,9	2,2
		120	107	119		486,4	540,9	54,5	2,1	2,3

В таблице 1 обозначено: F – давление ролика на кольцо; ω - скорость вращения платформы; $U_{k_{ст}}$, $R_{k_{ст}}$ - падение напряжения на контакте и контактное сопротивление в статике; $U_{k_{вр\_min}}$, $U_{k_{вр\_max}}$, $R_{k_{вр\_min}}$, $R_{k_{вр\_max}}$- max и min падения напряжения на контакте и контактное сопротивление при вращении платформы.

Полученные результаты показывают, что $R_{k_{ст}}$ и $R_{k_{вр}}$ отличаются в 1,7÷2,6 раз. При вращении платформы контактное сопротивление колеблется в пределах от 50÷100 мОм. Было отмечено, что чем больше F, тем меньше R_k и чем меньше скорости ω, тем лучше качество контакта при одном и том же значении F. Для примера, на рис.4 представлен график изменения контактного сопротивления при F=350Гс, ω=20 град/сек, при этом коэффициент К=I=0,22А.

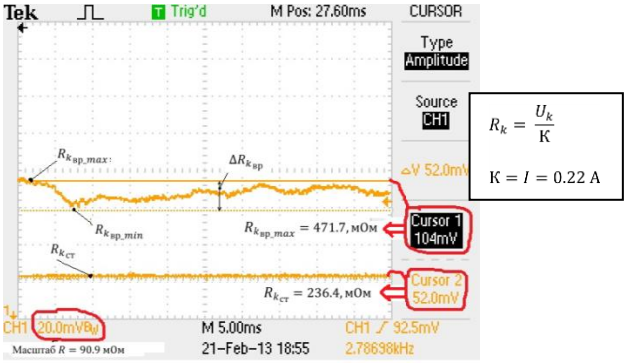


Рис.4 График изменения контактного сопротивления

Заключение

Результаты экспериментов подтвердили правильность технических решений, принятых при реализации данного токоподводящего устройства. Анализ осциллограмм показывает, что макетный вариант удовлетворяет предъявляемым к устройству требованиям. Вместе с тем, с целью дальнейшего улучшения электрических характеристик токоподвода, а также снижения момента сил сухого трения в контакте разработана конструкция роликового токоподвода, в котором ролик установлен на шарикоподшипниках. Кроме того, передача тока на ролики осуществляется с помощью точечных центральных токоподводов. С целью исключения радиальной нагрузки на шарикоподшипник подвеса платформы, а также дополнительных улучшений всех характеристик токоподвода принято решение о применении двух роликовых токоподводов, включенных параллельно. При этом ролики расположены симметрично относительно оси вращения платформы.

Список литературы

1. Нгуен Чонг Иен, Ву Доан Кет. Питание трехфазного асинхронного гиромотора от однофазной сети. Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 426 с.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА НА БАЗЕ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ

М.С. Плеханов
Научный руководитель: А.Н. Голиков, доцент
Томский Политехнический Университет, 634050, Россия г. Томск, пр. Ленина 30

Разработка и производство малогабаритных электромеханических устройств для нужд авиационной и космической промышленности имеет большую значимость. Для многих устройств, устанавливаемых на подвижных объектах, необходимо обеспечить высокую точность позиционирования (оптические устройства, антенны, солнечные батареи, чувствительные элементы систем ориентации и навигации), которую на сегодняшний момент могут обеспечить только механические передачи с промежуточными телами качения [1]. Преимущества использования таких механизмов в приводах заключаются в высоком КПД, минимальном мертвом ходе и высокой кинематической точности.

Многие электромеханические устройства, используемые для систем позиционирования, построены по многозвенному принципу, схема которого показана на рис.1. В этом случае двигатель и редуктор представляют собой отдельные конструктивные элементы, отвечающие принципам взаимозаменяемости. Такой принцип построения удобен при необходимости быстрой замены элемента, вышедшего из строя, позволяет применять унифицированные изделия.

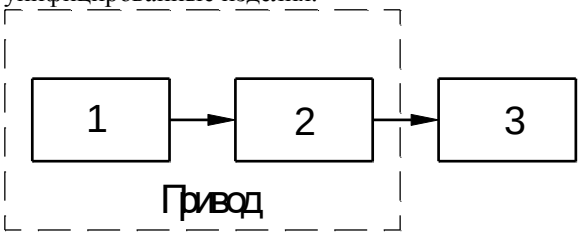


Рис. 1. Структурная схема электромеханического привода:
1 – двигатель; 2 – редуктор; 3 – исполнительный механизм

Наиболее перспективным направлением при проектировании приводов, может стать модульный принцип конструкции, применяемый для волновых и планетарных передач, показанный на рис. 2.

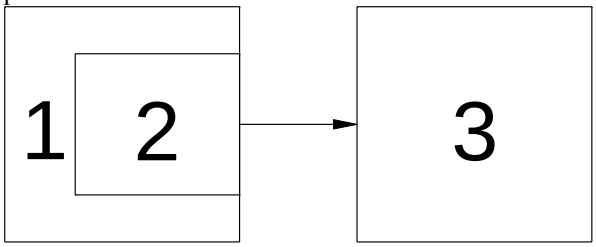


Рис. 2. Модульная структура электромеханического привода:
1 – двигатель; 2 – механическая передача;
3– исполнительный механизм

Принцип построения такого привода заключается в том, что входное звено механической передачи размещается в пространстве двигателя, и разгоняется непосредственно электромагнитным полем статора. Входное звено механической передачи одновременно является и ротором двигателя, который будет представлять собой электрическую машину с массивным ротором. Наиболее подходящими типами передач для реализации такой конструкции являются планетарные и волновые передачи с промежуточными телами качения.

За счет объединения конструкции двигателя с механической передачей, предполагается уменьшение габаритов привода в осевом размере, редукция частоты вращения ротора, повышение кинематической точности. Существующие разработки электрических машин переменного тока с массивными ферромагнитными роторами, приближают их энергетические показатели к значениям машин, изготавливаемых по традиционным схемам [2].

На рис. 3. представлена принципиальная схема модульного электромеханического привода с эксцентриковым ротором на базе механической передачи с промежуточными телами качения [3].

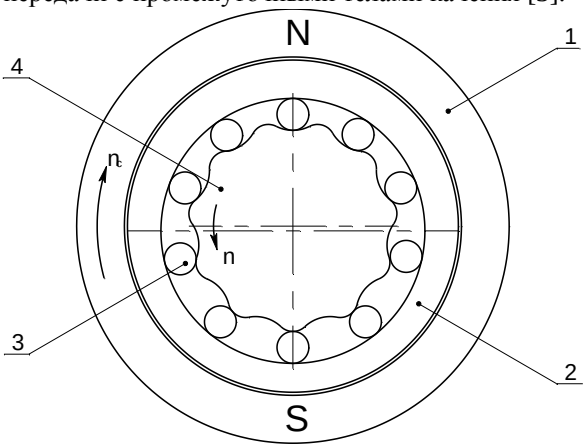


Рис. 3. Вариант с эксцентриковым ротором
1 – статор; 2 – эксцентриковый ротор–стакан;
3 – промежуточные тела качения; 4 – ротор

Статор 1 создает вращающееся магнитное поле, разгоняющее ротор 2 до номинального числа оборотов. Ротор 4 установлен соосно с осью вращения магнитного поля статора. Ротор 2 придает вращательное движение телам качения 3, радиальное перемещение которых передается профилированному ротору 4, имеющего Z зубьев, количество которых отличается от количества

тел вибрациям, шумам, разрушениям конструкции [4].

Внутренняя расточка ротора 2 имеет эксцентриситет относительно оси симметрии статора 1 и ротора 4. Геометрия профиля построена таким образом, чтобы радиальное расстояние между внутренним диаметром ротора 2 и вершинами зубьев была не менее диаметра тел качения 3, имеющих зоны постоянного контакта с роторами 2 и 4. Таким образом, данная конструкция представляет собой обращенную волновую передачу с промежуточными телами качения [3]. Тип привода как электрической машины при этом во многом зависит как от конструкции эксцентрикового ротора, так и от выбора его материала. При изготовлении ротора из конструкционных сталей, и выборе режимов термообработки, электромеханический модуль привода будет представлять собой асинхронный электрический двигатель с массивным ротором. Такие двигатели отличаются простотой изготовления, хорошими характеристиками управляемости, возможностью регулировки скорости без уменьшения коэффициента мощности, саморегулируемостью. Хорошая регулируемость такого двигателя во многом определяется формой его механической характеристики. В общем случае, вращающий момент такого двигателя определяется по формуле [4]:

$$M = \frac{m}{\omega_c} I_2^2 \frac{R_P}{\sqrt{s}}, \text{ Н·м} \qquad (1)$$

где m – число фаз статора;

ω_c – угловая синхронная скорость магнитного поля статора, рад/с;

I_2 – вихревой ток, наведенный на поверхности ротора, А;

R_p – электрическое сопротивление ротора, Ом;

s – скольжение.

Для изготовления опытного макета для отработки методик и определения характеристик необходимо:

1 Разработать точную методику расчета геометрии профиля ротора 4 и привести её к параметрам, зависящим от геометрии тел качения 3;

2 Выбрать конструкцию электромеханического модуля;

3 Произвести селекцию материалов роторов 2 и 4, сформировать требования к технологическим процессам;

4 Произвести селекцию унифицированных двигателей (для подбора статора с известными характеристиками);

5 Разработка конструкции статора 1 и расчет его характеристик;

Основной недостаток конструкции – неуравновешенность массы ротора 2, вызванная наличием эксцентриситета. Небаланс ротора, как известно, может привести к нежелательным последствиям

В связи с этим предпочтителен второй вариант конструкции – электродвигатель с массивным ротором, конструкция которого приведена на рис. 4. Различие в конструкциях состоит в том, что ротор–стакан устанавливается соосно со статором и выходным ротором механической передачи, имеет профилированную внутреннюю поверхность (циклоида) [5].

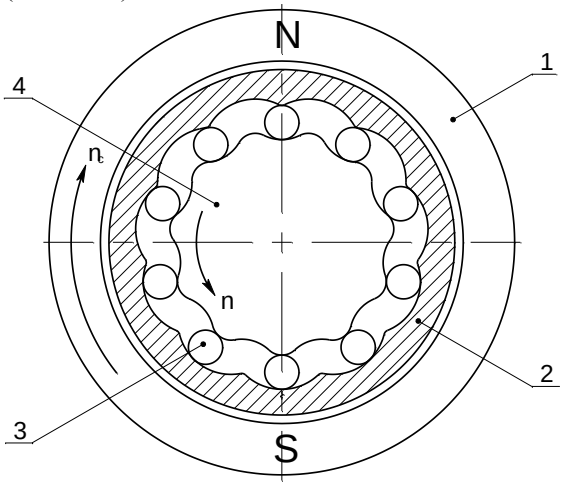


Рис. 4. Вариант конструкции с циклоидальным профилем ротора:
1 – статор; 2 – ротор–стакан; 3 – промежуточные тела качения; 4 – ротор

В случае достижения желаемых характеристик такого привода ожидается уменьшение массогабаритных характеристик, повышение кинематической точности, КПД.

Литература:

1. В. С. Янгулов. Волновые передачи с промежуточными телами (состояние, результаты и задачи)// Известия Томского политехнического университета, 2007, №2. С 14 -17.

2. В. М. Куцевалов. Асинхронные и синхронные машины с массивными роторами. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1979. – 160 с.

3. Беляев А. Е. Механические передачи с промежуточными телами повышенной точности и долговечности. Учебное пособие. Томск, изд-во ТПИ им. С. М. Кирова, 1986. – 60 с.

4. В. В. Хрущев. Электрические микромашины автоматических устройств. Л.: «Энергия», 1976. – 384 с.

5. Дифференциальный механизм. Патент WO2011127229, МПК F16H-048/00, F16H-048/12, F16H-048/12, Folino Frank, Synkinetics Inc, 07.04.2011.

СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

Плиска И.Н.
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: plis_in@mail.ru

В соответствии с энергетической стратегией России на период до 2030 года одними из главных направлений развития топливно-энергетического комплекса являются инновационность и энергоэффективность [1]. К важнейшим стратегическим инициативам относятся развитие энергосбережения и энергоэффективности газовой отрасли при транспорте газа. Кроме того, непрерывный рост стоимости энергоресурсов и себестоимости транспорта газа, его невозобновляемость в природе делают важнейшим направлением разработку и внедрение энергоэкономичных агрегатов. Одним из основных мероприятий является расширение использования электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА).

Целью данной работы является исследование структуры электроприводного газоперекачивающего агрегата и разработка на ее основе мониторинга, для обеспечения эксплуатационной надежности. К настоящему времени на компрессорных станциях (КС) ОАО «Газпром» эксплуатируется 725 ЭГПА общей мощностью 6,05 млн кВт, что составляет 14,1 % от полной установленной мощности газоперекачивающих агрегатов. Причем, более 70 % этого парка ЭГПА имеет срок службы более 15 лет, и практически все электрооборудование выработало свой ресурс [2]. В ОАО «Газпром» разработана «Программа повышения надежности работы и эффективности компрессорных станций с электроприводными газоперекачивающими агрегатами», предусматривающая поэтапную замену электрооборудования, срок эксплуатации которого превысил нормативный срок службы. Одной из тенденций в области энергосберегающих технологий является применение частотно-регулируемых электроприводов на основе асинхронных электродвигателей и полупроводниковых преобразователей частоты, снижающих потребление электрической энергии, повышающих степень автоматизации, удобство эксплуатации оборудования и качество технологических процессов.

ЗАО «РЭП Холдинг» в настоящее время является единственным предприятием в России, которое производит и собирает все компоненты автоматизированных электроприводных газоперекачивающих агрегатов нового поколения. На российском рынке предлагаются следующие основные модели ЭГПА [3]:

1. ЭГПА-4,0/8200-56/1,26-Р. Специально разработан для реконструкции шести компрессорных станций ООО «Газпром трансгаз Томск». Первый образец прошел испытания на КС «Володино» в июле 2010 г.

2. ЭГПА-6,3/8200-56/1,44-Р. Предназначен для реконструкции пяти КС ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург». Внедрен в эксплуатацию в сентябре 2011 года и на апрель 2012 года в опытно-промышленной эксплуатации на КС-3 «Смоленск» наработал более 8600 часов.

На рассматриваемой компрессорной станции используют агрегат типа ЭГПА-4,0/8200-56/1,26-Р, который состоит из центробежного нагнетателя (ЦБН) типа 220-11-1СМП мощностью 4 МВт оснащенный системой газодинамических уплотнений (рис.1).



Рис. 1. Центробежный нагнетатель типа 220-11-1СМП

В работе нагнетателя не используется масло, что минимизирует эксплуатационные расходы. Нагнетатель обеспечивает заданную степень повышения давления, регулируемого электроприводом в составе высокоскоростного асинхронного электродвигателя (АД) и трехфазного полупроводникового преобразователя частоты (ППЧ). ЦБН соединен с электродвигателем, без использования повышающего редуктора, напрямую через компенсирующую пластинчатую муфту производства «FLENDER», Германия.

Данный трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором мощностью 4 МВт разработан компанией Siemens, а так же изготавливается ООО «Сименс Электропривод» г. Санкт Петербурга (рис. 2). Особенностью строения двигателя является цельный стальной ротор с пазами, в которых размещается медная короткозамкнутая обмотка, закрепленная термодиффузионной сваркой. Бесконтактный подвес ротора двигателя в управляемом магнитном поле обеспечивают магнитные подшипники.



Рис. 2. Трехфазный асинхронный двигатель

В АД установлены два радиальных подшипника. Аксиальный подшипник установлен на нагнетателе. Роторная часть подшипников представляет собой шихтованные втулки из электротехнической стали, насаженные на вал двигателя. Статорная часть подшипника представляет собой многополюсный статор электрической машины. В пазах статора уложена обмотка, сгруппированная в два канала управления, ориентированных взаимно перпендикулярно. Каждый статор содержит статорную часть датчика радиального и аксиального положения ротора, представляющий собой систему катушек (рис. 3).

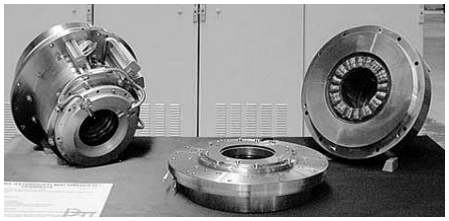


Рис. 3. Подшипники активного магнитного подвеса

Для предотвращения повреждений статорных и роторных поверхностей при обесточивании обмоток магнитного подшипника предусмотрены страховочные шариковые подшипники. Рабочий зазор магнитных подшипников составляет 0,6 мм, а страховочных – 0,2 мм. Следовательно, падение ротора, при номинальной частоте вращения (8200 об/мин), повлечет за собой ревизию частей оборудования с возможной заменой только страховочных подшипников.

Для обеспечения заданных режимов работы и регулирования основных параметров газоперекачивающего агрегата, разработана «Система автоматического регулирования ЭГПА» (САУ ЭГПА), которая является локальной подсистемой автоматического управления технологическим процессом компрессорного цеха, обеспечивающей как полностью автономную работу ЭГПА, так и работу в составе компрессорной станции под управлением систем диспетчерского уровня.

В состав каждого агрегата входят датчики контролирующие параметры работы ЭГПА. Для получения данных значений параметров асинхронного двигателя в процессе эксплуатации необходимо использование мониторинга, схема которого представлена на рис. 4. Схема показывает, что основными средствами технической диагностики АД являются температура и вибрация. Отслеживание и регистрация данных параметров позволит создать математическую модель мониторинга и диагностики асинхронных двигателей газоперекачивающих агрегатов.

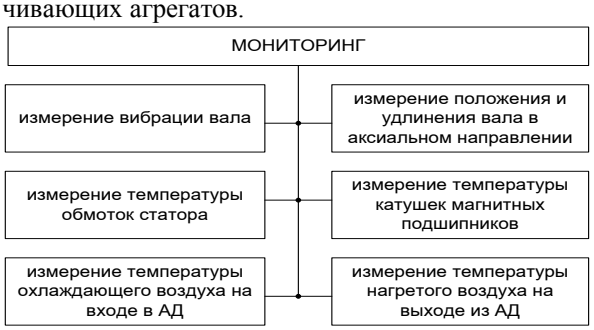


Рис. 4 Схема мониторинга

Внимательное проведение регламентных работ, и осмотров позволяет, обнаружить любой дефект и устранить его на ранней стадии, до того как он станет серьезным повреждением. Таким образом, обслуживание и осмотры помогают предохранить целостность машин, избежать аварийных отключений, а так же увеличивают степень надежности и готовности машины к работе. Поскольку условия, при которых должна работать машина, могут значительно отличаться, обслуживание, и перечни графиков инспекций могут носить только рекомендательный характер. ЗАО «РЭП Холдинг», на основе опыта полученного на заводе, предполагает, что интервалы проверок должны быть отобраны так, чтобы детали машины, к которым имеется доступ, были осмотрены приблизительно после 500 часов наработки.

ВЫВОДЫ

1. Применение электроприводных газоперекачивающих агрегатов актуальное и перспективное направление, которое можно реализовать в настоящее время.
2. Для поддержания высокой надежности электроприводных газоперекачивающих агрегатов предлагается проводить мониторинг асинхронного двигателя, как основного элемента агрегата, схема которого предложена автором.

Список литературы

1. Концепция Энергетической стратегии России на период до 2030 г. (проект) // Энергетическая политика. Прил. К научн., обществ.-дел. Журналу. - 2007. - 116 с.

2. Пужайло А.Ф. Энергоснабжение и автоматизация энергооборудования компрессорных станций. / А.Ф. Пужайло, Е.А. Спиридонович, В.Н Воронцов - Н-Новгород, 2010. - 560 с.

3. Лядов К.Б. Электроприводные агрегаты нового поколения производства «РЭП Холдинга» / К.Б. Лядов, А.Г. Злобин [и др.]. // Газотурбинные технологии : специализ. журнал - №4. - 2012. - С.1-7.

ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЙ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Розаев И.А
Научный руководитель: Однокопылов Г.И., к.т.н., докторант
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: RozayevIA@gmail.com

В последнее время наблюдается бурный рост зарубежных и отечественных исследований в области создания простых по конструкции и надежных электрических машин для электроприводов, где технологичность, простота, низкая цена и отказоустойчивость исполнительного двигателя имеют решающее значение, а требуемые показатели качества достигаются за счет применения высокоинтеллектуальных преобразователей [1]. Одним из таких электродвигателей может быть и перспективный вентильно-индукторный электродвигатель с независимым возбуждением. Конструктивно такой двигатель обеспечивает полную независимость статорных обмоток друг от друга, что дает возможность двигателю продолжать работу при таких аварийных ситуациях как «невыключение» и «невключение» ключа преобразователя или обрыв фазы, на оставшихся в работе фазах элтродвигателя. Для того чтобы обеспечивать работу электропривода при подобных отказах без потерь в скорости и моменте можно применить двухсекционный электропривод имеющий независимое управление статорными обмотками [2].

В таком двухсекционном электродвигателе каждая секция может рассматриваться как независимая обмотка; В случае аварийной ситуации в фазе одной секции, вторая одноименная фаза другой секции принимает на себя двойную нагрузку и двигатель продолжает работу без остановок с обеспечением требуемого качества. Микроконтроллер на основе анализа соответствующих фазных токов, производит непрерывную диагностику рабочего состояния преобразовательных ячеек и в случае наличия неисправности в одной из фаз вентильно-индукторного электродвигателя формирует соответствующий сигнал отказа и обеспечивает срабатывание соответствующего защитного элемента. В случае отказа одной из секций электродвигателя и при наличии соответствующей рабочей фазы другой секции, восстановление работоспособности произойдет без потери качества работы электропривода. При отказе одноименной фазы дальнейшее восстановление работоспособности возможно с потерей качества регулирования вследствие повышения амплитуды пульсаций магнитодвижущей силы. Предлагаемая структура электропривода с отказоустойчивым управлением позволяет обеспечить эффективные алгоритмы формирования токов в фазных обмотках с целью минимизации пульсаций магнитодвижущей силы [3,4].

Функциональная схема отказоустойчивого вентильно-индукторного электропривода, приведена на рис. 1. Представленный электропривод включает в себя 6-ти фазный двухсекционный вентильно-индукторный электродвигатель (ВИД) с независимым возбуждением, два трехфазных преобразователя частоты (ПЧ), состоящих каждый из трех преобразовательных ячеек (ПЯ) и подключенных к ним трех защитных элементов (ЗЭ), шести датчиков тока, задатчика частоты вращения, датчика положения ротора и микроконтроллера.

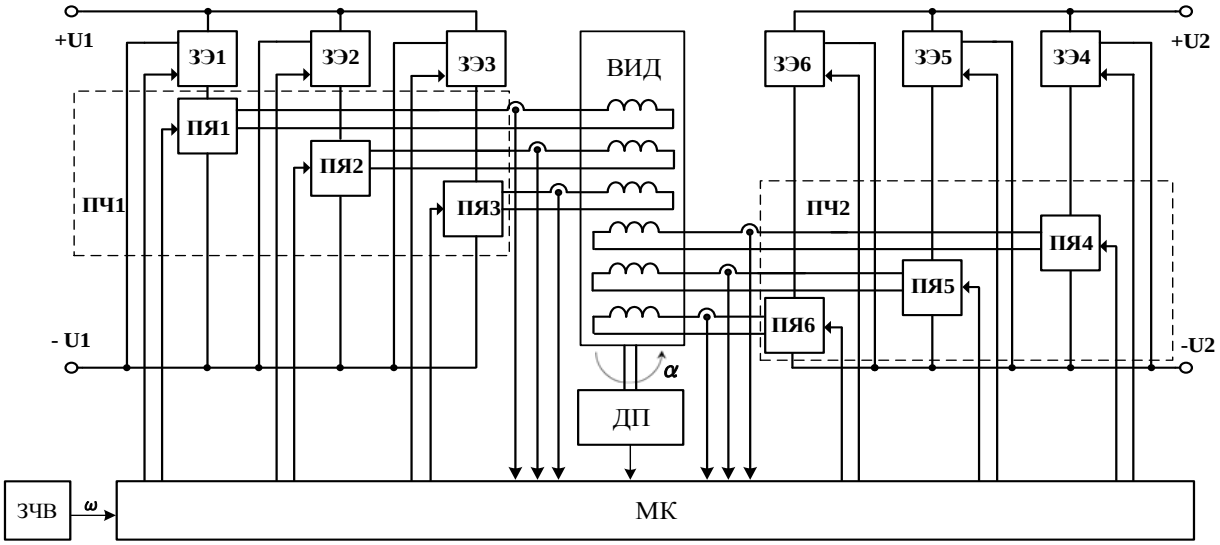
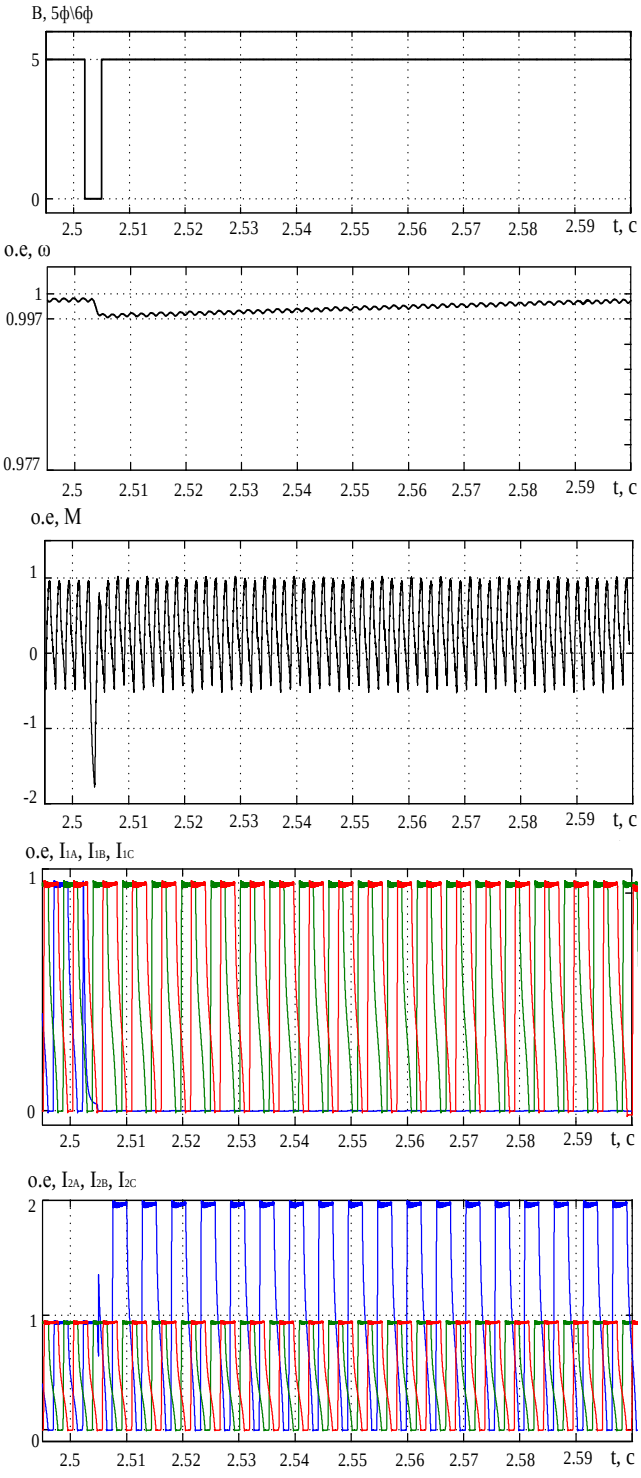


Рис. 1. Функциональная схема отказоустойчивого вентильно-индукторного электропривода

Для проверки работоспособности была использована имитационная модель [5,6] доработанная в среде Matlab Simulink, позволяющая исследовать аварийные и неполнофазные режимы работы вентильно-индукторного электропривода. Временные диаграммы полученные при помощи модели приведены на рис.2. Сверху вниз: Наличие напряжения на фазах, Частота вращения в рад/с, вращаю-

щий момент в Н·м, фазные токи 1-ой секции в А, фазные токи 2-ой секции в А. На диаграммах все



значения показаны в о.е от номинальных значений.

Рис. 2. Временные диаграммы переходных процессов в электроприводе при отказе в одной из фаз преобразователя частоты и дальнейшем запуске алгоритма восстановления.

ВЫВОДЫ

1.На основе разработанной имитационной модели в среде в MatlabSimulink показан процесс полного восстановления работоспособности вентильно-индукторного электропривода. Провал частоты вращения на время потери работоспособности электропривода составляет менее 1% от номинальной частоты вращения, возникающий тормозной момент примерно равен моменту нагрузки - 40 Н*м, время переключения структуры электропривода составляет 0.1 мс и может быть улучшено путем усовершенствования алгоритма восстановления.

2. Использование алгоритма восстановления позволяет полностью восстановить работоспособность электропривода путем подачи удвоенного задания на ток для одноименной отказавшей секции.

3. Получена рабочая модель двухсекционного вентильно-индукторного электропривода с независимым возбуждением, которая позволяет исследовать его работу в аварийных режимах.

Список литературы

1. Алямкин Д.И. Разработка и исследование двухфазного вентильно – индукторного электропривода насосов горячего водоснабжения: автореф. канд. физ.-мат. наук. – Москва, 2012. – 20 с.

2. Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А. Вентильно-индукторные двигатели - М.: Издательство МЭИ, 2003 - 70 с.

3. Отказоустойчивое управление вентильно-индукторным электроприводом, Розаев И.А., Однокопылов Г. И., Соснин С.К. Электронные и электромеханические системы и устройства: тез. Докл. Науч.-техн. Конф. Молодых специалистов (Томск, 14-15 февр. 2013 г.) / ОАО «НПЦ «Полюс»». – Томск, 2013. – 268 с

4. Решение о выдаче патента РФ на полезную модель от 02.08.2013, Вентильно-индукторный электропривод со свойством живучести /Г.И.Однокопылов, В.Г.Букреев, И.А.Розаев,– №2012153519; Заявл. от 11.12.2012.

5. Irimia N.D., Simon A., Livadaru L., Vlasceanu S., Dabija O., Mihai A.M., Study of a 3 phase (6/4) switched reluctance motor control, Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, 2011.

6. Krishnan R., Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications, The Bradley Department of Electrical and Computer Engineering Fellow, Center for Organizational and Technological Advancement (COTA) Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, TK2787 .R35 2001, ISBN 0-8493-0838-0.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХКАНАЛЬНОГО ИНДУКЦИОННОГО ДАТЧИКА УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Селиванов Н.А.
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: nickita@sibmail.com

Современные летательные аппараты совершают полеты на больших высотах, с большими скоростями, в любых метеорологических условиях. Широкое применение индукционных элементов в автоматических устройствах и, в частности, в авиационных обусловлено разнообразием функциональных свойств, а также высокой надежностью и точностью при малогабаритных конструкциях.

Датчики угловых перемещений относятся к области приборостроения и могут быть использованы в системах управления различных объектов, в том числе и летательных аппаратах. Датчик предназначен для преобразования угла поворота в выходные напряжения переменного тока, каждого из двух независимых каналов, отношение разности которых к их сумме изменяются пропорционально углу поворота ротора. К достоинствам датчика можно отнести его простоту, малые габариты, бесконтактность, а так же высокую надежность обусловленную наличием дублирующих каналов, что определяет их широкое применение.

Цель работы:

- экспериментальным методом получить выходные напряжения датчика;
- рассчитать параметры крутизны и нелинейности датчика;
- построить рабочую характеристику датчика и характеристику нелинейности.

Конструкция датчика (рис.1) содержит двухсекционную систему обмоток, переход от ранее используемой четырех секционной системы обмоток, позволяет увеличить сечение меди обмотки, повысить добротность $^{x}/_{R}$, снизив тем самым дополнительную погрешность, а так же значительно упрощает технологию изготовления обмоточного узла, исключая высокие требования по идентичности количества витков в секциях. Такая конструкция индукционного датчика угла, известная под названием «дуалсин» [2].

Использование инвариантной схемы позволяет в значительной степени исключить эксплуатационные погрешности обусловленные нестабильностью напряжения питания, частоты, температуры и т.д. Текущие значения выходной характеристики Y_{1i} и Y_{2i} определяются по формулам:

$$Y_{1i} = \frac{U_{1.1i} - U_{2.1i}}{U_{1.1i} + U_{2.1i}} \ , \ Y_{2i} = \frac{U_{1.2i} - U_{2.2i}}{U_{1.2i} + U_{2.2i}} \ ,$$

где $U_{1.1i}$, $U_{2.1i}$ - текущие значения выходного напряжения первого канала; $U_{1.2i}$, $U_{2.2i}$ - текущие значения выходного напряжения второго канала.

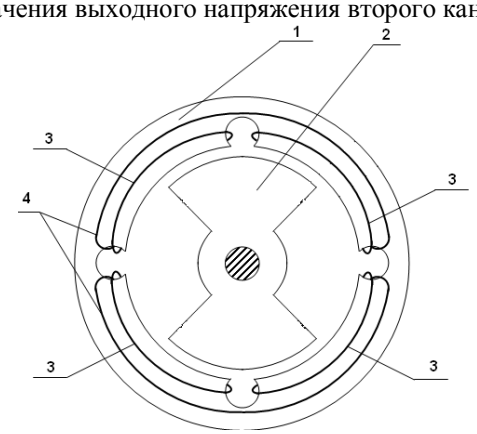


Рис. 1. Конструкция датчика угловых перемещений.

Датчик состоит из статора (1) с обмотками электромашинного типа (3, 4) и безобмоточного ротора (2) с явно выраженной двухполюсной системой, полюсная дуга ротора составляет 90^{O} и поверхность полюсов цилиндрическая (рис.1).

Принцип действия датчика основан на изменении потокосцепления между обмоткой возбуждения и рабочими обмотками каждого из каналов в зависимости от углового положения ротора. Если ось *Y* пакета ротора совпадает с осью обмотки статора, то витки рабочих обмоток слева и справа от оси пересекают одинаковые части потока Ф, следовательно, ЭДС, наводимые в этих витках, равны. При повороте ротора влево или вправо от этого положения из-за изменения соотношение между частями потока одна из ЭДС увеличивается, а другая уменьшается [1].

К оцениваемым показателям относятся следующие параметры датчика:

- средняя крутизна выходной характеристики датчика, 1/град, определяется для первого и второго канала по формулам:

$$K_1 = \frac{\Sigma Y_{1i}}{\Sigma \alpha_i} \ , \ K_2 = \frac{\Sigma Y_{2i}}{\Sigma \alpha_i} \ ,$$

где Y_i - текущее значение выходной характеристики канала; α_i - текущее значение перемещения вала, град;

- нелинейность выходной характеристики каждого канала, %, определяется по выражению:

$$n = \frac{\left(Y_i / K\right) - \alpha_i}{\alpha_{\text{макс}}} \cdot 100\%,$$

где Y_i – текущее значение выходной характеристики; K – крутизна выходной характеристики, 1/град; α_i – угол поворота вала в текущей точке измерения, град; $\alpha_{\text{макс}}$ – максимальное измеряемое угловое перемещение вала (80º).

Результат проведенных исследований:

- экспериментальные и расчетные данные приведены в таблице 1.

- полученные рабочая и выходная характеристики первого канала датчика представлены на рис.2.

- нелинейности первого и второго канала представлены на рис.3.

Таблица 1. Параметры первого канала датчика.

α	***Y***	***K***	***n***	***$U_{1.1}$***	***$U_{2.1}$***
град	о.е.	1/град	%	В	В
-40	0,57872993		-0,30048	1,029	3,859
-35	0,51159228		-0,21394	1,195	3,7
-30	0,43900398		-0,20029	1,374	3,525
-25	0,36494534		-0,15536	1,556	3,346
-20	0,29083535		-0,12396	1,739	3,167
-15	0,21723014		-0,11495	1,921	2,988
-10	0,14431143		-0,10698	2,101	2,810
-5	0,07197394	0,0145	-0,06910	2,279	2,6325
5	0,07212801		0,055871	2,6332	2,2789
10	0,14461388		0,081011	2,811	2,1007
15	0,21768527		0,094868	2,9896	1,9207
20	0,29146118		0,099775	3,1686	1,7384
25	0,3656517		0,171026	3,3481	1,5552
30	0,43972731		0,222408	3,5269	1,3725
35	0,51207354		0,265276	3,7008	1,1942
40	0,57809687		0,354846	3,8575	1,0313

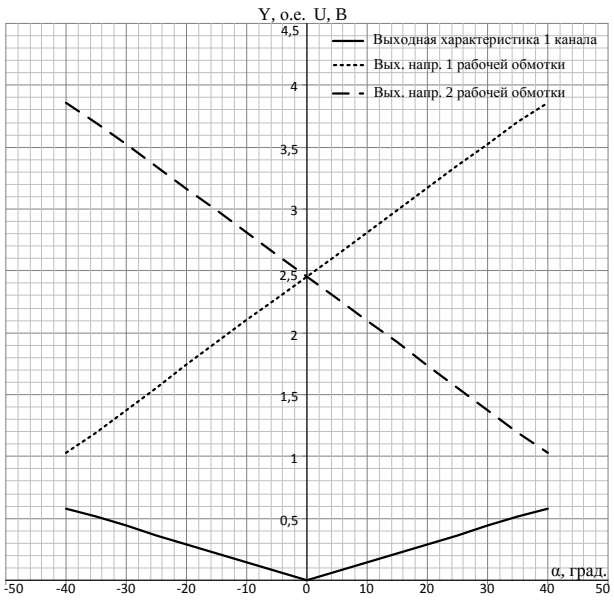


Рис. 2. Рабочая характеристика датчика для первого канала

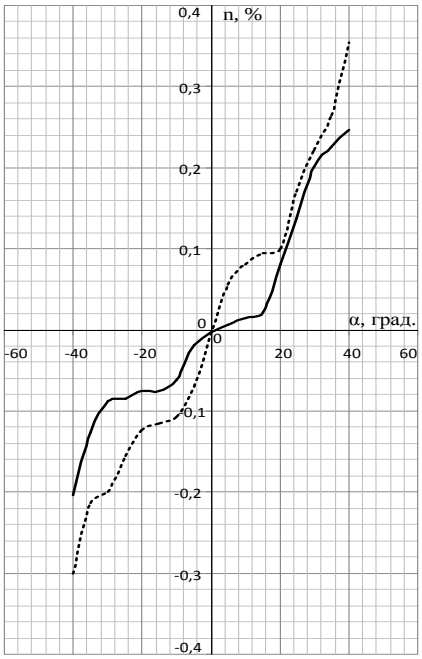


Рис. 3. Нелинейности первого и второго канала датчика.

Выводы:

- полученные характеристики при испытаниях показывают, как изменяется выходное напряжение рабочей обмотки относительно угла поворота ротора датчика. Выходные характеристики имеют линейный характер, это есть показатель высокой точности датчика, как для первого, так и для второго каналов;

- одним из основных факторов, влияющих на линейность выходной характеристики датчика, являются технологические погрешности, в частности: разброс магнитной проводимости материала статора и ротора;

- нелинейность данного характера обуславливается величиной и равномерностью рабочего воздушного зазора между статором и ротором при изготовлении датчика. Следует отметить, что нелинейность не выходит за пределы допустимых значений;

- причиной неравномерности могут послужить различные факторы при изготовлении датчика, такие как, несоостность статора и ротора датчика, отклонения от размеров, обусловленные недостаточно равномерной шлифовкой пакетов роторов.

Список литературы

1) Снижение эксплуатационных погрешностей индукционных бесконтактных датчиков положения., М.Г. Савченко, Г.М. Марьянов, В.И. Филиппов, О.А. Цыганов // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. трудов НПЦ "Полюс". Томск, 1997.С., 458 с.

2) Индукционные электромеханические элементы вычеслительных и дистанционно-следящих систем., Ю.М. Пульер., изд. Машиностроение., Москва., 1964г., 295 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОГАБАРИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО ЛИНЕЙНОГО ДАТЧИКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО - ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА

Симон Д.А.
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет,
634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: simo_da@mail.ru

В обратной связи систем управления космической, авиационной техники, оборудования нефтяной и газовой промышленности для контроля над перемещением штоков приводных механизмов применяются датчики линейного перемещения. Надежную работу и высокую точность измерения для такой техники обеспечивают дифференциально - трансформаторные датчики линейного перемещения типа ЛДТ (LVDT). Целью данной работы является исследование выходных характеристик датчика типа ЛДТ на рабочий ход ± 5мм с дублированием обмоток. Принципиальная электрическая схема датчика типа ЛДТ с дублированными обмотками приведена на рис. 1.

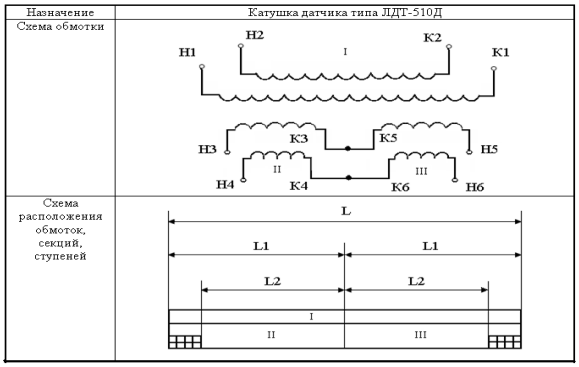


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема.

Конструктивная схема датчика типа ЛДТ состоит из: штока, корпуса, каркаса намоточного, стакана, гайки, обмотки возбуждения, рабочей обмотки, магнитопровода.

Процесс создания малогабаритного датчика включает в себя работу по получению минимальных размеров его основных узлов: штока и катушки. Последующее уточнение размеров связано с обеспечением требуемой линейности выходной характеристики [1].

При проведении дальнейших работ по миниатюризации и повышению точности измерения датчиков типа ЛДТ с дублированием обмоток изготовлен образец с рабочим ходом ± 5 мм. По результатам экспериментальных исследований длина сердечника образца выбрана равной длине рабочей катушки. При перемещении от электрической нейтрали сердечник выходит за пределы обмоток, т.е. используются торцевые поля выпучивания между ним и внешним неподвижным магнитопроводом. Удлинение сердечника и использование зоны его перемещения вне обмоток позволило уменьшить до минимума количество слоев в обмотках первичной и вторичной цепи (до шести и трех соответственно). Это обеспечило технологически простую равномерно распределенную намотку для обмоток первичной и вторичной цепей. Кроме того выбор соотношения между длинами сердечника и катушки позволил получить при напряжении питания переменного тока 3В и частоте 4000 Гц ток в первичной цепи менее 30 мА, который требуется для использования микросхемы, обрабатывающей выходные сигналы датчика [2].

В результате проведенных испытаний были получены следующие параметры и характеристики датчика представленные в табл. 1 и 2:

Таблица 1. Параметры первого канала датчика.

X1	Вых.х.	К, мм$^{-1}$	n, %	U1, В	U2, В
-5,0	0,265469	0,053094	-0,349	0,7912	1,3631
-4,0	0,212149	0,053037	-0,322	0,8547	1,3150
-3,0	0,159197	0,053066	-0,225	0,9174	1,2648
-2,0	0,106375	0,053188	-0,105	0,9791	1,2122
-1,0	0,053710	0,053710	0,045	1,0395	1,1575
1,0	0,053988	0,053988	0,097	1,1577	1,0391
2,0	0,107632	0,053816	0,130	1,2133	0,9775
3,0	0,161243	0,053748	0,157	1,2668	0,9150
4,0	0,215063	0,053766	0,223	1,3181	0,8515
5,0	0,269200	0,053840	0,348	1,3675	0,7874

Таблица 2. Параметры второго канала датчика.

X2	Вых.х	К, мм$^{-1}$	n, %	U1, В	U2, В
-5,0	0,265640	0,053128	-0,342	0,7941	1,3686
-4,0	0,212233	0,053058	-0,326	0,8578	1,3200
-3,0	0,159202	0,053067	-0,239	0,9208	1,2695
-2,0	0,106484	0,053242	-0,094	0,9826	1,2168
-1,0	0,053739	0,053739	0,046	1,0433	1,1618
1,0	0,053963	0,053963	0,088	1,1621	1,0431
2,0	0,107625	0,053813	0,119	1,2180	0,9813
3,0	0,161287	0,053762	0,151	1,2719	0,9186
4,0	0,215188	0,053797	0,227	1,3234	0,8547
5,0	0,269449	0,053890	0,370	1,3731	0,7902

На рис. 3 приведена выходная характеристика и зависимости напряжения на вторичных обмотках образца от перемещения сердечника.

$$\gamma_1 = \frac{U_{1(1)} - U_{2(1)}}{U_{1(1)} + U_{2(1)}}; \qquad \gamma_2 = \frac{U_{1(2)} - U_{2(2)}}{U_{1(2)} + U_{2(2)}}$$

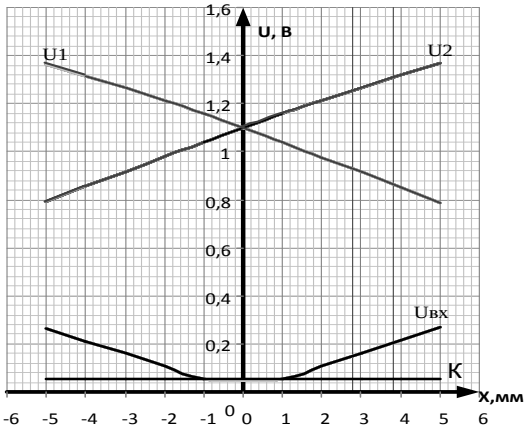


Рис. 3. Выходная характеристика и зависимости напряжения на вторичных обмотках образца от перемещения сердечника.

Конфигурация зависимостей обеспечивает нелинейность выходной характеристики менее ±0,5%. Крутизна данной характеристики стабильна.

Практические значения нелинейности, полученные на образце, приведены на рис. 4.

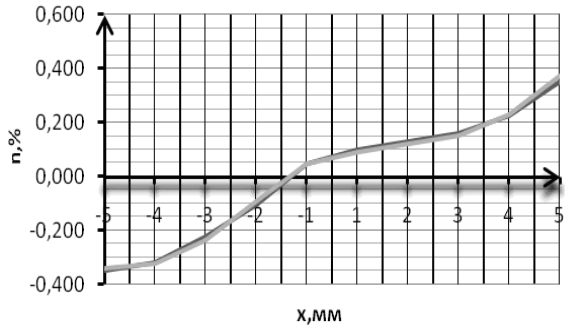


Рис. 4. Нелинейность выходной характеристики.

Нелинейности выходной характеристики, %, определялась по формуле:

$$n = \frac{\left(\gamma_i / K\right) - x_i}{x_{\max}};$$

где γ_i - текущее значение выходной характеристики;

K - крутизна выходной характеристики, мм$^{-1}$;

x_i-текущее значение перемещения подвижной части, мм;

x_{max}– максимальное перемещение подвижной части.

Крутизна выходной характеристики определялась по формуле:

$$K = \frac{\Sigma \gamma_{1i}}{\Sigma x_i};$$

На основе схемы замещения одного канала датчика (рис. 5) выведены аналитические соотношения для выходных напряжений в секциях вторичных обмоток.

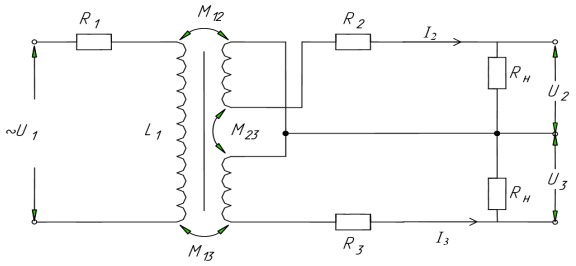


Рис. 5. Схема замещения одного канала датчика.

Выходное напряжение секции с активным сопротивлением R_2:

$$U_2 = \frac{j\omega M_{13} U_1 R_i}{(R_1 + j\omega L_1)\left[R + j\omega(L_2 - M_{23})\right] + \omega^2 M_{12}^2 - \dfrac{\omega^2 M_{13}^2 \left[R + j\omega(L_2 - M_{23})\right]}{\left[R' + j\omega(L_3 - M_{23})\right]}}$$

Выходное напряжение секции с активным сопротивлением R_3:

$$U_3 = \frac{j\omega M_{13} U_1 R_i}{(R_1 + j\omega L_1)\left[R' + j\omega(L_3 - M_{23})\right] - \omega^2 M_{13}^2 - \dfrac{\omega^2 M_{12}^2 \left[R' + j\omega(L_3 - M_{23})\right]}{\left[R + j\omega(L_2 - M_{23})\right]}}$$

где M_{12}, M_{13}, M_{23} – взаимные индуктивности обмоток;

L_1, L_2 – индуктивности обмоток;

U_1 – напряжение питания датчика;

$R_н$–сопротивление нагрузки датчика.

Расчет выходного напряжения по этим соотношениям для исходного положения сердечника дает погрешность 10 %.

Вывод: Предлагаемый вариант схемно-конструктивного исполнения дифференциально-трансформаторного датчика типа ЛДТ на рабочий ход ± 5мм с дублированием обмоток и инвариантной схемой представления выходной характеристики при длине сердечника 34 мм позволил получить:

- нелинейность выходной характеристики менее ± 0,5%;
- смещение нулевых положений каналов не более 0,03 мм;
- работоспособность по одному из выходов датчика при одной возможной неисправности типа "обрыв" или "короткое замыкание".

Список литературы

1. Малогабаритный двухканальный датчик типа ЛДТ. / Савченко М.Г., Марьянов Г.М., Новиков М.И. // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. тр. XVIII науч.-техн. конф. НПЦ "Полюс". Томск, 2011. С. 341 – 347.

2. Савченко М.Г., Марьянов Г.М., Филиппов В.И. Двухканальные датчики типа ЛДТ на одном магнитопроводе. // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. тр. Новосибирск: Наука,2007.С.305–311.

ОТКАЗЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Смолярчук С.А., Федянин А.Л
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Smol1981@sibmail.com

Электротехническая промышленность - ведущая отрасль народного хозяйства. Изделия электротехнической промышленности используется почти во всех промышленных установках, поэтому качество электротехнических изделий во многом определяет технический уровень продукции других отраслей, в том числе в химической промышленности..

Асинхронные двигатели - наиболее распространенный тип электрических машин. Это объясняется простотой конструкции и высокой надежностью при правильной эксплуатации. Достаточно отметить, что приблизительно 40% вырабатываемой электроэнергии потребляется асинхронными двигателями [1].

Одним из важнейших технико-экономических показателей качества технических устройств и систем является надежность. Надежность – свойство изделия, обусловленное безотказностью, долговечностью, сохраняемостью самого изделия и его частей и обеспечивающее сохранение эксплуатационных показателей изделия в заданных пределах [2].

Электропривод в химической промышленности – это восстанавливаемая система. Под восстанавливаемой (ремонтируемой) понимается система, которая может продолжать выполнение своих функций после устранения отказа, вызвавшего прекращение ее функционирования. Работа восстанавливаемой системы после отказа может быть возобновлена в результате проведения необходимых восстановительных работ. При этом под восстановлением системы понимается не только ремонт тех или иных элементов системы, а также полная замена отказавших элементов на новые [3].

Цель работы – провести оценку отказов при эксплуатации асинхронных двигателей в химической промышленности.

Основное назначение электроприводов применяемых в технологическом цикле химической промышленности – это дистанционное и местное управление трубопроводной запорной арматурой. Электропривод изготовляется в нормальном (не взрывозащищённом) исполнении и может эксплуатироваться стационарно в помещениях и на открытом воздухе под навесом в условиях умеренного и тропического климатов. Электропривод рассчитан для работы в кратковременном режиме.

Надежность асинхронного двигателя зависит от состояния обмотки статора и подшипникового узла. Наименее надежной сборочной единицей асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором является обмотка статора. На рис. 1 показано количество отказов асинхронных двигателей в период с 2009-2011 г.г. в составе электропривода.

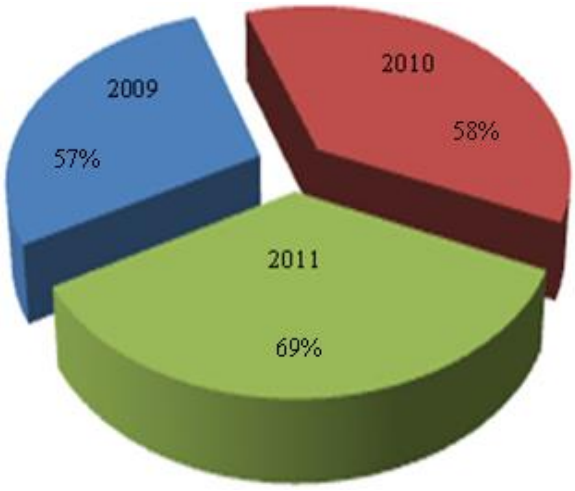


Рис 1. Объем отказов асинхронных двигателей в электроприводах химической промышленности

По данным проведенных предварительных исследований статистических данных по наработке электроприводов, наиболее часто отказы электродвигателей вызваны:

– химически агрессивной средой;
– вибрацией;
– неисправным состоянием запорной арматуры, вызванным воздействием химических реагентов, используемых в производстве.

Приведенные выше факторы вызывают сбой в работе не только в электрической, но и в механической частях электродвигателя, происходят: пробои изоляции обмоток, повреждения подшипников.

В случае пробоя изоляции обмоток двигателя, он меняется на новый из имеющегося в резерве. По причине высокой стоимости операции по восстановлению электроизоляционных свойств обмоток, электродвигатель разбирается на запасные части, а сгоревшая электрическая часть утилизируется.

Износ подшипников ведет к сильной вибрации. Во время технического обслуживания, при диагностировании сбоя в работе движущихся частей,

асинхронный двигатель заменяют резервным. Далее подшипники заменяют.

Отказ в работе электропривода может привести к разного рода последствиям: от простоя в работе установки – экономический ущерб, до аварийной ситуации. Поэтому долговечности и безотказности в работе привода уделяется все более пристальное внимания. Электроприводы, использующиеся на заводе, состоят из следующих основных узлов и деталей: корпуса, редуктора, моментной муфты, электродвигателя.

Проанализировав данные по отказам электроприводов за период с 2009-2011 г.г. можно сделать вывод о том, что большее число выходов из строя происходит из-за асинхронных двигателей.

На рис. 2 отражена доля отказов асинхронных двигателей в составе электропривода, по сравнению с общим количеством отказов электроприводов в целом.

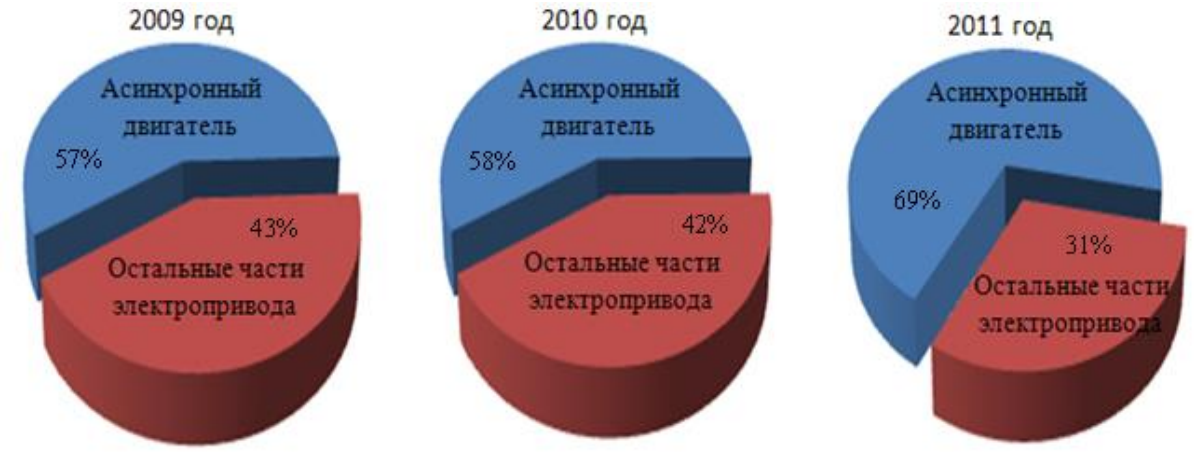


Рисунок 2. Оценка количества отказов асинхронных двигателей в электроустановках, эксплуатируемых в химической промышленности

Ориентируясь на рис. 2 можно судить также о росте числа отказов асинхронных двигателей в составе электроприводов с течением времени. В сложившейся ситуации для предупреждения увеличения расходов на ремонт, нужно обеспечить должный уровень надежности электрооборудования. В достижении высокой надежности машин немалую роль должно сыграть улучшение методов конструирования и оценки новых машин и оборудования, а также совершенствование системы технического обслуживания и ремонта существующей техники [4].

В обеспечении надежности существенную роль играют проведение мероприятий по техническому обслуживанию и текущему ремонту, а также сбор эксплуатационной информации о надежности асинхронных двигателей и электропривода в целом для классификации отказов.

В силу специфики производства вентили подачи продуктов в технологические аппараты часто заклинивает. Из-за некорректной настройки муфты ограничения крутящего момента, двигатель не отключается от питания, как положено, а продолжает работать. В этом случае имеет место резкое повышение температуры обмоток асинхронного двигателя и впоследствии пробой изоляции.

Причины поломки определяются неудовлетворительной работой обслуживающего персонала.

Выводы. На основании отказов в работе асинхронных двигателей можно отметить, что для повышения надежности необходимо совершенствовать систему технического обслуживания и ремонта. Для этого, при эксплуатации, проанализировав данные по наработкам на отказ необходимо: установить график технического обслуживания и текущего ремонта; обратить внимание на правильность настройки моментных муфт; усовершенствовать систему мониторинга электроприводов в производстве.

Список литературы

1. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Кузнецов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006.- 432 с.

2. Гольдберг О.Д. Качество и надежность асинхронных двигателей . - М.: Энергоиздат, 1968. – 176 с.

3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.: ил.

4. Селиванов А.И. Основы теории старения машин. - М.: Машиностроение, 1970. – 408 с.

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «ПРОПИТОЧНЫЙ СОСТАВ – ЭМАЛИРОВАННЫЙ ПРОВОД»

Супуева А.С., Леонов А.П.
Научный руководитель: Леонов А.П., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: leonov_ap@tpu.ru

Межвитковая изоляция обмоток низковольтных электрических машин является, самым слабым с точки зрения надежности элементом. Критерием отказа данного элемента является наличие сквозного дефекта на двух соседних витках обмотки. В случае плохой совместимости процесс образования таких дефектов значительно ускоряется, и, как следствие, резко снижается средний срок службы такой изоляции. Установлено, что образование сквозных дефектов в межвитковой изоляции зависит от величины внутренних механических напряжений в пропиточном составе и от адгезионного взаимодействия между пропиточным составом и эмалевой изоляцией обмоточного провода. Большой уровень внутренних механических напряжений приводит к растрескиванию пропиточного состава, а слишком высокая адгезия способствует дальнейшему разрушению эмалевой изоляции [1, 2]. При разрушении композиционных систем, в данном случае системы «пропиточный состав – эмалированный провод», развитие трещины может быть приостановлено, если адгезионная прочность на границе раздела фаз не превышает определенного уровня, иначе трещина может прорасти в пленку эмальлака [2]. В то же время слишком малая адгезия может привести к потере цементации витков обмотки и их ускоренному износу под действием вибрационных нагрузок. Т.е. оптимальная адгезия пропиточного состава $A_{ОПТ}$ к эмали провода должна быть в пределах:

$$A_{min} \le A_{ОПТ} \le A_{max}$$

Согласно современным представлениям о разрушении комбинированных материалов развитие трещины из одной компоненты в другую может быть остановлено в случае умеренной адгезии между ними. При разрушении межвитковой изоляции ловушкой для трещины, возникшей в слое пропиточного состава, может стать граница раздела фаз "пропиточный состав - эмалевая изоляция", при условии, что адгезионная прочность на этой границе не превышает некоторого значения. Таким пределом, согласно [2], является 1/5P, где P - прочность пленки эмальлака. Таким образом, надежная совместная работа пропиточных составов и эмалированных обмоточных проводов будет обеспечена при сравнительно невысоком уровне внутренних напряжений и адгезии между компонентами изоляции A≤1/5P.

Таким образом, определение величин адгезии в системе "пропиточный состав - эмалевая изоляция" позволит оценить целесообразность совместного использования компонентов межвитковой изоляции. К сожалению, существующие в настоящее время методы определения работы адгезии полимерных пленок в большинстве случаев не применимы для систем межвитковой изоляции, в ряде случаев полученные результаты условны, при проведении измерений учитываются существенные допущения, значительно снижающие точность полученных результатов.

Величина адгезии зависит от ряда факторов: температуры, времени контакта, вязкости адгезива, площади контактирующих поверхностей, числа связей, определяющих адгезию и их энергии; величиной и временем действия силы, направленной на разрыв адгезионного взаимодействия; состояния поверхности субстрата. Наиболее значимыми является вязкость адгезива (определяет площадь контакта и число связей) и энергия смачивания (обуславливает величину свободной поверхностной энергии и силу межмолекулярного взаимодействия между пропиточным составом и эмалевой изоляцией) [3].

Суммарная свободная энергия образуется из вкладов различных межмолекулярных сил, действующих на этой поверхности. Предполагая, что на ее поверхности выполняются принципы аддитивного и независимого действия межмолекулярных сил, поверхностную энергию γ можно записать как:

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^h$$

где d и h – указывают соответственно на дисперсионную и полярную составляющие, обусловленные образованием водородных связей и дипольным взаимодействием.

Межфазное $\gamma_{1,2}$ натяжение между пропиточным составом γ_1 и эмалевой изоляцией γ_2 можно найти по выражению:

$$\gamma_{1,2} = \gamma_1 + \gamma_2 - 2\sqrt{\gamma_1^d \gamma_2^d} - 2\sqrt{\gamma_1^h \gamma_2^h}$$

Это позволяет связать составляющие сил свободной энергии поверхности твердого тела (γ^d_S, γ^h_S) и жидкости (γ^d_L, γ^h_L) со значением cosφ - краевого угла смачивания твердого тела жидкостью:

$$\gamma(1+\cos\varphi) = 2\left(\sqrt{\gamma_S^d \gamma_L^d} + \sqrt{\gamma_S^h \gamma_L^h}\right) \quad (1)$$

Из уравнения (1) можно найти γ^d_S и γ^h_S по данным измерения углов смачивания φ двумя жидкостями, если значения γ, γ^d_L, γ^h_L для обеих жидкостей известны [4].

В нашем случае используется дистиллированная вода и глицерин, для которых параметры γ, γ^d_L, γ^h_L приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1. Значения γ, γ^d_L, γ^h_L для различных жидкостей.

	$\gamma\cdot10^3$, Н/м	$\gamma^d\cdot10^3$, Н/м	$\gamma^h\cdot10^3$, Н/м
Глицерин	63,0	37,0	26,0
Вода	73,0	22,0	51,0

Определение величин поверхностных энергий пропиточного состава и эмалевой изоляции производится путем последовательного гидростатического взвешивания. С помощью электронных аналитических весов CAUW 120D измеряется кажущееся изменение массы образца при его контакте с жидкостью. Образцы представляют собой отрезки эмалированного провода.

Часть образцов была использована для определения смачивания воды и глицерина к поверхности эмалевой изоляции. Другая партия образцов погружалась в пропиточный материал, сушилась при повышенной температуре в соответствии с нормативно-технической документацией. Затем были определены параметры смачивания воды и глицерина к поверхности отвержденного пропиточного состава.

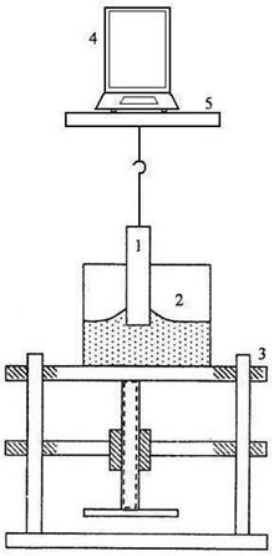


Рис 1. Схема установки для определения энергии смачивания:
1 - испытуемый провод;
2 - сосуд с жидкостью;
3 - подъемный столик;
4 - аналитические весы;
5 - столик для весов.

Термодинамическую работу адгезии жидкости можно определить по выражению:

$$W_a = \gamma_L(1+\cos\phi) \quad (2),$$

где γ_L - свободная поверхностная энергия адгезива (равна $\sigma_{жг}$ – поверхностному натяжению жидкости); ϕ - краевой угол смачивания твердой поверхности жидкостью.

Поверхностное натяжение жидкости $\sigma_{жг}$ и краевой угол смачивания ϕ поддаются непосредственному и достаточно точному измерению. Поэтому по уравнению (2) определяют равновесную работу адгезии жидкости и при помощи этой величины сравнивают адгезионную способность жидкостей к различным твердым телам. Тогда величина работы адгезии может быть представлена как:

$$W_a = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{1,2} = 2\left(\sqrt{\gamma_1^d\gamma_2^d} - 2\sqrt{\gamma_1^h\gamma_2^h}\right) \quad (3)$$

Используя выражение (3) проведен расчет работы адгезии для различных систем межвитковой изоляции. Полученные данные сопоставленны с литературными данными скоростей дефектообразования (H_B) в рассмотренных системах (таблица 2).

Таблица2. Сравнительные данные величин работы адгезии (W_a) и скоростей дефектообразования в некоторых системах межвитковой изоляции.

Система "пропиточный состав - эмалевая изоляция"	W_a, $\cdot10^{-3}$ Дж/м^2	$H_в$, $\cdot10^{-6}$ мм$^{-1}$ч$^{-1}$
ПЭ-9153М + ПЭТ-155	1,854	0,0085
КО-916К + ПЭТ-155	11	0,07
КО-916К + ПЭФД-2-200	6,673	0,01
ГФ-95 + ПЭТВ-2	13	0,18

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

1.Используемый подход расчетно - экспериментального определения работы адгезии W_a в системе «полимер - полимер» применим для оценки величин адгезионного взаимодействия в системах «пропиточный состав - эмалированный провод».

2. Сопоставление расчетных данных работы адгезии W_a с литературными данными о скорости дефектообразования $H_в$ исследуемых систем показали, что с увеличением работы адгезии увеличивается скорость дефектообразования, тем самым увеличивается вероятность развития сквозного дефекта в системе «пропиточный состав - эмалированный провод» что провоцирует снижения надежности полученной композиции

3. Предлагаемый метод прост и имеет сравнительно малую продолжительность проведения работ. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования уровня скорости дефектообразования $H_в$ в композициях «пропиточный состав - эмалированный провод».

4. Предварительный отбор компонентов межвитковой изоляции позволит прогнозировать интенсивность процессов дефектообразования в межвитковой изоляции и оптимизировать выбор её компонентов, что повысит надежность всей изоляции в целом.

Список литературы

1. Галушко А.И., Максимова И.С., Оснач Р.Г. Надежность изоляции электрических машин. - М.: Энергия, 1979.-175с.

2. Басин В.Е. Адгезионная прочность. - М.: Изд-во «Химия», 1981.-208с.

3. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. - М.: Изд-во «Химия», 1977.-352 с.

4. Каган Д.Ф., Гуль В.Е., Самарина Л.Д.. Многослойные и комбинированные пленочные материалы. - М.: «Химия», 1989.-288 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ ТИПА ЛЮФТ НА ДОБРОТНОСТЬ СЛЕДЯЩЕГО ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДРОССЕЛЬНОЙ ЗАСЛОНКИ

Трусов Е.В.
Научный руководитель: Дементьев Ю.Н., к.т.н., доцент
Научный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: jordan1987@sibmail.com

Вентиляционные установки широко используются в системах вентиляции всех отраслей промышленности для кондиционирования воздуха помещений. Кроме того, вентиляционные установки играют важнейшую роль в системах жизнеобеспечения автономных объектов. В данных системах количество подаваемого воздуха регулируется заслонкой. Одним из наиболее распространенных регулируемых электроприводов для заслонок воздуховода является следящий шаговый электропривод (ШЭП) (рис. 1). Его основу составляет шаговый электродвигатель с редукторной связью.

Математическое описание ШЭП очень сложно и имеет множество нелинейностей. Упрощение его приводит к искажению результатов расчета динамических и статических характеристик, поэтому при анализе системы ШЭП необходимо учитывать вид нелинейности.

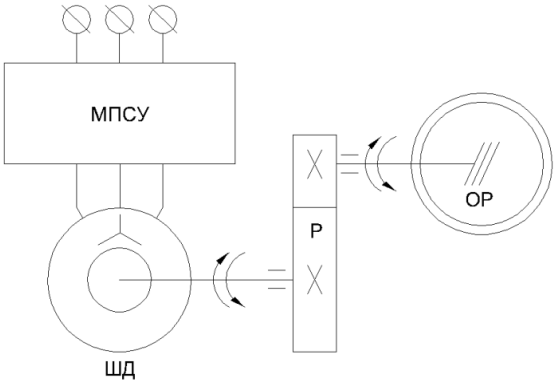


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема ШЭП дроссельной заслонки:
МПСУ – микропроцессорная система управления;
ШД – шаговый двигатель; Р – редуктор;
ОР – объект регулирования (дроссель)

При поступлении управляющего импульса с МПСУ ШД приводит в движение одноступенчатый червячный редуктор. Таким образом, осуществляется вращение ОР до необходимого положения. Из-за множества механических соединений в механической части ШЭП возникает люфт с зоной нечувствительности (рис. 2).

Наличие люфта в системе автоматического регулирования приводит к снижению качественных показателей системы. Одним из таких показателей является добротность ШЭП [1], рассчитываемая по формуле

$$D_v = \frac{\alpha_0 f_0 W}{P_d}, \qquad (1)$$

где α_0 – шаг двигателя; f_0 – частота собственных колебаний двигателя; W – энергия, запасенная в колебательной системе; P_d – рассеиваемая мощность.

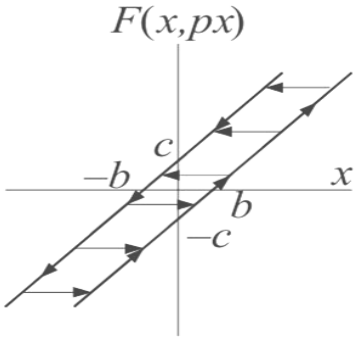


Рис. 2. Вид нелинейной характеристики типа люфт

Для анализа влияния нелинейности типа люфт на добротность следящего ШЭП дроссельной заслонки можно использовать метод гармонической линеаризации, разработанный в удобной для непрерывных нелинейных систем форме [2]. За основу для решения поставленной задачи можно принять уравнение гармонического баланса

$$\left.\begin{aligned} 20\lg H(\omega) &= 20\lg\left[\frac{1}{q(A)}\right] \\ \varphi(\omega) &= \pi - \mu(A) \end{aligned}\right\}, \qquad (2)$$

где $H(\omega)$ – амплитуда гармонических колебаний; $q(A)$ – коэффициент гармонической линеаризации; A – амплитуда величины входного воздействия; $\mu(A)$ – коэффициент, учитывающий погрешность типа нелинейности; $\varphi(\omega)$ – фазочастотная характеристика.

В свою очередь,

$$q(A) = \sqrt{q_1^2(A) + q_2^2(A)};$$

$$\mu(A) = \operatorname{arc\,tg}\frac{q_1(A)}{q_2(A)}.$$

При этом

$$q_1(A) = \frac{1}{\pi}\left(\frac{\pi}{2} + \arcsin\left(1 - \frac{2\Delta_1}{A}\right) + 2\left(1 - \frac{2\Delta_1}{A}\right)\sqrt{\frac{\Delta_1}{A}\left(1 - \frac{2\Delta_1}{A}\right)}\right),$$

$$q_2(A) = -\frac{4\Delta_1}{\pi A}\left(1 - \frac{\Delta_1}{A}\right).$$

где q_1, q_2 – коэффициенты гармонической линеаризации; Δ_1 – значение зоны нечувствительности люфта.

Решая уравнение (2) в программной среде MathCAD 14, можно построить шаблон семейства логарифмических амплитудно-частотных (ЛАЧХ) и фазочастотных характеристик (ФЧХ) нелинейного элемента. Для удобства построения необходимо задать амплитуды, а также предполагаемые изменения значения люфта (таблица 1).

Таблица 1. Значения амплитуды и люфта

A, В	Δ_1, мкм			
	опыт 1	опыт 2	опыт 3	опыт 4
1.95	1	0,85	0,5	0,22
1.35	0,93	0,55	0,48	0,18
0.85	0,85	0,35	0,4	0,15
0.46	0,75	0,3	0,3	0,127
0.31	0,6	0,25	0,25	0,1
0.15	0,45	0,17	0,135	0,07
0.12	0,35	0,135	0,12	0,03
0.1	0,1	0,085	0,07	0,01
0	0	0	0	0

Примечание. Приведены выборочные значении; расчет в среде MathCAD проводился по 1000 точкам.

Используя структуру ШЭП [3] для построения линейных ЛАЧХ и ФЧХ, можно провести моделирование ШЭП в программной среде MATLAB. Упрощенная имитационная модель следящего ШЭП приведена на рис. 3.

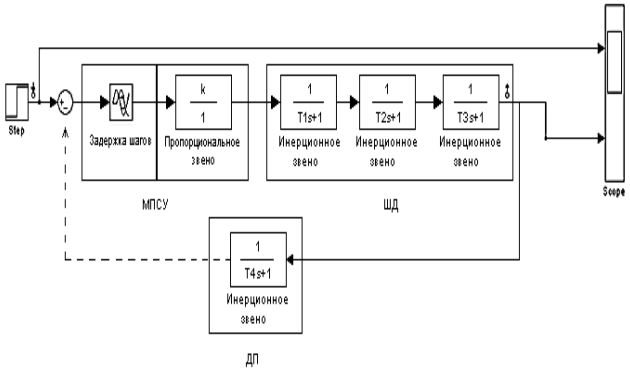


Рис. 3. Имитационная модель ШЭП

При исследовании ШЭП дроссельной заслонки и анализе влияния люфта на качественные характеристики необходимо построенный шаблон нелинейных ЛАЧХ и ФЧХ в программной среде MathCAD 14 и линейные ЛАЧХ и ФЧХ на имитационной модели совместить на одном графике с помощью объекта точечной привязки в программной среде NanoCAD (рис. 4.).

Анализ характеристик, приведенных на рис. 4, показывает, что с уменьшением люфта условие гармонического баланса выполняется на частотах, меньших максимальной (500 Гц). Значение добротности ШЭП (1) изменяется прямо пропорционально изменению значения частоты собственных колебаний. Следовательно, с уменьшением люфта уменьшается добротность.

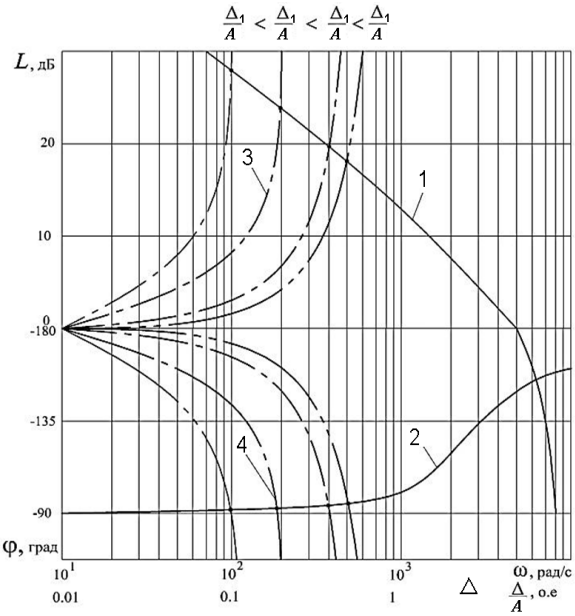


Рис. 4. Результирующая характеристика: 1 – линейная ЛАЧХ; 2 – линейная ФЧХ; 3 – семейство нелинейных ЛАЧХ; 4 – семейство нелинейных ФЧХ

Выводы:

1. Установлено, что уменьшение люфта приводит к уменьшению добротности следящего ШЭП, что существенно снижает его колебания.
2. Для улучшения данного показателя необходимо выбирать более высокий класс точности изготовления деталей редуктора, а также проводить подстройку параметров системы управления.
3. Учет всех нелинейностей реального следящего ШЭП дает возможность повышения динамических показателей качества в целом.

Литература

1. Гумен В. Ф., Калининская Т. В. Следящий шаговый электропривод. – Л. : Энергия, Ленингр. отд-ние, 1980. – 168 с., ил.
2. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы : учеб. пособие. – М. : Наука, 2004. – 64 с.
3. Анализ передаточной функции шагового электропривода дроссельной заслонки / Е. В. Трусов, В. В. Белякин, Н. И. Подлевский, С. Г. Малофиенко // Электронные и электромеханические системы и устройства : тез. докл. науч.-техн. конф. молодых специалистов (Томск, 14–15 февр. 2013 г.) / ОАО «НПЦ «Полюс». – Томск, 2013 – С. 91–92.

АЛГОРИТМ И СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Умурзакова А.Д., Умурзакова* А.Д.
Научный руководитель: Дементьев Ю.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
Инновационный Евразийский Университет, 1400003, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова 45
E-mail: granat_72@mail.ru

Асинхронные электродвигатели составляют основу электропривода большинства механизмов, используемых во всех отраслях промышленности, и являются основными преобразователями электрической энергии в механическую.

Важное значение асинхронные машины завоевали благодаря своей способности автоматически изменять момент вращения в соответствии с изменением момента нагрузки и высокому коэффициенту полезного действия, с одной стороны, и относительной простоте и низкой стоимости в сочетании с высокой эксплуатационной надежностью при минимальном обслуживании – с другой.

В настоящее время важными являются вопросы внедрения управляемых асинхронных электроприводов на промышленных объектах. Во многом это связано с необходимостью обеспечения сложных требований технологического процесса, а также с развиваемой концепцией энергосбережения в промышленной и муниципальной сфере.

Одним из путей повышения эффективности использования промышленных установок является применение регулируемых асинхронных электродвигателей, что позволяет уменьшить энергопотребление, увеличить производительность и повысить надежность асинхронного электродвигателя, электропривода и всей установки в целом.

В регулируемых электроприводах технологических механизмов и комплексов практически в любой отрасли промышленности и транспорта для создания управляемых энергоэффективных систем актуален контроль координат.

Обеспечение требуемых параметров современного технологического процесса достигается с помощью регулирования частоты вращения приводных двигателей с высокой статической и динамической точностью. Управление по заданному алгоритму в функции параметра технологических датчиков требует реализации быстродействующего управления электромагнитным моментом асинхронного двигателя и широко востребовано в приводах конвейеров, транспортеров, дозаторов, подъемных механизмов и робототехнических комплексов.

Наиболее распространенными устройствами контроля координат асинхронного электропривода являются устройства непосредственного измерения [1]. Однако они имеют существенные недостатки: необходимость совмещения датчика с механической частью электродвигателя, что усложняет ремонт и ревизию, сложность конструкции. Эти недостатки исключаются при применении устройств косвенного контроля координат.[2, 3, 4, 5].

Известен способ, в котором необходимая информация о крутящем моменте асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором может быть получена на основе анализа математической модели электрической машины, которая с высокой степенью адекватности отражает происходящие в электродвигателе процессы и системы уравнений, необходимых для построения датчиков контроля момента. Однако крутящий момент не может быть непосредственно определен, так как для этого необходимо обеспечить получение информации о мгновенных значениях токов обмоток статора и ротора, а также напряжения обмоток статора в двухфазной системе координат [2, 3].

Сложность определения величины крутящего момента двигателя в асинхронном электроприводе обусловлена тем, что информация о крутящем моменте может быть получена с некоторой задержкой относительно времени измерения фазных токов и линейных напряжений. Исходя из вышесказанного, возможно провести измерение крутящего момента двигателя по известным паспортным данным двигателя и легко измеряемым величинам - по фазным токам и напряжениям.

На рисунке 1 представлен алгоритм для определения крутящего момента асинхронного электропривода.

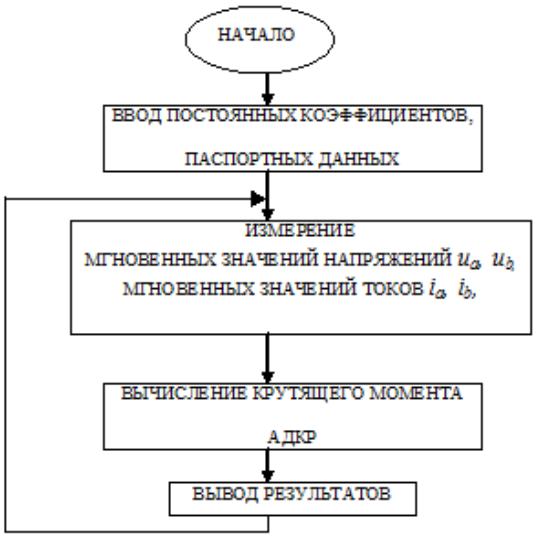


Рис. 1. – Алгоритм косвенного контроля крутящего момента двигателя в асинхронном электроприводе

В соответствии с рассматриваемым алгоритмом с учетом ввода известных значений числа пар полюсов p_n и активного сопротивления обмотки статора r_1 для определения крутящего момента асинхронного электропривода необходимо произвести измерение мгновенных значений фазных напряжений и токов и произвести вычисление крутящего момента в блоке вычисления крутящего момента.

На рисунке 2 представлена общая схема для определения крутящего момента двигателя в асинхронном электроприводе.

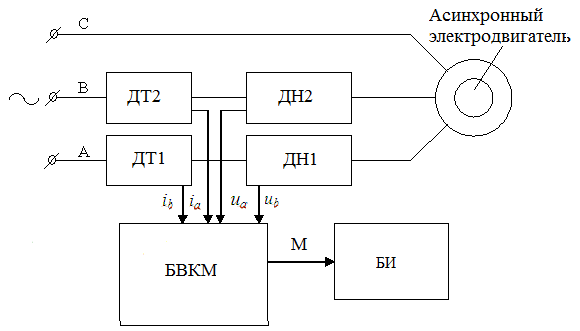


Рис. 3. Общая схема для измерения крутящего момента двигателя в асинхронном электроприводе

В общей схеме для определения крутящего момента асинхронного электропривода (рис. 2) подают напряжение на асинхронный электродвигатель, измеряют на фазах А и В мгновенные значения i_a, i_b фазных токов с помощью датчиков тока (ДТ1) и (ДТ2) и мгновенные значения фазных напряжений u_a, u_b датчиками напряжения (ДН1) и (ДН2). Далее с помощью блока вычисления момента (БВКМ) получаем сигнал, пропорциональный крутящему моменту, развиваемому асинхронным электродвигателем, и выводим его на блок индикации (БИ).

В качестве датчиков тока могут быть использованы трансформаторы тока, датчиков напряжения - трансформаторы напряжения. Блок вычисления крутящего момента может быть реализован стандартными аппаратными средствами на основе интегральных микросхем либо с использованием микропроцессорных комплектов.

Блок вычисления момента двигателя в асинхронном электроприводе (БВКМ) может быть реализован на основе структурной схемы, представленной на рисунке 2, и содержит 4 блока интегрирования (БИН1 – БИН4), 3 блока суммирования (БС1-БС3), 3 блока умножения (БУ1 – БУ3) и блоки ввода коэффициентов (БВК1, БВК2). В этих блоках с учетом измеренных фазных токов i_a, i_b и фазных напряжений u_a, u_b соответственно фаз А и В, известных значений - числа пар полюсов p_n и активного сопротивления обмотки статора двигателя r_1 - происходит преобразование, умножение, интегрирование и суммирование подаваемых на них сигналов, а на выходе получаем значение крутящего момента асинхронного электродвигателя.

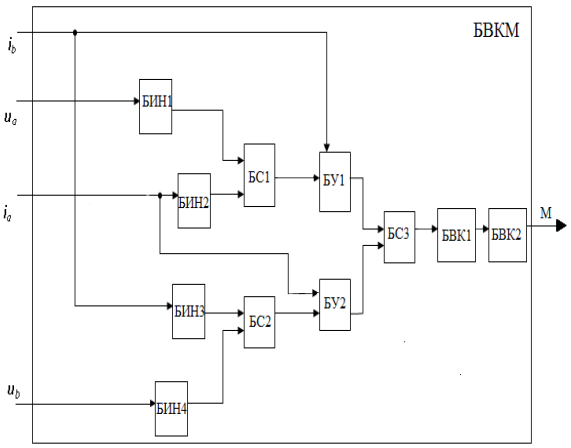


Рис. 3. Блок вычисления крутящего момента двигателя в асинхронном электроприводе

Таким образом, применение предлагаемого алгоритма косвенного контроля крутящего момента двигателя в асинхронном электроприводе и определение значения крутящего момента, с помощью блока вычисления, являются простыми по осуществлению и позволяют обеспечить требуемую точность результата измерения.

Список литературы

1. Потапов Л.А., Юферов Ф.М. Измерение вращающихся моментов и скоростей вращения микроэлектродвигателей. - М.: Энергия, 1984.

2. Мельников В. Ю., Бородацкий Е.Г. Косвенный контроль координат асинхронного короткозамкнутого двигателя. Деп. В Казгос ИНТИ, Алматы, 1994, вып.1, 69 с.

3. Мельников В.Ю., Умурзакова А.Д. Косвенный метод контроля крутящего момента асинхронного электродвигателя// Материалы II Международной научно-практической конференции ««Наука и образование в XXI веке: динамика развития в евразийском пространстве», Павлодар, 2011.- с.65-67.

4. Предварительный Патент РК № 18934, бюл. № 11 от 15.11.2007 Способ измерения крутящегося момента асинхронного электродвигателя/ Мельников В.Ю., Умурзакова А.Д.

5. Умурзакова А.Д. Способ измерения крутящегося момента асинхронного электродвигателя на основе косвенного метода контроля координат// Материалы Международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие на современном этапе: состояние и перспективы», Павлодар, 2009. – с.56-59.

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

А.В. Устинов, Е.В. Бейерлейн
Научный руководитель: Бейерлейн Е.В., к.т.н. доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: a555ndrey@yandex.ru

Сложные условия эксплуатации и необходимость обеспечить строгое соблюдение сроков доставки грузов и пассажиров, при минимальных эксплуатационных затратах, потребовали создания системы контроля качества (испытаний) тяговых электродвигателей на всех этапах их создания, производства, эксплуатации, которая гарантировала бы их работу с высокой степенью надежности. Многие виды испытаний проводятся под нагрузкой. Учитывая, что мощность тягового электродвигателя (ТЭД) современных электровозов близка или превышает 1000 кВт, актуальным является поиск схем и методов, позволяющих сокращать расход электроэнергии на испытания. Электрические машины испытываются под нагрузкой на нагрев, надежность, а также для определения их энергетических характеристик. В соответствии с ГОСТ 25000-81 при испытаниях используются методы непосредственной или косвенной нагрузки. При методах непосредственной нагрузки испытания проводятся в номинальном режиме работы, которые не отличаются от условий работы в реальных условиях. Метод непосредственной нагрузки может быть реализован тремя способами: без отдачи и с отдачей энергии в сеть, а также путем взаимной нагрузки.

Выбор схемы испытаний ЭМ определяется параметрами электрооборудования испытательной станции, но все их можно охарактеризовать рядом количественных и качественных параметров, которые позволяют определить эффективность данного технологического процесса. Одним из количественных параметров является мощность дополнительно установленного электрооборудования, которая выражается кратностью ее по отношению к мощности испытуемой электрической машины. Он также определяет необходимую площадь испытательного поля. Другим параметром является количество потребляемой электроэнергии на испытание.

Необходимость использования системы асинхронный двигатель – асинхронный генератор связана не только с испытанием электрических машин при их производстве, но и после ремонтов в процессе их эксплуатации. Например, в настоящее время на тепловозах, электровозах и электропоездах, вместо тяговых электродвигателей постоянного тока, внедряют асинхронные электродвигатели в комплекте с частотными преобразователями, эксплуатация которых требует их испытания после текущих и капитальных видов ремонта. Для испытания асинхронных электродвигателей используют стенды, содержащие непосредственное нагружение испытуемого электродвигателя, механически связанного с нагрузочным генератором [1, 2]. Недостатками такого способа испытаний являются значительные потери энергии при гашении ее на активную нагрузку, исключение возможности вариаций испытаний при различных частотах вращения ротора и ограничение количества одновременно испытуемых электродвигателей. Система асинхронный двигатель - асинхронный генератор (АД-АГ) состоит из двух механических сопряженных асинхронных машин, одна из которых работает в режиме электродвигателя, а другая - генератора. Однако такое техническое решение неприемлемо для испытания асинхронных электродвигателей в широком диапазоне мощностей и частот вращения ротора.

В упрощенном варианте схема подключения испытуемых асинхронных электродвигателей 1, 2 к однотипным частотным преобразователям 3, 4 приведены на рис. 1. Комбинацией контакторов К1–К4 можно обеспечить работу каждого из АД от преобразователя частоты (ПЧ) в качестве двигателя и в режиме генератора с возбуждением от сети. Частота и напряжение сети в этом случае должны соответствовать номинальным испытуемых АД.

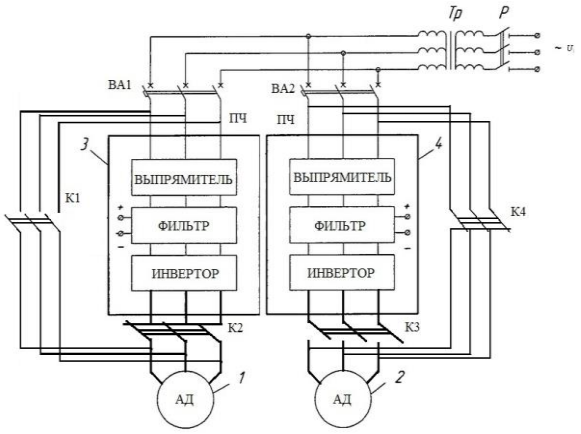


Рис. 1. Схема испытания АТЭД

После подключения испытуемых электродвигателей 1, 2 к частотным преобразователям 3, 4 включают общий рубильник Р трехфазной цепи и автоматические выключатели ВА1 и ВА2. Далее посредством управляемых инверторов плавно по-

вышают частоту вращения двигателей до необходимых значений.

Для того чтобы асинхронную машину ввести в генераторный режим, ей необходимо задать частоту вращения выше синхронной, то есть обеспечить отрицательное скольжение относительно частоты возбуждения. Поэтому испытуемый двигатель должен питаться от ПЧ частотой выше сетевой.

Для определения частоты питания приводного двигателя можно воспользоваться следующей зависимостью:

$$f_2 = f_1 \times \frac{1-s_Г}{1-s_Д},$$

где f_2 и f_1 – частоты питания двигателя и сети, а $s_Д$ и $s_Г$ – величины скольжения, соответственно, двигателя и генератора.

Одним из важнейших вопросов в рассматриваемой системе является выбор величин скольжений двигателя и генератора, которые непосредственно определяют величины напряжений и частот питания. При идентичности параметров машин, их механические характеристики в двигательном и генераторном режимах отличаются друг от друга. Так в генераторном режиме при одинаковых напряжениях и частотах питания максимальное значение момента больше двигательного, а изменение параметров питания двигателя по закону U_2/f_2=const, не обеспечивает одинакового значения скольжения [3].

$$U_2 = U_1 \cdot \left[\frac{1+s_Н}{1-s_Н} \cdot \frac{\left(R_1 + \frac{R_2}{s_Н}\right)^2 + (X_1+X_2)^2 \cdot \left(\frac{1+s_Н}{1-s_Н}\right)^2}{\left(R_1 - \frac{R_2}{s_Н}\right)^2 + (X_1+X_2)^2} \right]^{\frac{1}{2}},$$

где R_1, X_1 – параметры первичной цепи машины; R_2, X_2 – параметры вторичной цепи, приведенной к первичной; $s_Н$ – номинальное скольжение.

Адекватность работы схемы была проверена на математической и физической моделях. Моделирование схемы взаимной нагрузки была выполнена в программной среде MATLAB (библиотека блоков SIMULINK) можно проводить с применением виртуальных моделей асинхронных электродвигателей (приложение SimPowerSystems) [2]. В качестве исследуемой модели был выбран двигатель серии 6А80В6У3 со следующими номинальные данными: P=0,55 кВт; n=920 об/мин; $I_Н$=1,7 А; η=70,5 %; cosφ=0,70 о.е.

Также была создана экспериментальная модель на базе этих двигателей.

Работа двигателя осуществлялась от преобразователя частоты типа VLT 2800 (фирма Danfoss), при этом частота его питания и напряжения определенная в соответствии с выражением (1) и (2). Данные исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Исходные данные		Данные математической модели				Данные физической модели			
U_2, В	f_2, Гц	$P_{СЕТ}$, Вт	P_1, Вт	$P_{2Г}$, Вт	n, об/мин	$P_{СЕТ}$, Вт	P_1, Вт	$P_{2Г}$, Вт	n, об/мин
415	60,5	138	333	195	1140	150	320	170	1100

Примечание: $P_{СЕТ}$ – мощность потребляемая из сети на покрытие потерь, P_1 – активная мощность потребляемая двигателем, $P_{2Г}$ – полезная мощность двигателя работающего в генераторном режиме.

Общий КПД испытательной установки по активной мощности представляется в виде $\eta = \frac{P_{2Г}}{P_1} = \eta_Д \cdot \eta_Г$, как и в целом определяется мощностью машин. Как видно из таблицы 1 часть мощности, вырабатываемой генератором, возвращается в сеть. Поскольку КПД испытуемых машин равен 0,705, то на покрытие потерь из сети берется около 50 % активной мощности, что подтверждено экспериментальными данными. Потери мощности обеих машин, а так же намагничивающие мощности покрываются в испытательной установке за счет первичной сети.

Согласно полученным данным можно сделать основные выводы. Применение схемы взаимной нагрузки для испытания асинхронных машин позволит экономить активную мощность, потребляемую во время испытаний, которая будет зависеть от параметров испытуемых двигателей.

Список литературы

1. ГОСТ 183-88 Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия.

2. Щербаков В.Г. Тяговые электродвигатели электровозов. Новочеркасск: Агентство Наутилус. 1998. – 672 с.: ил.

3. Бейрлейн Е.В., Рапопорт О.Л., Цукублин А.Б. Схема испытания тяговых частотно – регулируемых асинхронных электродвигателей // Известие высших учебных заведений электромеханика №3, – 2006, – С. 46-48.

4. Бейерлейн Е.В., Рапопорт О.Л., Цукублин А.Б. Испытания асинхронных машин методом взаимной нагрузки // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 308. – № 7. – С. 153–156.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСОВ

Фисюнова Е.В.
Научный руководитель: .Столярова О.О., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30
Email: Lenok1990@sibmail.com

На настоящий момент доля перевозок пассажиров транспортом повышенной пассажировместимости в России составляет 60 %, что предопределяет повышенные требования к надёжности несущих конструкций и электрооборудования. Проблема надежности технических систем значительно обострилась, что вызвано их усложнением, ужесточением условий эксплуатации, увеличением числа возлагаемых на системы функций и их ответственности, повышением требований к точности и качеству выпускаемой продукции.

Технические решения при разработке новой модели должны приниматься по критерию более полного соответствия конструкции требованиям потребителей. На сегодняшний день обеспечение надежности городского транспорта с высокими экономическими и эксплуатационными показателями становится актуальным. В случае отказа троллейбуса каждый случай вызывает огромные убытки. Причем убытки связаны не только с тем, что значительное время оборудование простаивает в ремонте и поэтому имеет место недовыработка соответствующей прибыли, а также и с тем, что к восстановлению привлекается значительное количество ремонтного персонала высокой квалификации, требующей соответствующей оплаты за свой труд. Отказы оборудования в приводят не только к экономическим, но также к экологическим и социальным потерям.

Цель работы – анализ технического состояния и исследование причин отказов и обеспечения надежности при эксплуатации троллейбуса в различных климатических условиях.

Томский троллейбус начал работать в Томске 5 ноября 1967 года. В настоящее время в городе имеется 8 маршрутов, на которых по состоянию на июнь 2011 года эксплуатируется 105 троллейбусов из них: ЗиУ-682 — 24, АКСМ-101 — 8, ЛиАЗ-5280 — 8, ЛиАЗ-52803 — 2, Тролза-5275.05М "Оптима" — 15, АКСМ-321 — 48. Длина всех линий составляет 93,4 км.

Эксплуатирует троллейбус Томское городское унитарное муниципальное предприятие «Трамвайно-троллейбусное управление». Весь парк обслуживает одно троллейбусное депо. Трамвайно-троллейбусное управление (ТГУ МП «ТТУ») — муниципальное предприятие в г. Томске, занимающееся эксплуатацией электротранспорта.

Основными задачами предприятия являются пассажирские перевозки в пределах города Томска. Износ парка троллейбусов можно оценить в 75 % (до поступления 10 троллейбусов ЛиАЗ износ парка оценивался в 90 %). 24 декабря 2001 года на линию вышел троллейбус ЗиУ-682Г № 326, прошедший модификацию в томском троллейбусном депо. Главное новшество — перенесение электрооборудования старого троллейбуса на крышу. Проект модификации был подготовлен в Санкт-Петербурге.

Троллейбус марки Trolza-527505M были введены в эксплуатацию в 2008 г. Данный троллейбус был специально спроектирован для сибирских условий. Троллейбус марки АКСМ-321 были введены в эксплуатацию в 2010 г. АКСМ-321 — белорусский низкопольный троллейбус большой вместимости для внутригородских пассажирских перевозок, производящийся с 2001 на Белкоммунмаше. Относится к третьему поколению троллейбусов, разработанных заводом. Модель троллейбуса используется во многих городах России, а также в Беларуси, Кыргызстане, Латвии, Молдавии, Сербии и на Украине.

Основные типичные виды отказов:

1) показывает ток утечки (машина не заводится);
2) выходят из строя герконы токоуловитетеля;
3) не размагничиваются катушки токоприемников;
4) электроника выдает ошибки;
5) зимой промерзают трубки компрессора;
6) зимой промерзают гидравлические трубки открывания дверей.

Причины отказов:

1) плохая сборка;
2) плохие силовые контакторы;
3) сильная подверженность влиянию погодных условий.

Исследование технического состояния и отказов электрооборудования троллейбусов произведено по данным в различных климатических условиях в период их нормальной эксплуатации, полученным во время прохождения научно-исследовательской практики в ТГУ МП «ТТУ». Исследование показало, что наиболее характерные неисправности электрооборудования троллейбусов:

1) контакторы, реле;
2) тяговый двигатель;
3) эл. тормоз;
4) прочее в/в оборудование;
5) прочее н/в оборудование;

Для подключения напряжения контактной сети к преобразователю питания и управления тяговым электродвигателем троллейбуса используется блока линейных контакторов (БКС). БКС подключают между двухполюсным автоматическим выключателем с дистанционным управлением (типа ВБ-7/2) и тяговым преобразователем. Размещают

БКС на крыше троллейбуса под общим с тяговым преобразователем кожухом-обтекателем. БКС представляет собой контактор МК5-20 У3, закреплённый внутри защитной металлической оболочки, кроме контактора внутри оболочки закреплены разъёмы для подключения сигналов управления катушками контактора. Контактор электромагнитный серий МК5-20 У3 предназначены для работы в силовых электрических цепях подвижного состава рельсового транспорта и троллейбусах и в общепромышленных стационарных установках общего назначения. На графике, представленном на рис.1. можно наблюдать в какое время года происходит наибольшее число отказов контакторов.



Рис. 1. Отказы контакторов за 6 месяцев

Расчет надежности анализируемого контактора при температуре окружающей среды -25°С без учета условий эксплуатации показал, что результирующая вероятность безотказной работы всей системы равна 0,027 , что является низкой величиной. Это является следствием высокого значения интенсивности отказов контактной системы в связи с низкой температурой. Для увеличения вероятности безотказной работы рекомендуется улучшать контакторы. Но на практике данные рекомендации выполнить не всегда является возможным.

Расчет надежности анализируемого контактора при температуре окружающей среды 20°С без учета условий эксплуатации показал, что результирующая вероятность безотказной работы всей системы равна 0,149 , что является низкой величиной. Это является следствием высокого значения интенсивности отказа некоторых контактов. Для увеличения вероятности безотказной работы рекомендуется, либо заменить эти элементы более надежными, либо зарезервировать их элементами с более большей вероятностью безотказной работы. Но на практике данные рекомендации выполнить не всегда является возможным.

Можно сделать вывод, что наиболее подвержены изменениям контакторы в зимнее время года из-за повышенной влажности. Для повышения технического состояния рекомендуется усовершенствование контактной системы. Следует заменить контактную систему с медными контактами на серебряные, что сделает контактор устойчивым к обледенению.

Список литературы

1. Зайнетдинов Р.И. Развитие методов оценки работоспособности несущих конструкций подвижного состава с использованием закономерностей самоорганизации/Дис. докт. техн. наук.- М.: МИИТ, 2000.- 435 с.

2. Иванов Н.Л. Повышение долговечности несущих элементов кузовов трамвайных вагонов/ дис.-М.: Екатеринбург, 2009.-22 с.

3. Бачурин Н.С. Методика оценки показателей надежности трамвайного вагона/Научно-технический журнал "Транспорт Урала".-№1(20).-2009.-93 с. Режим доступа: [http: //vagons.tramvaj.ru/].

4. Костенко Н.А. Прогнозирование надежности транспортных машин//-Машиностроение.-1989.- 240 с.

5. Котельнец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин//.- Учеб. пособие для вузов по спец. «Электромеханика».-М.: Высш. Шк., 1988.-232 с.

6. Острейков В.А. Теория надежности//-учебник для вузов.-2-е изд.,испр.- М.: Высш.шк.,2008. – 463с.

7. Федюкин В.К., Дурнев В.Д., Лебедев. Методы оценки у управления качеством промышленной продукции//.- учебник.- М.: Информационно-издательский дом «Филинъ», Рилант,2000.-328 с.

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ЛИФТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ

Шпет Н. А.
Научный руководитель: Муравлёв О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Shpet_Nataly@sibmail.com

Лифтом называется стационарная подъемная машина периодического действия, предназначенная для подъема и спуска людей (грузов) в кабине, движущейся по жестким стационарным прямолинейным направляющим, у которых угол наклона к вертикали не более 15 градусов [1].

Лифт является неотъемлемой частью инженерного оборудования жилых административных зданий и сооружений. Он становится одним из наиболее важных и массовых средств пассажирского транспорта в городах. Роль его непрерывно возрастает в связи с объективной тенденцией повышения этажности строительства.

В современном ритме жизни очень важно, чтобы окружающие нас средства передвижения были надежными, комфортабельными и технически совершенными.

Актуальность темы заключается в обеспечении безотказной работы пассажирских лифтов путем детализации его составных элементов и выявлении существующих между ними взаимосвязей.

Цель работы – построение структурной модели пассажирского лифта, необходимой для оценки его эксплуатационной надежности.

Основной концепцией обеспечения надежности любых технических устройств на современном этапе эксплуатации является использование системного анализа [2]. Под системой понимается совокупность любым способом выделенных из остального мира реальных или воображаемых объектов (элементов). Для системы характерны следующие свойства: заданы связи, существующие между элементами; каждый из элементов внутри системы считается неделимым; с окружающей средой система взаимодействует как единое целое.

При разработке модели пассажирского лифта будем использовать метод структуризации, основанный на дезагрегатировании (поэтапном расчленении) проблемы. Одна из главных задач этого метода состоит в том, чтобы установить полный набор элементов на каждом уровне и определить взаимосвязи и соподчиненность между ними.

На рис. 1 представлена структурная схема пассажирского лифта.

На первом уровне произведено разделение лифта на две подсистемы: $\grave{A}_1^1$ - подсистема электрооборудования; $\hat{A}_1^1$ - механическая подсистема.

На втором уровне показаны основные составные части пассажирского лифта (9 элементов) так, как они указываются в технических условиях [3]:

$\grave{A}_1^2$ - лебедка, установленная в машинном помещении для приведения в движение кабины;

$\grave{A}_2^2$ - кабина с приводом дверей, необходимая для транспортирования пассажиров;

$\grave{A}_3^2$ - шунты и датчики, установленные на кабине и шахте лифта на разных отметках по высоте подъема и предназначенные для обеспечения автоматической работы лифта; при взаимодействии шунта с датчиком в систему управления лифтом подается команда на изменение скорости, на остановку, а также определяется местонахождение кабины на верхней или нижней остановке;

$\grave{A}_4^2$ - вспомогательное электрооборудование;

$\hat{A}_1^2$ - направляющие движения, обеспечивающие фиксированный путь движения кабины и противовеса и исключающие их развод вокруг вертикальной оси и раскручивание;

$\hat{A}_2^2$ - противовес и подвеска; противовес предназначен для уравновешивания веса кабины и половины грузоподъемности лифта, размещен в шахте лифта и с помощью подвески подвешен на тяговых канатах; подвеска также необходима для движения кабины при помощи тяговых канатов;

$\hat{A}_3^2$ - двери шахты, закрывающие проемы шахты;

$\hat{A}_4^2$ - оборудование приямка;

$\hat{A}_5^2$ - установка конечного выключателя (с ограничителем скорости), служащие для приведения в действие ловителей кабины (противовеса) при ее движении вниз со скоростью превышающей допустимую.

На третьем уровне приводится перечень элементов (21 элемент), из которых состоят основные части лифта:

$\grave{A}_1^3$ - двухскоростной асинхронный двигатель;

$\grave{A}_2^3$ - тормоз;

$\grave{A}_3^3$ - редуктор;

$\grave{A}_4^3$ - коммутирующая аппаратура;

$\grave{A}_5^3$ - канатоведущий шкив;

$\grave{A}_6^3$ - двигатель привода дверей;

$\grave{A}_7^3$ - привод дверей;

$\grave{A}_8^3$ - кабина;

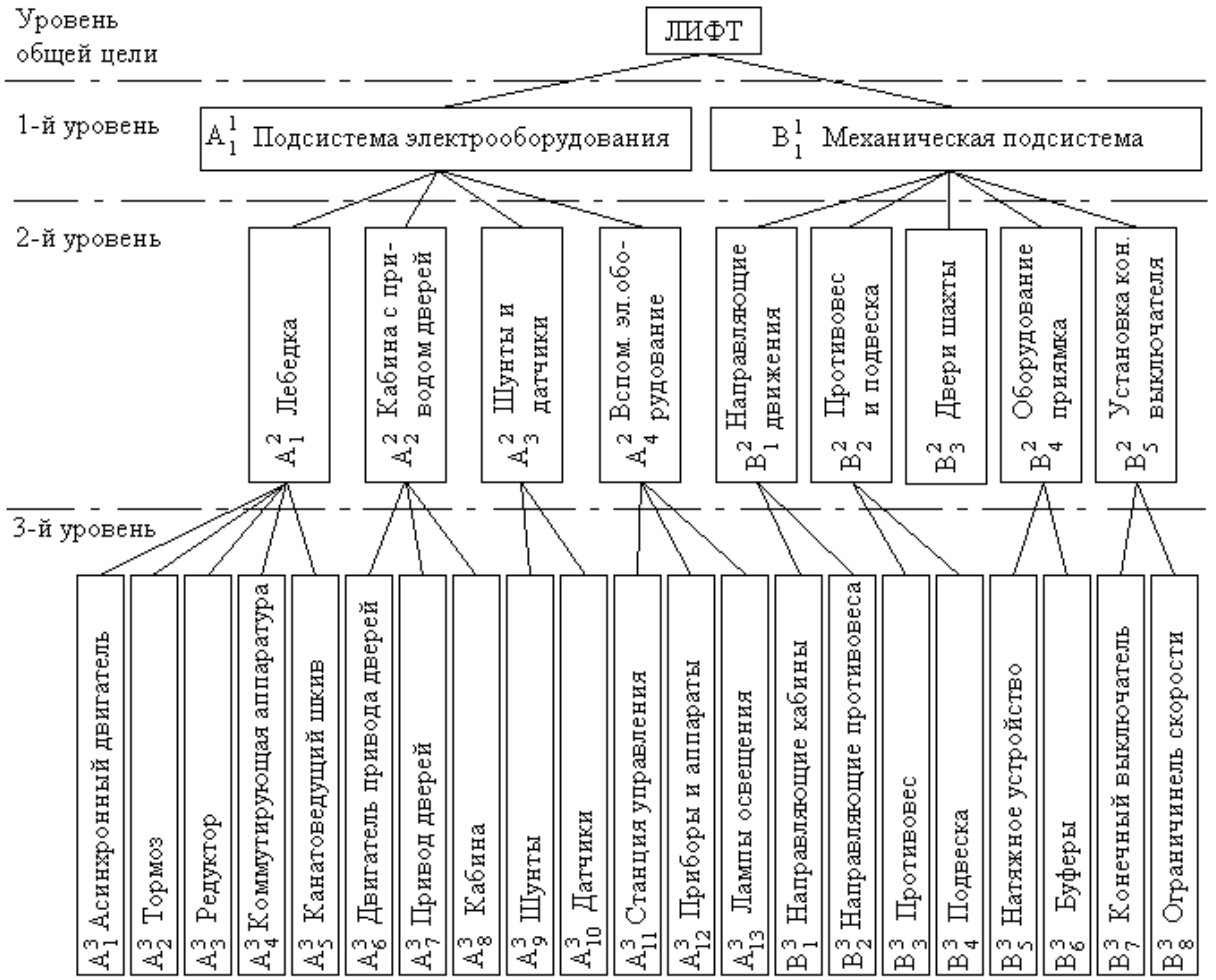


Рис. 1. Структурная модель пассажирского лифта.

$\grave{A}_9^3$ - шунты;

$\grave{A}_{10}^3$ - датчики;

$\grave{A}_{11}^3$ - станция управления;

$\grave{A}_{12}^3$ - приборы и аппараты, находящиеся в машинном помещении;

$\grave{A}_{13}^3$ - лампы освещения;

$\hat{A}_1^3$ - направляющие кабины;

$\hat{A}_2^3$ - направляющие противовеса;

$\hat{A}_3^3$ - противовес;

$\hat{A}_4^3$ - подвеска;

$\hat{A}_5^3$ - натяжное устройство каната ограничителя скорости, связанное посредством каната с ограничителем скорости;

$\hat{A}_6^3$ - буферы кабины и противовеса, необходимые для ограничения их хода;

$\hat{A}_7^3$ - конечный выключатель;

$\hat{A}_8^3$ - ограничитель скорости.

На рис. 1 структурная модель пассажирского лифта представлена в виде дерева целей. Эта модель имеет иерархическую структуру и определяет порядок расчета надежности: надежность элементов каждого предыдущего иерархического уровня является основой для надежности элементов последующего уровня.

Подводя итог, можно сказать, что использование системного анализа позволило систематизировать все элементы пассажирского лифта, что в дальнейшем даст возможность оценить значимость каждого элемента и сформулировать рекомендации для улучшения его эксплуатационной надежности.

Список литературы

1. Лифты. Учебник для вузов /под общей ред. Д.П. Волкова – М.: изд-во АСВ, 1999. – 480 стр. с илл.

2. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа. – Томск: Изд-во НТЛ, 2001. – 396 с.

3. ТУ 4836-179-00240572-2007 – Лифты пассажирские и грузовые. Групповые технические условия.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СИСТЕМОЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ С НАСТРАИВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Яковлев Д. А., Викторов П. В.
Научный руководитель: Коловский А.В., к.т.н., доцент.
ХТИ – филиал СФУ, 655017, Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail: jakovlev_d_al@mail.ru

В работе выполнен синтез системы с переменной структурой (СПС) с настраиваемой поверхностью скольжения для управления электроприводом. С помощью компьютерного моделирования получены переходные процессы в СПС с настраиваемой и фиксированной поверхностью переключения при различных параметрах объекта управления.

К современным регулируемым электроприводам применяются все более высокие требования по надежности и качеству регулирования, функциональные возможности и эксплуатационные параметры которых во многом определяются характеристиками применяемых систем управления. В настоящее время в теории управления активно развивается, и получил широкое распространение адаптивный подход [1]. Его концепция связана с приспосабливанием управляемой системы к влиянию внешней среды для достижения желаемого поведения.

К адаптивным системам также относятся системы с переменной структурой. Наиболее широкое признание и применение в этой теории получило направление, изучающее особый вид движений в системах с переменной структурой, так называемые скользящие режимы [2].

В режиме скольжения динамические свойства системы определяются уравнением поверхности переключения и не зависят от параметров объекта управления (ОУ). Таким образом, система, находящаяся в скользящем режиме, будет нечувствительна к параметрическим и внешним возмущениям.

В классической СПС для обеспечения качества системы в режиме скольжения не хуже заданного выбор параметров поверхности переключения производят исходя из наихудшего набора параметров объекта управления. Однако при большом разбросе параметров ОУ это приводит увеличению коэффициентов усиления и большим амплитудным колебаниям в реальном скользящем режиме. Кроме того система управления настроенная на наихудший случай при более благоприятном сочетании параметров будет обладать теми же динамическими характеристиками, что снижает ее эффективность. Данная проблема может быть решена применением настраиваемой поверхности переключения [1].

В качестве объекта управления был взят электропривод типа преобразователь–двигатель постоянного тока независимого возбуждения. Если в качестве координат рассматривать рассогласование между заданными и текущими значениями скорости и тока, математическое описание электропривода в регулярной форме примет вид [3]:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \dfrac{c_m}{J} x_2 \\ \dot{x}_2 = -\dfrac{c_e}{R_a T_a} x_1 - \dfrac{1}{T_a} x_2 - \dfrac{K_{\text{п}}}{R_a T_a} u \end{cases}, \quad (1)$$

где $x_1 = \omega_{\text{н}} - \omega$; $x_2 = 0 - i_a$.

Для удобства исследования динамики представим математическое описание системы в относительных единицах, тогда координаты электропривода рассматриваются относительно их базовых значений. В качестве базовых для напряжения управления и угловой скорости выбраны соответствующие номинальные значения. Для тока якорной цепи и момента в качестве базового принято максимальное значение тока якоря двигателя. Тогда математическое описание в относительных единицах примет вид:

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}(t)\mathbf{X} - \mathbf{B}u, \quad (2)$$

где $a_{12} = \dfrac{c_m I_{\text{аб}}}{J \omega_{\text{б}}}$, $a_{21} = -\dfrac{c_e \omega_{\text{б}}}{R_a T_a I_{\text{аб}}}$, $a_{22} = -\dfrac{1}{T_a}$, $b_2 = \dfrac{K_{\text{п}} U_{\text{уб}}}{R_a T_a I_{\text{вб}}}$, причем коэффициенты могут изменяться в некотором ограниченном диапазоне.

Процедура синтеза систем с настраиваемой поверхностью скольжения осуществляется в три этапа [1]. На первом этапе в условиях полной априорной информации о параметрах объекта управления выбираем «идеальное» уравнение поверхности разрыва $s(\mathbf{C}_{\text{э}}, \mathbf{X}) = 0$, ($\mathbf{C}_{\text{э}}$ – матрица идеальных параметров уравнения разрыва) таким образом, чтобы движение в скользящем режиме обладало желаемыми свойствами. На втором этапе синтезируется алгоритм настройки параметров уравнения разрыва, обеспечивающий желаемое качество при отсутствии априорной информации о параметрах объекта управления. На третьем этапе строится управление, гарантирующее возникновение и существование полного скользящего режима.

Уравнение поверхности переключения имеет следующий вид:

$$s(\mathbf{X}, c) = cx_1 + x_2. \quad (3)$$

В режиме скольжения $s = 0$.

Выразив из уравнения (3) x_2, и подставив ее в систему (2), получим описание системы в виде:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -a_{12}cx_1 + a_{12}s \\ \dot{x}_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 - b_2u \\ s = cx_1 + x_2 \end{cases} \quad (4)$$

Желаемое поведение объекта по координате x_1 зададим уравнением эталонной модели:

$$\dot{x}_{э1} = a_э x_{э1} + b_э s\,. \quad (5)$$

Введем вспомогательную цель управления:

$\|x_1 - x_э\| \to 0$ при $t \to \infty$, $s(t) \equiv 0$ при $t \ge t_э$,

выполнение которой при ограниченном c обеспечивает достижение цели

$$x_1(t) \to 0,\ x_2(t) \to 0 \text{ при } t \to \infty\,.$$

При известных параметрах ОУ цель управления достигается, если существуют такие $c = c_*$, $b = b_{э*}(t)$, что выполнены условия:

$$-a_{12}c_* = a_э,\ b_{э*}(t) = a_{12}(t)\,. \quad (6)$$

Здесь c_*, и $b_{э*}$ – начальные значения параметров для идеального скользящего режима, выбранные в условиях полной априорной информации о параметрах объекта управления.

Считая $c(t)$, $b_э(t)$, $u(t)$ настраиваемыми переменными, проведем синтез алгоритма адаптивного управления, используя сепарабельную квадратичную форму:

$$V_3(e,c,b_ý) = \frac{1}{2}ehe + \frac{1}{2}\|c - c_ý\|^2_{G_1^{-1}} + \frac{1}{2}\|b - b_ý\|^2_{G_2^{-1}} + f(s)$$

где $e = x_1 - x_э$, $h > 0$ и введены обозначения:

$$\|c - c_э\|^2_{G_1^{-1}} = (c - c_э)G_1^{-1}(c - c_э)\,,\ G_1 > 0;$$

$$\|b - b_э\|^2_{G_2^{-1}} = (b - b_э)G_2^{-1}(b - b_э)\,,\ G_2 > 0;$$

$$f(s) = \frac{1}{2}\left(b_2^{-1}\right)^2 s^2\,.$$

Вычислим производную $V_3(e,c,b_э)$ вдоль траектории системы (4), (5), с учитывая (6)

$$\dot{V}_3 = eH\left(-a_{12}cx_1 + a_{12}s - a_ý x_ý - b_ý s\right) + \\ + \left(c - c_ý\right)G_1^{-1}\dot{c} + \left(b_ý - b_{ý*}\right)G_2^{-1}\dot{b}_ý + \dot{f}(s)$$

$$\dot{V}_3 = eha_э e + eh\left\{-a_{12}\left(c - c_ý\right)x_1 + \left(b_{э*} - b_ý\right)s\right\} + \\ + \left(c - c_ý\right)G_1^{-1}\dot{c} + (b_ý - b_{ý*})G_2^{-1}\dot{b}_ý + \dot{f}(s).$$

Выбирая алгоритмы настройки в виде:

$$\begin{cases} \dot{c} = G_1 a_{12} hex_1 \\ \dot{b}_э = G_2 hes \end{cases},$$

получаем

$$\dot{V}_3 = eha_э e + s\left(b_2^{-1}\right)^2 \dot{s}\,. \quad (7)$$

Полная производная функции $s(c,x)$ находится на основе исходных уравнений системы (2)

$$\dot{s}(c,x) = \left(a_{21} + \dot{c}\right)x_1 + \left(ca_{12} + a_{22}\right)x_2 - b_2u\,. \quad (8)$$

Из уравнений (7) уравнение (8) получим:

$$\dot{V}_3 < -\frac{1}{2}\rho eha_э e + s\left(b_2^{-1}\right)^2\left(a_{21} + \dot{c}\right)x_1 + \\ + s\left(b_2^{-1}\right)^2\left(ca_{12} + a_{22}\right)x_2 - s\left(b_2^{-1}\right)u$$

Выбирая разрывное управление в форме

$$u = u_0(x)\,sign\left(b_2^{-1}s\right),$$

окончательно получаем:

$$\dot{V}_3 < -\frac{1}{2}\rho eha_э e + \left|sb_2^{-1}\right|\left|b_2^{-1}\right|\left\{|c||a_{12}||x_2| + |a_{21}||x_1| + \right. \\ \left. + |a_{22}||x_2| + |\dot{c}||x_1|\right\} - u_0\left|b_2^{-1}s\right|$$

Для того чтобы при $s \ne 0$ функция $\dot{V}_3 < 0$ достаточно потребовать, чтобы u_0 удовлетворяла условию

$$u_0 > \gamma_0\left\{\gamma_{x2}|x_2||c| + \tilde{\gamma}_{x1}|x_1| + \tilde{\gamma}_{x2}|x_2| + |\dot{c}||x_1|\right\},$$

где $\gamma_0 \ge b_2^{-1}$, $\gamma_{x2} \ge |a_{12}|$, $\tilde{\gamma}_{x1} \ge |a_{21}|$, $\tilde{\gamma}_{x2} \ge |a_{22}|$, $|\dot{c}| \le \gamma_c|e||x_1|$, $\gamma_c \ge |G_1||a_{12}||h|$.

Результаты моделирования электропривода с рассмотренной системой управления с различными моментами инерции в Simulink представлены на рисунке 1.

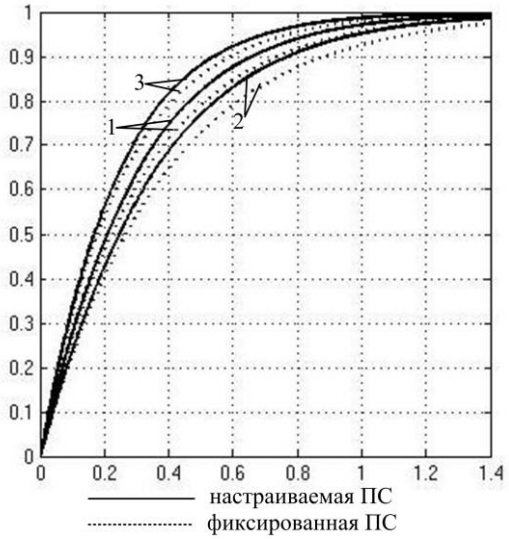


Рис. 1. Переходные процессы в ЭМС.
1 – $J = 0{,}8J_н$; 2 – $J = 1{,}2J_н$

Из результатов моделирования видно, что с настраиваемой поверхностью переключения быстродействие системы выше и меньше влияние параметров объекта управления при ограниченном сигнале управления.

Список литературы

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5-ти томах. Т5: Методы современной теории автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.

2. Уткин, В.И. Скользящие режимы в задачах управления и автоматизации / В.И. Уткин. – М.: Наука, 1981. – 368 с.

3. Кочетков, В.П. Основы электропривода: учеб. пособие. 2-е изд., испр. / В.П. Кочетков. – Абакан: Сиб. федер. ун-т; ХТИ – филиал СФУ, 2007. – 272 с.

LINEAR MOTOR WITH BATCH ELEMENT

Zyl K.A., Ekimova O. Yu.
Scientific supervisor: Ivanova A.G., graduate student
Linguistic advisor: ShvalovaG.V.
Tomsk polytechnic university, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: kris-90@yandex.ru

The linear motor is an electric motor. The linear motor has the opened element of the magnetic system. Besides, it has a detailed winding creating a magnetic field, and the other element of it interacts with it. The liner motor design provides a linear movement of the moving engine. In fact, the linear motor is the standard engine, but its components arranged in such a way that the electromagnetic coil moves the flat stator.

The fixed part of the linear motor, receiving power from the mains, called the stator, or the inductor. The part of the engine receiving energy from the stator is called the secondary element or the armature [1].

One of variants execution of linear engine of direct-current is a linear engine with an active batch element. Its basic difference consists in that in all other electric motors currents flow in the windings, made of winding wire. The new type of an active element is used in the same electric motor, in basis of which winding (batch) is used from a thin conducting tape [2]. The engine suggested construction can provide the required current within the specific parameters of the machine. Thus, the basic advantage of this engine is an active element will not be so strong to overheat, because plates are located above each other and related to the case. Moreover, it enables to take the heat onto the engine body where it will dissipate into the environment.

The linear motor construction with the active batch element is presented in Fig. 1.

The magnetic field source - the permanent magnets (1) afford to move on guiding (3) and added to the upper magnetic core (2). To the base of device lower magnetic core (4) is fastened, to which an active element (batch of conducting plates) (5) is rigid. The surfaces of active element are parallel the surfaces of the magnet poles. The batch element is made from a tape by folding it into a "bellows". There are layers of electrically insulating material between the plates. The plates are connected in series with the electrical circuit with jumper (6) (made from the same tape), which connect the adjacent contact plates, which are in alternate angle of the plates.The upper and lower magnetic cores made of steel, the threading plate batch constant magnetic field. Mechanical force occurs under the flux magnetic presence and current plates batch.

The magnetic field source is mounted on a slide node device - node carriage, which consists of a base nodded permanent magnets and nodded rollers. Roller nodes allow source displacement in the horizontal direction along the active batch element.

The active element is a rectangular batch of the conductive tape. As a basis for manufacturing of a batch element the tape was chosen from an aluminum foil in thickness of 0,07 mm and isolated with paper on the both side. The thickness of a tape taking with isolation makes 0,15 mm. Width of a tape - 50 mm. The batch element is made from a tape by folding it into a "bellows" and forming a package from 60 plates.

From the corresponding cutouts in places of inflection tape is reached required character of the electric current. Places inflection - is the jumper. Their cross-sectional area substantially smaller than the main part of the plate. In the jumpers increases current density significantly. Narrowing plots of sectional area are furnace zone. The remaining sections of the surface plates are the cooling zone. The distance between the centers of the resulting lateral grooves equal to the pole pitch magnet [3].

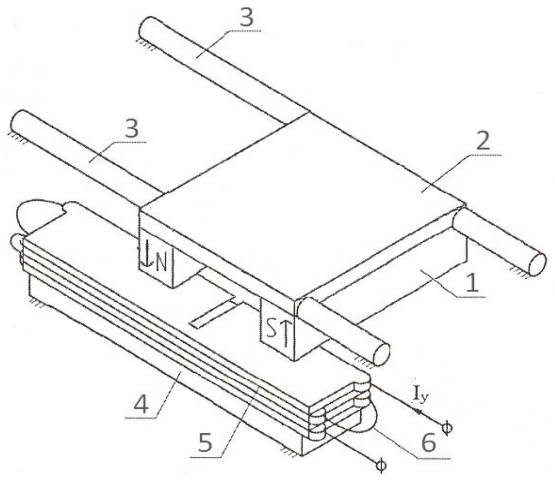


Fig.1. Linear motor with batch element

The flat plate fixed the top and bottom surfaces, on the batch. The plates are made of aluminum alloy - duralumin, a 0.5 mm thick. Plates are used to maintain the geometric configuration of the batch and for the organization of shunt. The top corners of plates have contacts. The odd plates contact located on the diagonals in one direction, and on the even - in the other direction of the diagonals [3].

A 450x220 mm is overall dimensions of the installation. A 1 mm mechanical gap between the permanent magnets and thebatch element

The permanent magnets locations are not under each other, but on the one side. It is distinctive feature of the design. Each plate of the package will be under the influence of a field with altered characteristics, since the area of the magnetic field will increase

and decrease the induction. Induction in the area of the plane-field is approximately the same at all points and it is the maximum. And where the magnetic flux branches, on the other plate acts induction values (Fig. 2).

The magnetic flux in this case passes through the non-magnetic gap. The flow through the air gap under the permanent magnet N, mechanical air gap batch bottom of the magnetic circuit, batch, mechanical air gap, permanent magnet S, and the upper part of the magnetic circuit is shown in Fig.2.

In this case, the magnetic flux passing through the batch will not be a plane-parallel, and will be distributed. Therefore, the interaction of each plate with the magnetic flux will be different from the interaction with the plates, which are located above or below.

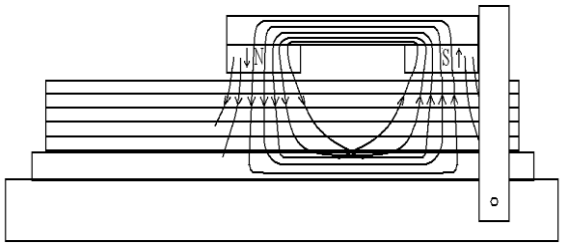


Fig.2. Distribution lines of force

The linear motor with permanent magnets consists of the movable part and the fixed part. On the fixed part the circuit elements controls located. The circuit elements controls are a batch node. The plates are parallel to the surfaces of the batch node poles of permanent magnets.

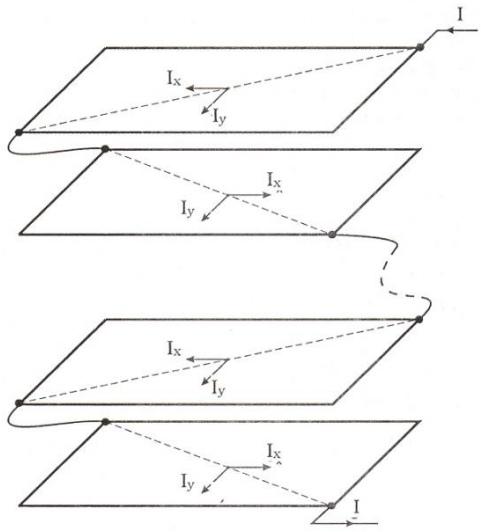


Fig.3. Plate batch

Increasing the number plates will need to increase the magnetic gap, establishing the plate batch (Fig. 3). The increase in the gap will increase the resistance to the passage of the magnetic field flux, which reduces the induction. Maintaining the same level of induction requires a substantial increase in current consumed by permanent magnets.

When the conductors are in the diagonal directions of each layer, the increase assisting force can organize the use of a thin wire active structure. The magnetic air source of the magnetic field must be less than the product of the wire size on the number of layers. However, the required air gap is greater than the thickness of the batch from the same number of plates (layers) [3].

The research setup consists of two units - the power supply to the controls and the linear motor model.

Power supply is connected to a 220 V 50 Hz and the body must be grounded. The source contains the autotransformer, the step-down transformer, the rectifier with a filter. The ammeter measures the current from 0 to 20 A.

The experimental research procedure is to determine the dependence created by force developed by the executive element, the length of the batch.

Mechanical load is applied to the movable element through the calibrated load slung on a string and connected with a beam and passing through a chute roller. Adjust the relative position of the required magnetic field source and batch element by using an adjustable limiter. The adjustable limiter is a screw in fixed on the basis of retaining the bracket. The screw is part of the circuit signal to break in the case of exceeding the executive device force developed by a load slung on a string.

The developed system for linear motor research with a batch element providesthe transitional displacement of the moving element without using mechanical motion transducers. A new type of the active element is used in such kind of the electric motor for reducing overheating of the active element. A thin conducting tape presents itself as the basis. This embodiment of the active element allows avoiding overheating and contact with the surface of the batch body. It can conduct heat to the body at high current density in a tape.

In the case of increasing the number of plates in the design provides the variant lifting carriage node to the desired height with the additional adjusting shim, which allows the active element research of different thickness batch.

References

1. Арипов Р. С. Линейные электрические машины и приводы на их основе: Учебное пособие. – Уфа: БГАУ, 2003. – 201с.

2. Ekimova O. Yu., Tatarnikova K.A. Erection torque motor with band winding// The eighteenth International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists “Modern Techniques and Technologies” (MTT’2012), Tomsk: TPU Press, 2012. – 49-50 p.

3. Линейный двигатель с активным пакетным элементом/Иванова А.Г., Мартемьянов В.М., Плотников И.А.. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. №11

ESTIMATION OF WINDING WIRES INSULATION RESISTANCE TO THE SURFACE DISCHARGES

E.Y. Soldatenko, A.A. Korobcov, A.P. Leonov
Scientific supervisor: A.P. Leonov, Ph.D. in Technical Science, Associate Professor
Language advisor: A.K. Stolyarova, Ph.D., Associate Professor
National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin str., 30
E-mail: soldatenko90@tpu.ru

One of the main requirement for windings insulation systems of low-voltage electrical machines is a possibility to save electrical properties during all the lifetime. In the end of the XX century, the frequency control system of an electric drive has been created, having the main advantages such as energy saving and high accuracy speed control of an electric motor. It has resulted in a sharp increase of the electrical loads intensity and, subsequently, appearing the surface (corona) discharges in winding pores and voids, greatly reducing an insulation life [1, 2, 3]. Then the revealing method question of an electrical insulation resistance has been arisen, especially enameled wires, to the impact of the surface (corona) discharges.

Currently, there are several methods allowing to find the tracking resistance parameters, corona resistance and electric arc action. It can more or less estimate the ability of dielectric insulation materials to withstand electrical loads. Unfortunately, these methods have significant disadvantages: they can only be applied to sheet materials, most of which being destructive and the obtained results in some cases are symbolical and do not let determine a corona resistance insulation. Moreover, the proposed test circuit is not applicable to enameled winding wires. Thus, the methods development for estimating enamel an insulation resistance to the surface discharges are an important task because it will adequately allow to justify the choice of the winding insulation components and to ensure its reliability.

The insulation resistance estimation to the surface (corona) discharges is produced by placing a test sample in the corresponding environment. Such conditions are obtained by using the electrode systems "wire-shot" (fig.1) [4], "wire-plate" (fig.2). Taking into account the experience [5], the test voltage range can be from 4 to 5 kV. A lower voltage level provides surface discharges appearing; the top is not sufficient for immediate breakdown of the intact insulation. The criterion is the average time from a voltage input to a insulation breakdown.

The article presents a number of the tests in the above mentioned electrode systems. The objects have been wire marks: PETD2-K-180, PETD-180, PET-155 and PETV-2. The samples showing the greatest time to breakdown (PETD2-K-180, PETD-180) have additionally been tested after the winding on a metal rod and the tension of 5% and 10%. The results are summarized in Table 1. Thus, the wire PETD2-K-180 withstands better the electrical loads both in the delivery state and after a mechanical impact.

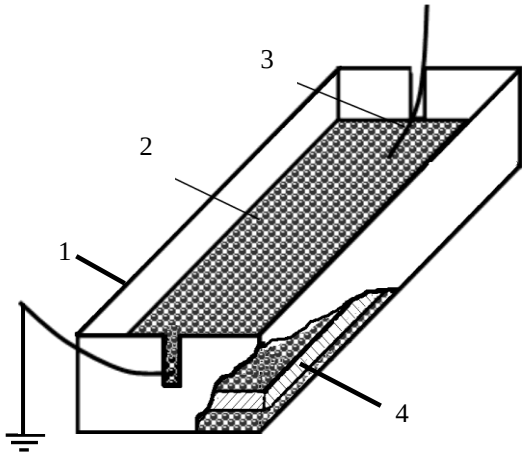


Fig. 1. Test cell:
1 – bath; 2 – steel shot; 3 – a grounded wire;
4 – metal electrode.

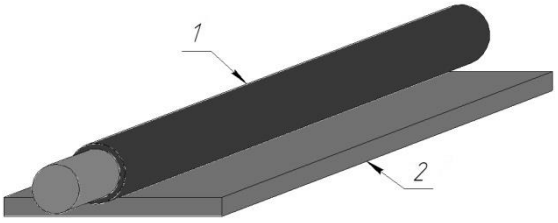


Fig. 2. Test cell:
1 – a grounded wire; 2- copper plate.

Table 1. The results of determining the average time to a breakdown enamel insulation

Wire mark	Test voltage, kV Average time to breakdown, s					
	4		4,5		5	
Electrode system: «wire-shot»						
PETD2-K-180	4028		2096		1189	
PETD-180	3987		2067		1386	
PET-155	2595		819		328	
PETV-2	923		463		186	
Electrode system: «wire-plate»						
PETD2-K-180	2052		887		273	
PETD-180	2643		1113		268	
PET-155	748		440		194	
PETV-2	648		388		187	
Electrode system: «wire-shot», after the winding						
PETD2-K-180	3987		2096		1189	
PETD-180	4028		2067		1386	
Electrode system: «wire-shot», after the tension						
Δℓ,%	5	10	5	10	5	10
PETD2-K-180	2691	1150	1714	930	478	361
PETD-180	1981	1003	1271	802	420	296

In paper [6], a control-measuring system for the winding wire lifetime evaluation is proposed duplicating the conditions created by the frequency regulation system of an electric motor (temperature influence, frequency, voltage and rise time of pulses). Based on the Department of Electromechanical plants and materials, a similar system have been made in TPU with the following characteristics: an alternating voltage with the amplitude of 1200 V, frequency of 400 Hz with the quantization voltage frequency (modulation) of 5 kHz (the duration of the wave front), with the rate of pulse rise 4 ms and temperature corresponding to the heat resistance of enameled winding wires [7]. The test samples are like a twisting wire with the operating zone of 125 mm. A corona resistance criterion is also the average time to an electrical insulation breakdown. The results are shown in Table 2.

Table 2. Corona resistance of a twisting enameled wires at the HF-tests

Wire mark	Average time to breakdown, s
PETD2-K-180	7140
PETD-180	2337
PET-155	2985
PEEA-155	684

Table 2 shows that the PETD2-K-180 wire has the greatest corona resistance at the operating temperature. It enables to make recommendations for its use in the electric machines windings (in case of application of the system frequency control because of having the highest resistance to corona discharges). The above wires having the thermal class F and wire PETD-180 are much worth in size of the average time to the breakdown.

Conclusion:

1. The obtained results clearly demonstrate the different degrees of enameled wires resistance to electrical loads.

The greatest time to a breakdown from a number of tested wire marks belongs to PETD-180 and PETD2-K-180. The value of the average time to a breakdown of their enamel insulation is almost comparable in the delivery state. This is due to the fact that the insulation of these wires is a two-layer composition. The inner layer of the wire PETD-180 is made of a polyester enamel, external - of polyamide-imide enamel. The inner layer of PETD2-K-180 is made of a trihydroxyethylcyanurate enamel containing a silica nanoparticles at least 0.1% vol., and external – of polyamide-imide enamel. Such compositions provide the necessary corona resistance properties of the insulation.

2. It is necessary to carry out a more exact estimation of the stability insulation to surface discharges after a mechanical stress (tension, winding on a metal rod). The results show the greatest resistance to corona discharges after the tension and winding belonging to the wire PETD2-K-180.

3. The average time value to the enamel insulation breakdown of samples on a copper plate is lower than in a steel shot. This is due to the fact that the large surface area of the pad electrode promotes an ozone concentration increase and thereby the destruction rate increase of an enamel film. A low value of the average time to an insulation breakdown was obtained as a result of the field inhomogeneity at the samples attaching point. However, the obtained results on a pad electrode show the different levels of enamel wire resistance to electrical discharges.

4. The final estimation of the corona resistance is possible after testing high-frequency electrical pulses. In this case, the sample is exposed to the complex loads under operating conditions: temperature, electric voltage, corona discharges.

5. The corona resistance usage and electric insulating materials are compulsory and, moreover, winding wires with a frequency control application. It is connected with the fact that an increase of the repetitive surge of electrical impulses, generated by the voltage source inverter PWM, the operating loads level is increased, accelerating the aging process of an insulating system. The electrical aging leads to premature wearing and an insulation breakdown.

References:

1. Melfi, M., Sung, A.M.J., Bell, S., Skibinski, G.L. Effect of Surge Voltage Risetime on the Insulation of Low Voltage Machines Fed by PWM Converters // Industry Applications, IEEE Transac-tions on, Jul/Aug 1998, pages (766 - 775).

2. Stone G.C., Culbert I.M., Lloyd B.A. Stator insulation problems associated with low voltage and medium voltage PWM drives // Cement Indus-try Technical Conference Record, IEEE, Apr/May 2007, pages (187 – 192).

3. Bogh, D., Coffee, J., Stone, G., Custodio, J. Partial discharge inception testing on low voltage motors // Industry Applications, IEEE Transactions on, Jan.-Feb. 2006, pages (148 - 154).

4. Ю.П. Похолков, А.П. Леонов, А.А. Коробцов. «Изоляция обмоток низковольтных асинхронных двигателей в условиях применения системы частотного управления», Электричество №6, 2012.

5. Авторское свидетельство СССР №536443, МПК5 G01R31/00, опубл. 25.11.1976

6. Pulse width modulation simulator for testing insulating materials. US Patent No. 6051980, Is-sued on April 18, 2000.

7. Авторское свидетельство РФ №2008133291/22, опубл. 27.01.2009

СЕКЦИЯ 5

Системы и приборы медицинского назначения

SECTION 5

Medical devices and installations

ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАМ В ФГБУ “НИИ ОКОЛОГИИ СО РАМН”

Бажин С. И.
Научный руководитель: Песков В. В.
ГБОУ ВПО СибГМУ Минздравсоцразвития России, 634050, Россия, г. Томск, Московский тракт, 2
E-mail: stanislavbazhin@yandex.ru

По определению ЮНЕСКО, информационные технологии (ИТ) — это комплекс взаимосвязанных научных, технологических, инженерных дисциплин, изучающих методы эффективной организации труда людей, занятых обработкой и хранением информации; вычислительную технику и методы организации и взаимодействия с людьми и производственным оборудованием.

Так как качество оказания медицинской помощи в современных условиях во многом зависит от распределения, обработки огромных объемов информации, вполне закономерно применение ИТ в медицинских учреждениях. При этом основными целями можно обозначить:

- повышение доступности медицинских данных;
- контроль и оптимизация распределения людских и материальных ресурсов;
- облегчение ведения медицинской статистики и отчетности.

Можно выделить два основных направления развития применения ИТ для достижения указанных целей:

1. Построение комплексной медицинской информационной системы (МИС) для автоматизации всех основных аспектов деятельности
2. Интеграция нескольких МИС ЛПУ в комплекс, позволяющий организовать Единое информационное пространство (ЕИП), объединяющее информационные ресурсы ЛПУ [1].

В ФГБУ “НИИ онкологии СО РАМН” для проведения информатизации был выбран следующий набор программного обеспечения:

1. Makhaon PACS (англ. Picture Archiving Communication System - система получения, передачи и хранения медицинских диагностических изображений) – представляет собой архив исследований, полученных от приборов отделения лучевой диагностики с использованием протокола DICOM (англ. Digital Imaging and Communications in Medicine, и рабочие станции врачей для получения и работы с исследованиями;
2. Автоматизированное место врача (АРМ) LookInside – применяется для ведения протоколов исследований в отделении лучевой диагностики;
3. МИС Медиалог – используется для автоматизации всего процесса оказания медицинской помощи пациенту, основанной на ведении электронной медицинской карты (ЭМК).

LookInside и Makhaon образуют ЕИП в пределах отделения лучевой диагностики, при этом результаты работы данного отделения не доступны врачам других отделений на АРМах МИС Медиалог. Нарушается доступность данных и как следствие нарушение целостности ЕИП. Для решения этой проблемы можно предложить несколько вариантов. Например, осуществлять выгрузку данных через дополнительное приложение. Но есть ряд недостатков такого решения: выгрузка производится через определенные промежутки времени, что не позволит иметь актуальную информацию; данное решение будет исключительным для данной ситуации, то есть невозможным будет его использование при появлении нового ПО. Либо вариант лишенный, приведенных ранее, недостатков, использование стандарта обмена сообщений HL7 v.2.3. Назначение стандарта HL7 состоит в стандартизации обмена данными, а не прикладных систем, занимающихся этим обменом. [2]. Стоит отметить, что все три программных продукта поддерживают HL7.

Для создания обмена данных на основе выбранного протокола, необходимо:

1. Проведение анализа данных, получаемых в отделении лучевой диагностики, и выбор необходимых данных для сообщений HL7;
2. Проведение анализа структуры базы данных (БД) в открытых системах (МИС Медиалог);
3. Описание процесса взаимодействия МИС Медиалог, Makhaon PACS, LookInside (рис. 1);
4. Создание перечня и описания поддерживаемых сообщений;
5. Разработка технического задания и рекомендаций по интеграции на основе HL7-сообщений для закрытых систем (LookInside и Makhaon);
6. Настройка модуля HL7 в МИС Медиалог;
7. Тестирование процедур обмена данными на тестовой модели, внедрение в опытную эксплуатацию.

Для передачи из ЕИП отделения лучевой диагностики используется следующая информация:

1. Идентификатор пациента LookInside;
2. Идентификатор визита пациента LookInside;
3. Фамилия, Имя, Отчество, пол, дата рождения пациента;
4. Идентификатор исследования (UID DICOM) Makhaon;

5. Информация о визите пациента (идентификатор исследования, дата проведения исследования, применение контраста);
6. Результаты исследований (текст протокола исследования, заключение).

События, инициирующие обмен сообщениями:
1. Создание нового пациента;
2. Направление пациента на обследование в отделение лучевой диагностики;
3. Получение архивом Makhaon PACS результатов исследования;
4. Факт завершения оформления протокола исследования и постановка заключения;

Пример HL7 сообщения:

Создание нового пациента:

MSH|^~\&|HL7LI|NII|HL7MIS|NII|||ADT^A08|LI 12345|D|2.3

PID|||54321||BAJIN^STANISLAV^IGOREVICH|| 19870513|M

Проведен анализ: данных, получаемых в отделении лучевой диагностики, структуры базы данных МИС Медиалог. На данный момент проводится разработка технического задания интеграции предложенных МИС.

Медицина в России и странах СНГ имеет ряд особенностей, поэтому поддержка российскими информационными системами медицинских стандартов не может быть осуществлена простым применением американских или европейских стандартов – это отдельная исследовательская работа[3].

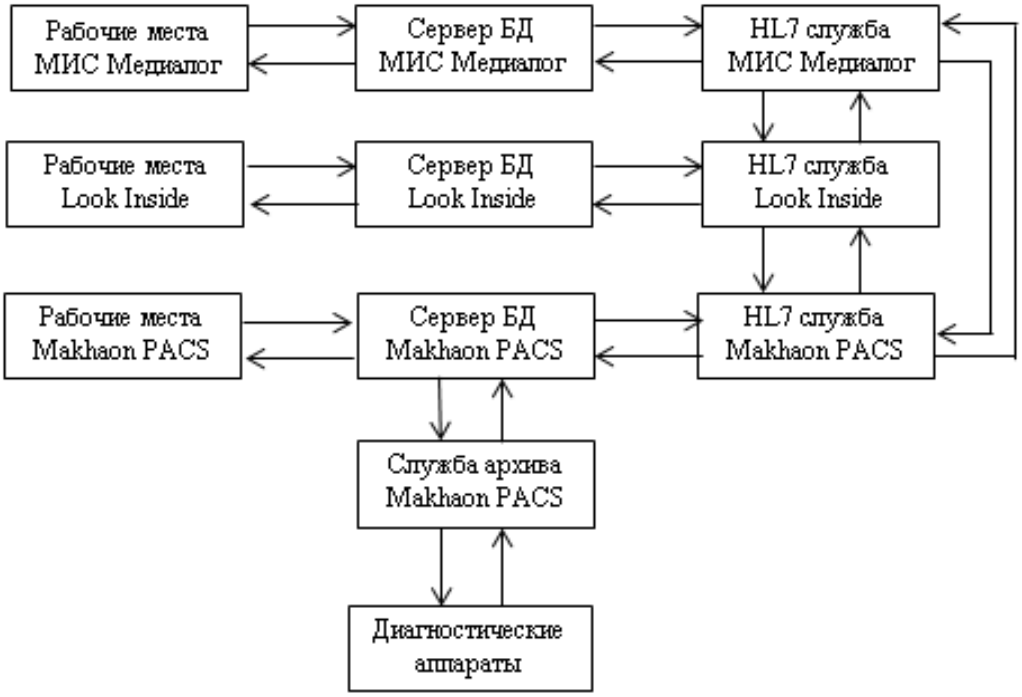


Рис. 1 Схема взаимодействия МИС Медиалог, Makhaon PACS, LookInside.

Список литературы

1. Вопросы создания Единого информационного пространства в системе здравоохранения РАН / Н. Г. Гончаров, Я. И. Гулиев, Ю. В. Гуляев, Ю. М. Кавинская, А. А. Каменщиков, А. Я. Олейников, М. И. Хаткевич // Информационные технологии и вычислительные системы. -2006. -№ 8. – С. 83-95.

2. Computer Technologies in medicine [Электронный ресурс] – URL: http://www.ctmed.ru/DICOM_HL7/#standardHL7] (дата обращения: 11.02.2013).

3. Телекоммуникации в медицине: современное состояние и перспективы / В. Е. Анциперов, С. А. Никитов, З. А. Сновида, Д. С. Никитов. // Радиотехника и электроника. -2004 -Т.49; №8 - С.1017-1022.

4. Ю. В. Козадой. Обобщение интеграционных решений в МИС Интерин PROMIS [Электронный ресурс]. - Программные системы: теория и приложения. – режим доступа: http://skif.pereslavl.ru/psi-info/psi/psi-publications/e-book-2009/volume2/227-Kozadoy.Integration_solutions.pdf

5. DICOM Digital Imaging and Communications in Medicine [Электронный ресурс] – URL: http://medical.nema.org/ (дата обращения: 10.02.2013).

МОДУЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДИСТРАКЦИОННЫХ УСИЛИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УДЛИНЕНИЯ КОНЕЧНОСТЕЙ

Блынский Ф.Ю.
Научный руководитель: Аристов А.А., к.т.н., доцент каф. ПМЭ ИНК ТПУ
Технический руководитель: Бриганец А.В., с.н.с. ТУСУР
Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30.
E-mail: blynskiyf@tpu.ru

В современной ортопедической практике наибольшее распространение получили следующие системы дистракции костных тканей: Orthofix, аппараты Вагнера и Илизарова [1]. Не смотря на различии в конструкциях систем и в методиках их применения, у них есть общие проблемы, связанные с дозированием воздействия на организм человека.

Основой стабильной дистракции костной ткани является надежная фиксация удлиняемой конечности [2]. Помимо стабильного натяжения костной ткани, жесткая фиксация удлиняемого сегмента позволяет с большей точностью дифференцировать усилия, прикладываемые как к мягким тканям конечности, так и непосредственно к самой кости.

Следует отметить, что величина силы, прикладываемая к конечности, является важным параметром, и ее контроль позволят увеличить эффективность дистракционного процесса.

До недавнего времени, несовершенства средств фиксации не позволяли создать равнозначные условия остеосинтеза, а значит, нельзя было достоверно судить о характерных изменениях дистракционных усилий [3].

Параметрами, характеризующими динамику дистракционных усилий, являются темп и ритм дистракции. Их значения находятся в зависимости от пола, возраста, индивидуальных параметров больного, а так же от конечной величины удлинения. На Рис.1 схематически представлена динамика дистракционных усилий при удлинении конечности человека [3].

Во время периода натяжения, уменьшение величины передаваемого усилия (например $\Delta P1$) характеризуют уменьшение натяжения костной ткани, то есть фактически показывают ее рост. Значит, необходим строгий контроль за величиной натяжения костной ткани для выбора наиболее оптимального темпа и ритма дистракции.

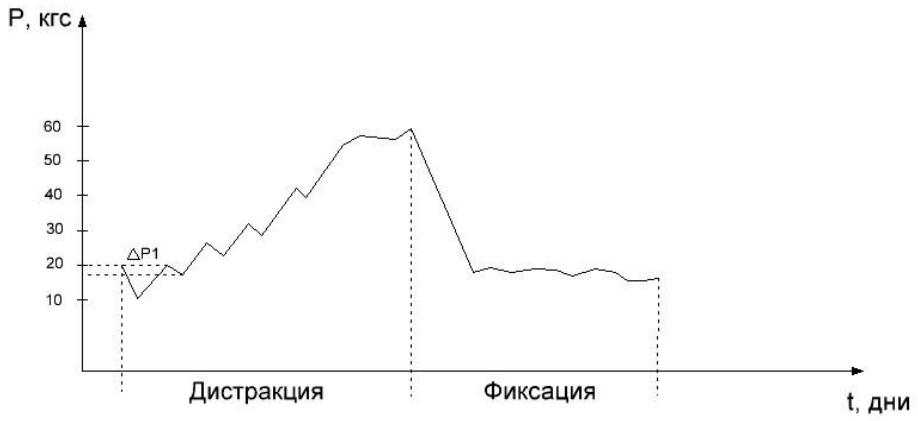


Рис. 1 Динамика дистракционных усилий при удлинении конечности человека

Таким образом, определению динамики в изменении величины дистракционных усилий отводят важное значение, так как с ним связывают возможности контроля и управления процессом удлинения, изменяя темп и ритм дистракции на различных этапах удлинения конечности [3]. Кроме того, регистрация натяжения костной ткани дает возможность выбора наиболее щадящего режима удлинения, что позволит уменьшить болезненность для пациента и минимизировать время дистракционного процесса.

В перспективе, с развитием нейрокомпьютерных интерфейсов, открывается возможность обеспечения саморегуляции образования костного регенерата, что в итоге позволит вывести на новый уровень процедуру дистракции костных тканей [4].

Для измерения натяжения костной ткани используют различные динамометры: кольцевые, пружинные [3]. Но большей точностью измерения обладают тензорезистивные датчики. Поэтому предлагается модуль измерения дистракционных усилий (динамометрический модуль) для аппарата автоматической дистракции, который регистрирует натяжение костной ткани при помощи тензодатчика (Рис.2).

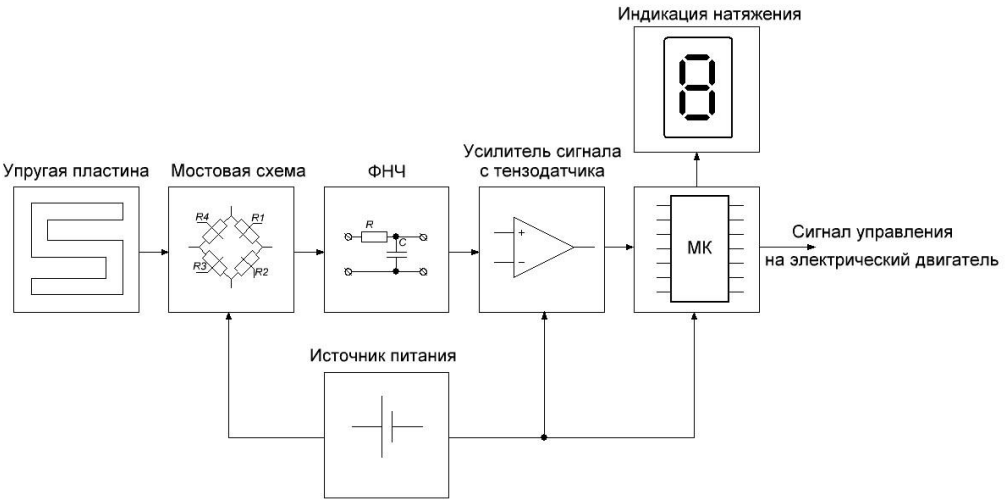


Рис. 2 Функциональная схема модуля измерения дистракционных усилий

Доказано, что динамика дистракционных усилий однотипна, вне зависимости от этиологии заболевания [3]. Значит будет наблюдаться зависимость величины натяжения костной ткани от периода дистракционного процесса. Таким образом, зная эту зависимость, при помощи динамометрического модуля можно обеспечить поддержание требуемого (для данного периода удлинения) натяжения костной ткани.

Врачом устанавливаются пороговые значения натяжений для каждого этапа процесса удлинения. После каждого разового удлинения микроконтроллер производит опрос тензодатчика, фиксируя при этом реальное натяжение костной ткани и сравнивая его с требуемым по умолчанию значением.

В случае превышения исходного уровня натяжения конечности, микроконтроллер уменьшит усилие, генерируемое электрическим двигателем, тем самым уменьшается натяжение кости и предотвращается вероятность повреждения конечности. Как было сказано выше, в процессе роста костной ткани, величина ее натяжения в узлах фиксации аппарата Илизарова уменьшается на величину $\Delta P1$. Тензодатчик будет фиксировать изменение этого параметра, а микроконтроллер будет обеспечивать поддержание требуемого натяжения. Тем самым, обеспечивая оптимальную динамику дистракционных усилий. Алгоритм работы динамометрического модуля приведен на Рис. 3.

Внедрение модуля измерения дистракционных усилий в клиническую практику позволит практически полностью автоматизировать процедуру удлинения конечностей. Кроме того, регистрация натяжения костной ткани снизит риск появления патологических отклонений в процессе лечения, тем самым увеличив эффективность автоматизированной дистракции костных тканей.



Рис. 3 Алгоритм работы динамометрического модуля

Список литературы

1. Круглосуточное удлинение конечностей в автоматическом режиме/ В.И. Шевцов, А.В. Попков// Электронный журнал «Регенеративная хирургия». – 2003. - №1.

2. Дистракционный остеосинтез - перспективы развития/ А.В. Попков, Д.А. Попков// Гений ортопедии. - 2006. - №4. - с. 30-37.

3. В.И. Шевцов, А.В. Попков. Оперативное удлинение нижних конечностей. - М.: Медицина, 1998. - 192 с.: ил.

4. Интерфейс мозг-компьютер. Реальность и перспективы/ А.А. Фролов, В.Ю. Рощин.// Лекции по нейроинформатике. - 2008. - с. 82-125.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ ВЧ - МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ: ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И МОРФОЛОГИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ПЛЕНОК

Богомолова Н.Н. Мальчихина А.И., Больбасов Е.Н.
Научный руководитель: Твердохлебов С.И., кандидат ф.-м. н., доцент ТПУ
Томский политехнический университет, Россия, 6340034, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bogomolova.natash@gmail.com

В настоящие время в ортопедии и травматологии широко используются металлические имплантаты, что обусловлено высокими механическими свойствами металлов. Однако использование металлических имплантатов сопряжено с коррозией, что существенно снижает биосовместимость. Для решения этой проблемы на имплантат наносят специальное покрытие, которое не только препятствует коррозии, но и улучшает сцепление имплантата с костью. Наиболее подходящим для создания покрытий на костных имплантатах является фосфат кальция (КФ), так имеет сходный костной тканью химический состав. Существует много различных методов получения кальций-фосфатных покрытий, каждый имеет свои недостатки и преимущества. Одним из перспективных методов, позволяющих получать комплекс необходимых свойств, является высокочастотное (ВЧ) магнетронное распыление мишени из гидроксиапатита (ГАП). Метод позволяет формировать плотные, беспористые, покрытия на различных материалах (металлах, керамике, полимерах) отличающиеся высокой адгезией и сбалансированным химического составом. Данный метод широко распространен в городе Томске [1,2]. Однако, внедрению ВЧ магнетронных КФ покрытий в широкую клиническую практику препятствует отсутствие технологического оборудование способного формировать КФ покрытия на медицинских изделиях используемых практикующими хирургами. Для решения этой задачи была создана магнетронная распылительная система, представленная на рисунке 1. Система состоит из вакуумной камеры (с турбомолекулярным насосом), в которой размешен планетарно-осевой механизм, обеспечивающий вращение покрываемых изделий и протяженный магнетрон, с размерами 130х330 мм, что позволяет формировать покрытия на изделиях размером до 370 мм.

Целью работы является изучение химического состава и морфологии КФ покрытий на кремниевых подложках, сформированных с помощью разработанной магнетронной системы.

Формирование КФ покрытия происходило в следующем режиме: частота ВЧ магнетронного источника 13,56 МГц, давление в камере составляло 1 Па, мощность ВЧ генератора 0,65 кВт. Напыление происходило в среде аргона. Время напыления 240 мин. Расстояние от магнетрона до имплантатов равна 50 мм. Мишень для магнетрона была приготовлена из синтетического гидроксиапатита – $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ (стехиометрическое отношение Ca/P=1.67). В качестве подложки был использован образец, изготовленный из полированного кремния. Размер образца ∅ 58 мм. Для получения границы раздела «покрытие-подложка» часть образца маскировалась.



Рис.1. Установка для формирования КФ покрытий.

Для изучения свойств КФ покрытия были использованы современные методы и приборы. Измерение толщины КФ покрытий проводилось методом «ступеньки» на профилометре-профилографе «TALYSURF-5». Исследования морфологии поверхности проводили методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) ESEM Quanta 400 FEG без нанесения проводящих покрытий в режиме низкого вакуума в атмосфере паров воды. Применялись следующие режимы: остаточное давление в камере 60 Па, ускоряющее напряжение 20 кВ, ток пучка 5 мкА.

Таблица 1. Химический состав КФ покрытия по данным ЭДС анализа.

№ позиции	Содержание элементов в покрытии, At %					Ca/P
	O	Si	P	Ca	Fe	-
1	-	99,75	0,07	0,18	-	-
2	45,06	34,06	7,59	12,08	1.21	1,59

Изучение химического состава КФ покрытия проводили методом энергодисперного анализа (EDS-анализа) (EDS analysis system Genesis 4000, S-UTW-Si(Li) detector). Расчет химического соста-

ва покрытия проводили методом трех поправок: на средний атомный номер, поглощение и флуоресценцию.

Результаты измерений толщины КФ покрытия показали, что толщина полученной пленки составляет порядка 0,8 мкм. На рисунке 2 представлено изображение поверхности покрытия, полученного методом сканирующей спектроскопии. Как видно, покрытие имеет однородную, плотную, беспористую структуру по всей поверхности.

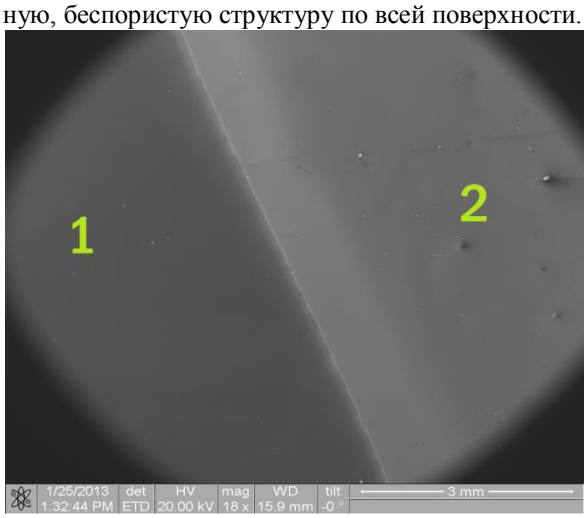


Рис.2. SEM изображение поверхности образца: 1 – кремневая подложка, 2 – кальций-фосфатное покрытие.

Известно, что результаты исследований элементного состава покрытий методом EDS -анализа зависят от таких факторов как шероховатость поверхности, влияние подложки, энергии электронного пучка и т.д., однако, метод позволяет провести сравнительный анализ двух областей. Результаты EDS анализа КФ покрытия толщиной 0,8 мкм, нанесенной на кремневую подложку представлена в таблице 1 (положение №1 соответствует кремневой подложке без КФ покрытия, №2 – с КФ покрытием). Результаты исследования химического состава поверхности кремния, проведенные методом EDS (рисунок 3) демонстрируют, что для образца с КФ покрытием определяется основные элементы распыляемой мишени, а именно, Ca, P, O. Соотношения Ca/P составило 1,59, что близко к стехиометрическому соотношению Ca/P в ГАП, равному 1,67. Рефлексы Si относятся к кремневой подложке. Наличие незначительных рефлексов железа может быть объяснено перераспылением элементов оснастки.

В работе показано, что данная магнетронная распылительная система позволяет получать однородные, плотные покрытия без видимых дефектов, с отношением Ca/P равным 1,59. Небольшое количество железа не оказывает существенного негативного влияния на биосовместимость покрытия, что позволяет применять разработанную систему для нанесения покрытий на медицинские изделия.

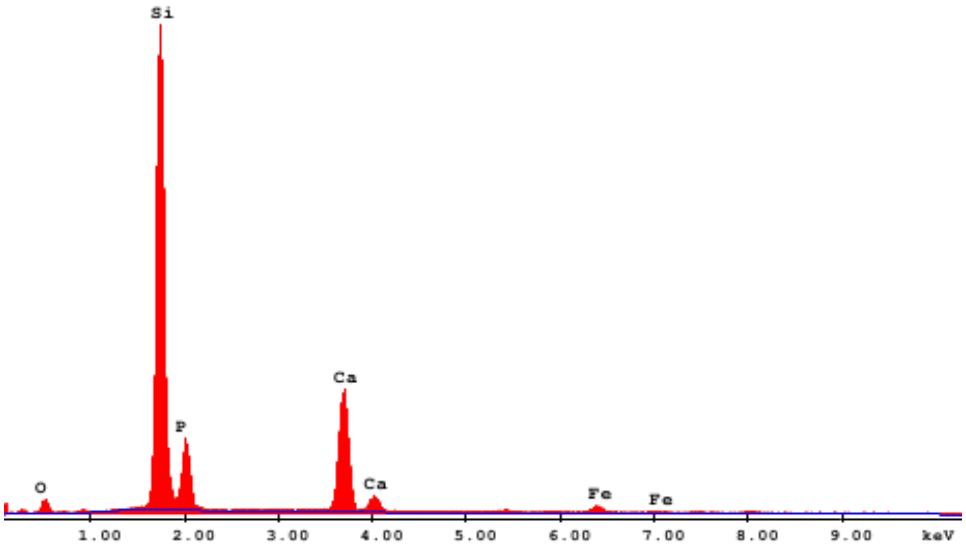


Рис.3. EDS спектр кальций-фосфатного покрытия, нанесенного на подложку из кремния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Твердохлебов С.И., Больбасов Е.Н., Шестериков Е.В., Мальчихина А.И., Новиков В.А. Исследования свойств поверхности термопластичного полимератетрафторэтилена с винилиденфторидом, модифицированного ВЧМР для медицинского// Известия высших учебных заведений. Физика.- 2012.- Т. 55.- № 11-2.- С. 229-234.

2. Клименов В.А., Твердохлебов С.И., Больбасов Е.Н., Шестериков Е.В., Новиков В.А., Волокитина Т.Л. Применение методов атомно-силовой микроскопии для контроля параметров поверхности покрытий медицинских имплнататов//Дефектоскопия.-2011.-№11.-С.69-82.

РАЗРАБОТКА КЛИНИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ В СИМУЛЯЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ ДЛЯ ВРАЧЕЙ–НЕОНАТОЛОГОВ

Брышкакова Ч.С.
Научный руководитель: Толмачев И. В., к.м.н.
ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России
634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: shokoshonyna@mail.ru

Симуляционное обучение – это учебный процесс, при котором обучаемый осознанно, выполняет действия в обстановке моделирующей реальную, с использованием специальных тренажеров, симуляторов, фантомов, манекенов и роботов.

Моделирование является обучением с обратной связью, где учащиеся практически осваивают профессиональные ситуации.

Тренажеры находятся под контролем компьютерного программного обеспечения и непосредственно экспертов в классе или в соседней комнате. Такое обучение позволяет воспроизвести разнообразие клинических условий за счет физиологических параметров, которые могут быть смоделированы: ЭКГ, артериальное давление, насыщение крови кислородом, давление в легочной артерии, внутричерепное давление, температуру тела и др. [1]

Одним из критериев, характеризующих качество оказания медицинской помощи, является квалификация специалистов. Реализация приоритетного Национального проекта "Здоровье", переход субъектов Российской Федерации на новые критерии регистрации рождений, рекомендованные Всемирной организацией здравоохранения, и на современные технологии выхаживания детей, родившихся с низкой и экстремально низкой массой тела, предъявляют особые требования к квалификации медицинского персонала.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 31.12.2010 года принято решение о создании и финансировании обучающих симуляционных центров в федеральных государственных учреждениях, имеющих в своем составе клинические подразделения, оказывающих медицинскую помощь женщинам в период беременности и родов, а также новорожденным детям.

Такие центры в России созданы в Москве, Санкт-Петербурге, Томске, Иваново и Челябинске. У симуляционных центров есть принципиальные отличия от обычных способов обучения. На их базе врачи получают не только теоретические знания, но и совершенствуют практические навыки, отрабатывают модели поведения медицинского персонала (работа в команде) при ведении родов и возникновении критических ситуаций в акушерской практике, при развитии неотложных состояний у новорожденных различного срока гестации, в том числе при проведении первичных реанимационных мероприятий в родовом зале.

Акушерство и гинекология, анестезиология и реаниматология, неонатология, в отличие от других специальностей, наиболее часто связаны с оказанием помощи при возникновении различных критических ситуаций. Эти знания невозможно приобрести и пополнить на реальных пациентах как по соображениям этики, так и в связи с угрозой для их жизни. Клинические ситуации, которые в практике встречаются достаточно редко, при помощи манекена можно воспроизводить с любым необходимым количеством повторов в условиях, полностью соответствующих реальности. [3]

Единственным эффективным и безопасным способом отработки практических умений в настоящее время предоставляют виртуальные технологии. Смоделированные на компьютере ситуации активно реагируют на действия студентов и полностью имитируют физиологический ответ пациента на действия врача либо воспроизводят адекватную реакцию тканей на манипуляции хирурга. Врачи, освоившие практические навыки при помощи виртуальных тренажеров, значительно быстрее и увереннее переходят к настоящим вмешательствам, их дальнейшие реальные результаты становятся более профессиональными. [2] (Рис. 1)

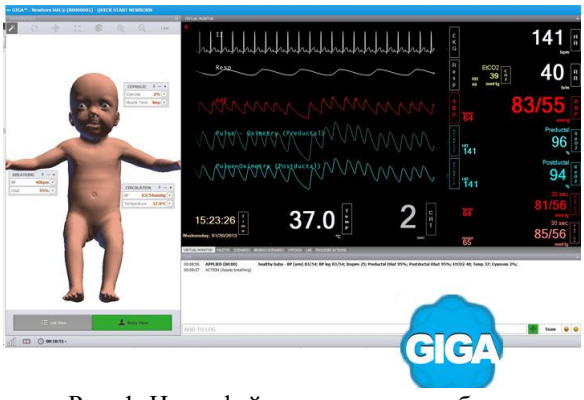


Рис. 1. Интерфейс управления учебным манекеном

Современный симуляционный центр решает целый ряд учебно-методических, организационных и научно-практических задач:

- Отработка практических навыков и умений. В искусственно созданной симулированной среде практический опыт приобретается в ряде случаев столь же эффективно, что и в реальной деятельности. Однако, в отличие от реального,

симуляционный опыт не оплачен дорогой ценой здоровья пациентов.

- Командная работа, нетехнические навыки. В работе медицинской бригады важна слаженность и четкое взаимодействие всех ее членов. Приобретение нетехнических навыков, сглаживающих влияние человеческого фактора, отработка командных действий – важная задача симуляционного центра.
- Сертификация, экзамены, тестирование. Виртуальный симулятор – точный и беспристрастный судья. С его оценками не поспоришь, ведь он измеряет до сотни объективных показателей: длительность манипуляции, точность движений, объем кровопотери, степень нанесенных повреждений и др. Это позволяет использовать симуляторы при тестировании на выпускных экзаменах, допуске до отдельных манипуляций, сертификации.
- Научные исследования. Зачем вовлекать людей в эксперименты, если их можно проводить на компьютерной модели? На роботах можно с успехом проводить целый ряд научных работ, особенно в сфере психологии, группового поведения.
- Испытания новой медицинской техники. Новый прикроватный монитор, аппарат ИВЛ или функциональная кровать – многие образцы новой медицинской техники теперь испытываются в симуляционных центрах на виртуальных тренажерах или роботах.



Рис. 2. Внешний вид манекена NewbornHal

Преимущества симуляционного практического обучения:

- В ходе освоения практического навыка не рискует ни пациент, ни курсант.
- Объективная оценка симулятором выполненного задания.
- Симулятор сам «ведет» курсанта по программе практического тренинга.
- Неограниченное количество повторов и длительность отработки вмешательств.
- Длительность учебного процесса не ограниченна, расписание курса не зависит от режима дня пациентов, расписание операций, рабочего графика преподавателя.
- Редкие виды патологий отрабатываются столь же эффективно, как и распространенные заболевания или состояния.
- Меньше стресс при первых реальных вмешательствах и интервенциях.
- Возможность объективной оценки уровня практической подготовки врача, проведение тестирования, сертификации, экзаменов. [4]

Цель работы: Разработка клинических сценариев-ситуаций для врачей неонатологов.

Задачи:

1. Работа с экспертами (с врачами-неонатологами), для формирования перечней сценариев.
2. Техническая реализация клинических сценариев на манекенах Newborn Hal_S3010 и NEWBORNHAL. (Рис. 2)
3. Испытание разработанных сценариев на группах врачей

Разрабатываемые сценарии включают разделы: основная проблема, изучаемые навыки, краткое описание, участники, необходимые манекены, подготовка манекена для проведения симуляции, подготовка кабинета для проведения симуляции, расходные материалы, описание сценария, описание процесса симуляции, информация для оператора, итоги тренинга, ввод в сценарий, алгоритм правильных действий курсантов, основные темы дебрифинга.

Разработаны клинические сценарии для врачей неонатологов по темам: пневмония, пневмоторакс, мекониальная аспирация, асфиксия, транзиторное тахипноэ.

Список литературы:

1. Анализ функционирования центров моделирования в системе подготовки медицинских кадров / Шубина Л.Б., Грибков Д.М., Аверьянова В.А., Жирнов В.А. / Виртуальные технологии в медицине / Научно - практический журнал. – 2012. - №1(7). – С. 7-12.
2. Кубышкин В.А. Виртуальные технологии в медицине/ Научно - практический журнал. – 2009. - №1(1). – С. 3-9.
3. Роль симуляционно – тренингового центра в полготовке кадров в акушерстве и неонатологии [Электронный ресурс] / Малышкина А.И., Панова И.А.,Чаша Т.В., Харламова Н.В.

Режим доступа:
http://www.laparoscopy.ru/doktoru/view_thesis.php?id=2742&event_id=14

4. [Электронный ресурс]Режим доступа:
http://www.virtumed.ru/file/virtumed-catalog.pdf

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КУРСОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СЛУШАТЕЛЕЙ ФАКУЛЬТЕТА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ГБОУ ВПО СИБГМУ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ MOODLE

Воробьева Н.В.
Научный руководитель: Бразовская Н.Г., к.м.н.
ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития России,
634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: NataliWW@mail.ru

Актуальность. С развитием средств коммуникации наметился повышенный интерес к различным методам дистанционного обучения [1].

В настоящее время проблема дистанционного последипломного обучения врачей стала актуальной, особенно для территорий, где нет медицинских вузов. Дистанционная форма обучения дает возможность:

• обучать специалистов без отрыва от производства, что особенно важно для сельских районов, где, как правило, имеется острый дефицит врачей;
• оптимизировать работу преподавателей на выездных циклах за счет сокращения очных часов;
• охватить всех специалистов, работающих в отдаленных местностях, соответствующими циклами общего и тематического усовершенствования;
• выработать у врачей навыки самостоятельного обучения, индивидуальной работы с учебными материалами [2].

Новизна данной работы заключается в том, что в ГБОУ ВПО СибГМУ будут реализованы информационно-обучающие и тестовые материалы по циклам общего усовершенствования специалистов «Физиотерапия» и «Неврология» для курса повышения квалификации врачей в виде электронного курса дистанционного обучения.

Цель работы: создать электронный курс дистанционного обучения для слушателей факультета повышения квалификации (ФПК) ГБОУ ВПО СибГМУ на базе платформы Moodle и оценить эффективность данного вида обучения.

Задачи:

1. Изучить нормативно-правовую базу по вопросам внедрения дистанционных образовательных технологий в высшее и последипломное медицинское образование.

2. Изучить возможности системы управления обучением Moodle с целью создания электронного курса дистанционного обучения.

3. Собрать и обработать необходимый учебный материал. Создать электронный курс.

4. Разработать справочные рекомендации по работе с электронным курсом для преподавателей и слушателей курса.

5. Провести обучение слушателей с помощью созданного электронного курса. Оценить эффективность обучения.

В российских вузах в настоящее время дистанционное обучение представлено в виде дистанционных образовательных технологий, что закреплено законодательной базой [3].

В статье 13 (п.2.) Федерального закона от 29.12.2012 №273 «Об образовании в Российской Федерации» говорится, что при реализации образовательных программ могут использоваться различные образовательные технологии, в том числе дистанционные образовательные технологии, электронное обучение.

В статье 16 (п.1.) Федерального закона от 29.12.2012 №273 «Об образовании в Российской Федерации» поясняется, что «под дистанционными образовательными технологиями понимаются образовательные технологии, реализуемые в основном с применением информационно-телекоммуникационных сетей при опосредованном (на расстоянии) взаимодействии обучающихся и педагогических работников».

Что же касается дистанционного обучения в медицине, то особенно активно процесс внедрения дистанционных образовательных технологий затронул последипломное (дополнительное) образование медиков [4].

Приказом министерства здравоохранения РФ и РАМН №344/76 от 27.08.2001 утверждена “Концепция развития телемедицинских технологий в Российской Федерации ”. Концепция определяет позицию Министерства здравоохранения РФ и РАМН в вопросах использования и развития телемедицинских технологий, в том числе – по вопросу подготовки и усовершенствования медицинских кадров. В соответствии с Концепцией дистанционное образование включает: обучение студентов, повышение квалификации и профессиональную переподготовку врачей и медицинских сестер и пр.

Медицина представляет собой одну из тех отраслей знаний, где традиционно считается невозможным получить базовое образование заочно. Что касается последипломного образования, то теоретические (преимущественно) циклы повышения квалификации можно проводить с использованием дистанционных технологий. При этом сдачу экзамена целесообразно проводить традиционным способом: тестирование, проверка навыков, собеседование [5].

Материал и методы. Сбор и обработка учебных материалов для электронного курса дистанционного обучения для слушателей ФПК СибГ-

МУ проводится путем очного экспертного опроса. В качестве экспертов выступают преподаватели кафедры восстановительной медицины, физиотерапии и курортологии ФПК и ППС и преподаватели кафедры неврологии и нейрохирургии СибГМУ.

Для реализации электронного курса дистанционного обучения была выбрана система управления содержимым сайта (CMS), также известная как система управления обучением (LMS) или виртуальная обучающая среда (VLE) Moodle (версия 1.9.19+), специально разработанная для создания онлайн-курсов преподавателями. Установка системы Moodle проведена на базе обучающего симуляционного центра СибГМУ. Для полноценной работы системы Moodle было установлено и настроено следующее программное обеспечение: веб-сервер Apache 2.2.14, язык сценариев PHP 5.2.9, система управления базами данных MySQL 5.1.39-2.

Результаты. Циклы «Физиотерапия» и «Неврология» дистанционного обучения для слушателей ФПК СибГМУ будут организованы по программе циклов общего усовершенствования специалистов.

Этапы подготовки циклов «Физиотерапия» и «Неврология»:

1. а) *Цикл «Физиотерапия»:*

Формирование 5 блоков учебного материала:

• Электротерапия постоянным током. Импульсная электротерапия.

• Дарсонвализация, ультратонотерапия. Лечебное применение электрического поля УВЧ. Сверхвысокочастотная электротерапия. Магнитотерапия (индуктотерапия).

• Фототерапия. Термотерапия. Гидротерапия.

• Ультразвуковая терапия. Аэрозольтерапия. Санаторно-курортное лечение.

• Организация отбора больных на санаторно-курортное лечение. Организация работы и техника безопасности при проведении физиотерапевтических процедур. Совместимость физиотерапевтических процедур.

б) *Цикл «Неврология»:*

Формирование блока учебного материала:

• Экстрапирамидные двигательные расстройства: анатомия и физиология, патогенез и клинические проявления нарушений экстрапирамидной системы.

2. Разработка системы контроля знаний к каждому блоку материала соответствующего цикла .

3. Распределение занятий по дням недели в зависимости от продолжительности блоков учебного материала (преподавателями кафедры восстановительной медицины, физиотерапии и курортологии ФПК и ППС и кафедры неврологии и нейрохирургии).

4. Наполнение электронного курса имеющимся материалом.

Для преподавателей и слушателей курса ФПК будут созданы справочные рекомендации по работе с электронным курсом дистанционного обучения, созданным на базе платформы Moodle. Цель создания данных рекомендаций: приобретение преподавателями умений и навыков создания и сопровождения электронных курсов, созданных на базе платформы Moodle, а также помощь слушателям в использовании данных электронных учебных курсов.

По окончанию создания циклов «Физиотерапия» и «Неврология» дистанционного обучения предполагается провести обучение слушателей ФПК по данным циклам. На заключительной стадии обучения слушателям необходимо будет заполнить анкеты оценки качества курса. Для определения эффективности дистанционных курсов предполагается использовать следующие критерии: субъективная удовлетворенность обучаемых учебным курсом; соотношение между стоимостными затратами на обучение в традиционной форме и на обучение с использованием дистанционных технологий; время, необходимое обучаемым для изучения материалов учебного курса; соотношение между количеством слушателей, начавшими обучение и успешно закончившими курс.

Практическая значимость работы: результаты будут способствовать внедрению дистанционного обучения в систему образования СибГМУ. Это может существенно повысить экономическую эффективность обучения, даст возможность получать необходимое образование независимо от места жительства.

Список литературы

1. Яремчук, С. Обучение при помощи ATutor / С. Яремчук // Системный администратор. – 2005. – №1. – С. 84-87.

2. Некоторые вопросы дистанционного обучения в системе последипломного обучения врачей / Н. К. Гусева, И. А. Соколова, М. В. Доютова // Медицинский альманах. – 2011. – № 3. – С. 16-18.

3. Шаров, В.С. Дистанционное обучение: форма, технология, средство / В.С. Шаров // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2009. – № 94. – С. 236-240.

4. Возможности и эффективность дистанционного обучения в медицине / Н.В. Агранович, А. Б. Ходжаян // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3-3. – С. 545-547.

5. Временное положение по организации дистанционного повышения квалификации медицинских кадров (принято МЗ РФ от 18.12.2002 г.).

ПРИМЕНЕНИЕ БИОУПРАВЛЕНИЯ В РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ПАРКИНСОНА (БП)

Гребышева Т.С.
Научный руководитель: Бразовская Н.Г., к.м.н., Жукова И.А., к.м.н.
ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития России,
634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: Tatyanagrebysheva@mail.ru

Болезнь Паркинсона (БП) – хроническое прогрессирующее заболевание головного мозга, преимущественно связанное с дегенерацией дофаминергических нейронов черной субстанции и проявляющееся сочетанием гипокинезии с ригидностью, тремором покоя, постуральной неустойчивостью и нарушением ходьбы[1].

Проблема терапии и профилактики болезни Паркинсона приобретает в современных условиях особую актуальность в связи с неуклонным ростом её распространённости в населении. По данным сплошного популяционного исследования, распространенность БП в России составляет 139 случаев на 100тыс. населения, заболеваемость БП-16 случаев на 100 тыс. населения в год[2].

Поскольку этиология БП на сегодняшний день окончательно не установлена, не существует и этиотропного лечения заболевания. Медикаментозное лечение, являясь пожизненным, на современном этапе составляет основу комплексной патогенетической терапии БП[3].

Под влиянием медикаментозной терапии у больных зачастую появляются симптомы, которых раньше не было (колебания состояний двигательных, вегетативных нарушений, появление насильственных движений). В целом больные не всегда удовлетворены медикаментозной терапией, которая дает множество осложнений и с течением времени теряет свою эффективность. Указанные обстоятельства диктуют необходимость поиска новых, нелекарственных, подходов к лечению. Выделяют метод, основанный на саморегуляции физиологических и психических функций посредством биологической обратной связи (БОС).

Цель работы: изучение эффективности применения метода функциональной саморегуляции на основе биологической обратной связи (БОС) при лечении болезни Паркинсона.

Задачи:

1. Определение дифференцированных показаний к применению БОС-терапии пациентов с болезнью Паркинсона и разработка практических рекомендаций.
2. Разработка и апробация модификаций (протоколов) БОС-терапии применительно к пациентам с БП.
3. Сравнительный анализ эффективности БОС-терапии при различных клинических вариантах БП и сравнение разных методик БОС тренинга.

В исследование были включены пациенты с диагнозом болезнь Паркинсона, состоящие на учете и проходящие лечение в клинике нервных болезней СибГМУ, Томск.

Неврологический статус оценивался по клиническим тестам и “унифицированной рейтинговой шкале болезни Паркинсона (Unified Parkinson’s Disease Rating Scale - UPDRS)”.

Все пациенты получали назначенную медикаментозную базисную терапию. Дополнительно проводились занятия методом БОС.

В ходе работы использовался реабилитационный психофизиологический комплекс «Реакор». Комплекс предназначен для проведения лечебных и профилактических немедикаментозных процедур, использующих принцип биологической обратной связи (БОС).

Состав комплекса: блок пациента, персональный компьютер, комплект электродов и датчиков, пакет программ БОС-тренинга.

Основой комплекса является четырехканальный универсальный полиграфический блок пациента, позволяющий регистрировать различные физиологические показатели.

Пакет программ БОС-тренинга включает большое многообразие универсальных, имеющих различное назначение БОС-процедур. Также предусмотрены средства для модификации и адаптации предлагаемых процедур (или создания новых) для отдельных пациентов или групп пациентов.

Подсистема синтеза сценария процедуры позволяет заранее спланировать и задать все необходимые условия и параметры предстоящей тренировки в виде последовательности этапов саморегуляции, разделенных интервалами отдыха.

Анализируя многочисленные литературные данные, были определены дифференцированные показания к применению БОС-терапии для пациентов с болезнью Паркинсона с учетом выраженности отдельных симптомов болезни.

К основным симптомам паркинсонизма относят тремор, мышечную ригидность и гипокинезию, также большой удельный вес в клинической семиотике заболевания занимают вегетативные нарушения и своеобразные изменения в эмоционально-личностной и когнитивной сферах. С учетом вышеизложенного, был разработан оптимальный протокол БОС-терапии для пациентов с БП.

Протокол включает в себя одновременную регистрацию двух физиологических сигналов: электрокардиографических (ЭКГ) и миографических (ЭМГ).

Сигнал ЭКГ регистрируется в первом стандартном отведении — на внутренней поверхности правого и левого предплечий; нейтральный электрод (N) может быть размещен на любом пред-

плечье или ноге. Для надежного определения параметров ЧСС достаточно, чтобы кардиосигнал имел хорошо выраженный R-зубец. По каждому R-зубцу определяется длительность RR-интервала и ЧСС.

Для регистрации сигнала ЭМГ используются круглые хлорсеребряные электроды, которые фиксируют на коже с помощью пластыря на проблемной мышце. Для уменьшения влияния наводок различных электромагнитных полей на теле пациента, обязательно закрепляют нейтральный электрод, например на запястье, подключаемый к гнезду "N" блока пациента. По основным параметрам ЭМГ, амплитуде и частоте, можно судить об интенсивности процесса возбуждения в мышце и силе ее сокращения.

БОС-тренинг на повышения вариабельности сердечного ритма проводится с целью повышения возможностей адаптивных систем организма. В ходе тренинга на протяжении одной процедуры попеременно даются задания на понижение и повышение контролируемого параметра.

Сеансы ЭМГ БОС-терапии ориентированы на формирование у пациента способности к нормализации мышечного тонуса, уменьшения общего и психоэмоционального напряжения путем снижения избыточной мышечной активности.

Отображение сигналов обратной связи производится в виде управляемых образов зрительной и слуховой модальности. Форма отображения сигналов обратной связи в виде тематически подобранных слайдов, видеорядов, видеороликов, звуковых эффектов и музыкальных произведений различных жанров, а также в виде игровых сюжетов.

Значения порогов амплитуды задающего сигнала определены в виде формулы, содержащей статистические показатели контролируемого параметра, которые будут рассчитаны для данного пациента непосредственно в ходе сеанса перед началом управляемого этапа.

Курс лечения БОС-терапией состоит из трех частей: вводная часть (1-2 занятие), обучение управлению (3-4 сеанса), закрепление полученных навыков (5-7 сеансов). В среднем у больных с БП проводилось от 10 до 12 сеансов.

Оценку эффективности проводимого лечения с помощью БОС-тренинга необходимо проводить с учетом клинических, физиологических и психологических эффектов БОС-тренинга[4].

Динамика неврологической симптоматики оценивается с помощью клинических тестов. Оценка степени тяжести тремора проводится с помощью унифицированной шкалы оценки болезни Паркинсона – III часть, пункты 20, 21. Степень мышечной ригидности определяется с помощью унифицированной шкалы оценки болезни Паркинсона – III часть, пункт 22.

Оценка психологического и психофизиологического статуса осуществляется путем определения времени простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР). Методика позволяет оценить подвижность нервных процессов, отражает скорость протекания нервных и психических процессов в центральной нервной системе (ЦНС). Исследования проводится с использованием устройства для психофизиологического тестирования «Психофизиолог» (разработка НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог.)

Оценку поэтапной и курсовой динамики лечения планируется проводить, используя возможности программно-аппаратного комплекса «Реакор».

Анализ поэтапной динамики предназначен для количественной (таблицы, экспортные файлы в формате Excel) и визуальной (графики) оценки внутрипроцедурной эффективности этапов одной БОС-процедуры. При оценке поэтапной динамики в постреальном времени рассчитываются статистические параметры по любым контролируемым показателям, которые могут быть выбраны или сформированы в списке расчетных показателей. Расчет ведется в привязке к выбранным этапам исследования.

Для межпроцедурной оценки эффективности лечебного курса используется режим «Оценка курсовой динамики». В этом режиме результаты обработки предоставляются в графической и табличной форме. Отражаются изменения статистических параметров физиологических показателей одноименных этапов на разных процедурах, относящихся к разным датам их проведения.

Практическая значимость работы: разработанные в результате исследования методики применения БОС-терапии позволят усовершенствовать процесс лечения и реабилитации пациентов с БП.

Положительными эффектами БОС - терапии следует считать способность пациента нормально адаптироваться к условиям окружающей его действительности (приобретение устойчивых навыков саморегуляции и самоконтроля, повышение качества жизни).

Список литературы

1. Особенности лечения болезни Паркинсона в поздней стадии / О. С. Левин, И. Г. Смоленцева // Журнал «Врач». – 2007. –№4. – С. 12-16.

2. Диагностика и лечение ранней стадии болезни Паркинсона / В.К. Датиева, О.С. Левин // Consillium Medicum (неврология - ревматология). – 2012. – №9. – С. 47-54.

3. Федорова, Н.В. Диагностика и клинические проявления болезни Паркинсона / Н.В. Федорова // Диагностика и лечение экстрапирамидных расстройств / под ред. В.Н. Штока. М., 2000. - С. 36-41.

4. Оценка эффективности проведения реабилитационных процедур БОС-тренинга / А. И. Астахова, А. А. Скоморохов, Д. А. Скоморохов // Журн. « Известия южного федерального университета. Технические науки». – 2004. – Т. 41, № 6. – С. 32-35.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ, ЗАКРЫТЫХ ЖИРОВОЙ ТКАНЬЮ

Двуреченская М.Г.
Научный руководитель: Федотов Н.М., к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: margaritkaxxl@mail.ru

Кардиохирургические операции по аорто-коронарному шунтированию, протезированию и пластике митрального клапана выполняют на открытом сердце. В ходе таких операций с целью предупреждения развития фибрилляции предсердий или ее прекращения (если такая патология уже есть) выполняют процедуру изоляции легочных вен, являющихся основной аритмогенной областью сердца [1]. Для данной процедуры используют хирургический инструмент в виде специальных зажимов, между браншами которых подается высокочастотный ток, нагревающий ткани сердца и вызывающий при этом повреждения белковых структур миокарда [2, 3]. Основным преимуществом применения зажимов является возможность достижения плотного контакта с тканью, с регулируемой степенью компрессии (давление на зажим порядка 30 Н). Сдавливание ткани по всей длине зажима прекращает кровоток в тканях, что исключает конвекционный отвод тепла кровью из зоны нагрева, и улучшает однородность распределения воздействия вдоль всей длины электродов. Проблема заключается в том, что в области воздействия ткани предсердий обычно закрыты жировой тканью, обладающей высоким удельным сопротивлением электрическому току. Удельное сопротивление жировой ткани более чем в 10 раз превышает удельное сопротивление тканей миокарда, что пропорционально уменьшает ток нагрева и в квадратичной зависимости уменьшает мощность нагрева. Это делает системы с радиочастотной или высокочастотной подачей энергии для изоляции легочных вен при наличии жира на поверхности миокарда не эффективными [4]. В клинической практике для гарантированной изоляции (достижения трансмуральности повреждения по линии воздействия) процедуру повторяют до шести раз на работающем сердце. Длительность воздействия обычно составляет 15-30 с. Избыточное количество воздействий может провоцировать возникновение тромбоэмболии с риском летального исхода.

Целью данной работы является оценка эффективности метода термической абляции миокарда предсердий, закрытых жировой тканью.

Для решения обозначенной проблемы, предлагается использовать тепловые зажимы. Целесообразность использования теплового воздействия объясняется тем, что теплопроводность жира всего лишь в 3,5 раза ниже теплопроводности сердечной ткани (таблица 1).

Для определения степени повреждения выполнен вычислительный эксперимент с использованием физико-математической модели объекта. Так как длина термозажима значительно превышает его ширину, физико-математическая модель представлена в двухмерной системе координат (рис.1). Зона моделирования включает поперечный срез области контакта тепловых электродов с тканями миокарда закрытых жиром. Теплофизические характеристики тканей, используемых для описания модели, приведены в табл. 1.

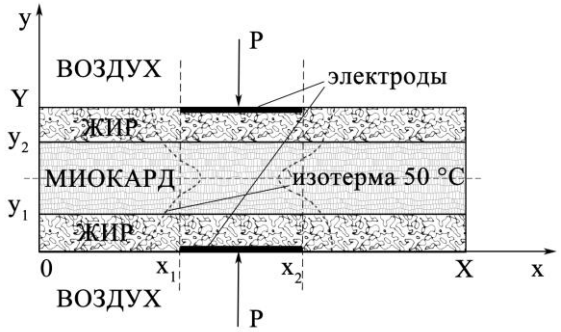


Рис.1. Модель области контакта электродов термозажима с тканями предсердия в поперечном сечении. Пунктирная горизонтальная линия – граница раздела стенок предсердия.

Таблица 1. Теплофизические характеристики материалов [4].

Область модели	миокард	жир	электрод
Плотность ρ, кг/м3	$1{,}2\times10^3$	$0{,}9\times10^3$	$7{,}8\times10^3$
Теплопроводность λ, Вт/м·К	0,7	0,2	73
Удельная теплоемкость, с, Дж/кг·К	$3{,}2\times10^3$	$2{,}22\times10^3$	130,53
Удельная проводимость, σ, См/м	0,4	0,025	$9{,}4\times10^6$

Термодинамические процессы в модели описываются уравнением теплопроводности в двухмерной системе координат с учетом совокупности граничных и начальных условий и изменяемых значений входных параметров модели.

$$\rho_i c_i \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \left(\frac{j^2}{\sigma_i}\right),$$

i=0,1,…N,

где: ρ - плотность; с - эффективная удельная теплоемкость; T - температура; t - время; λ - теплопроводность; σ - удельная проводимость; j – плотность тока; i - номер подобласти решения с однородными теплофизическими характеристиками.

Для замыкания математической постановки задачи на границах области решения выставляются граничные условия первого рода: на внешней границе справа и слева температура T=37°С, температура электродов T=70°С. На границе с воздухом сверху и снизу конвективный теплообмен осуществляется по закону Ньютона с коэффициентом теплоотдачи 10 Вт/м2/К; температура воздуха 25°С.

Начальная температура области моделирования T_0=37°С.

Вычислительный эксперимент выполнен при следующих параметрах и допущениях:

- Размеры области моделирования: Y=5 мм; X=25 мм.
- Уравнение теплопроводности решается методом конечных разностей с шагом сетки 0,25 мм и шагом по времени 10 мс.
- Ткани сердца в области контакта с электродом имеют усредненные теплоемкость, теплопроводность, движение среды не учитывается, фазовое состояние ткани не меняется (фазы высушивания и обугливания не рассматриваются).
- Область повреждения миокарда определяется по изотерме в 50°С [4].

Изменяемые параметры модели: толщина жирового слоя сверху и снизу; ширина электродов (x_2-x_1) от 2,5 до 10 мм. Могут быть изменены: расстояние между электродами (до 10 мм), температура электродов.

Вычислительный эксперимент выполнен методом имитационного моделирования термодинамического процесса абляции с помощью представленной математической модели. Непосредственно для моделирования и визуализации промежуточных и конечных результатов использовался программный комплекс MathCad -15. Результаты оценивались по времени достижения трансмурального повреждения, которое, в свою очередь, контролировалось по изотерме 50°С. Для оценки адекватности разработанного вычислительного алгоритма выполнен вычислительный эксперимент для статического режима, в котором электроды имели разную температуру, а в пространстве модели наблюдалось линейное изменение температурного поля. Кроме того, проведен физический эксперимент для проверки работы вычислительного алгоритма в динамике. Для этого выполнены измерения температуры на пластине толщиной 5 мм из полистирола, с другой стороны которой устанавливался нагреватель. Измеренные температуры с высокой точностью совпали с вычисленными значениями, полученными с помощью разработанного алгоритма, для данной модели.

На рисунке 2 показан пример распределения расчетного температурного поля после 15 с воздействия для жирового слоя толщиной 1 мм, расположенного с одной стороны.

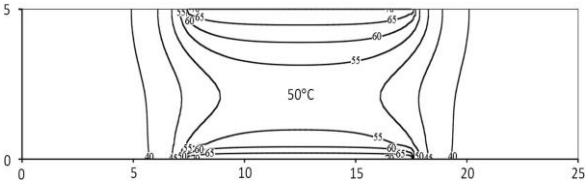


Рис. 2. Распределение температурного поля для электродов шириной 10 мм, толщиной жирового слоя (снизу) 1 мм, время воздействия 15с.

Вычислительный эксперимент показал возможность получения трансмуральных повреждений миокарда предсердий закрытых жировой тканью. Для случая когда жировая ткань занимает все пространство модели, прогрев до 50°С занимает 35с. Более высокая эффективность тепловых зажимов достигается в случаях, когда жировая ткань располагается с одной стороны. Увеличение ширины электродов может также положительно сказываться на эффективности, так как жировой слой обычно неоднороден по толщине.

Выводы.

При наличии жировой ткани в области предсердий применение для абляции тепловых зажимов более эффективно, чем применение традиционных зажимов с высокочастотной энергией, что связано с меньшими различиями тепловых характеристик жира и миокарда, чем с различием их удельной электрической проводимости. Данное обстоятельство является основой для создания нового типа эффективного хирургического инструмента для изоляции легочных вен.

Список литературы

1. Damiano et al. Atrial Fibrillation Ablation in Mitral Valve Surgery// Operative Techniques in Thoracic and Cardiovascular Surgery. – 2004. - №1 – P.24-33.

2. AtriCure Isolator Synergy Ablation Clamp. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.atricure.com/Products_for_Healthcare_Professionals/International/Isolator_Clamps/Isolator_Synergy_Ablation_Clamp свободный (дата обращения: 20.02.2013).

3. Cardioblate BP2 Irrigated RF Surgical Ablation System. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.medtronic.com/for-healthcare-professionals/products-therapies/cardiovascular/ablation-products-surgical/cardioblate-bp2-irrigiated-rf-surgical-ablation-system/index.htm свободный (дата обращения: 20.02.2013).

4. A.G.Suarez, F.Hornero, E.J.Berjano. Mathematical Modeling of Epicardial RF Ablation of Atrial Tissue with Overlying Epicardial Fat// The Open Biomedical Engineering Journal. – 2010. – №4 – P.47-55.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ДЕФОРМИРУЕМОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ЛЕВОГО ПРЕДСЕРДИЯ

А.Н. Дымченко
Научный руководитель – к.т.н. Федотов Н.М.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: mailagentrus@gmail.com

В большинстве случаев форма внутренних органов подобна для каждого человека. Это дает возможность методам машинного зрения, применяемым в медицине, опознать и очертить анатомические объекты на основе априорных знаний об их соответствующих формах. Существенный прогресс был достигнут в использовании знаний о форме и размере модели, соответствующей каждому органу [1].

Метод сегментации, основанный на использовании модели, дает очень точные результаты в выделении границ как всего сердца [1-4], так и левого предсердия в частности [5].

Основным достоинством выбранного метода является возможность автоматизации процесса сегментации.

Цель работы заключается в разработке модифицированного метода деформируемой модели для автоматической сегментации левого предсердия.

Геометрические формы и физические размеры левого предсердия для каждого человека уникальны, и эта проблема имеет большое клиническое значение. Используя только одну модель-эталон для сегментации, различия в анатомии левого предсердия не могут быть выделены, и, таким образом, результат сегментации является неточным.

В ходе работы автором А.Н. Дымченко были проведены исследования анатомических изменений легочных вен с использованием КТ снимков 20 пациентов, на которых контрастировано левое предсердие. Формы левого предсердия, в зависимости от количества венозных устьев на левой и правой стороне, повторяют результат исследования, изложенного в источниках [2, 3].

По трехмерным реконструкциям, при взгляде на левое предсердие сзади, определялись особенности анатомии устьев легочных вен. Из всех вен общий легочный ствол слева наблюдался у 10% больных; общий вестибюль легочных вен слева – в 10% случаях, справа – у 5%; типичное строение легочных вен слева определялось у 85% больных, справа – у 80% человек. Дополнительная вена, впадающая самостоятельным устьем в левое предсердие, отмечалась справа у 20% пациентов.

При сегментации левого предсердия 20 пациентов с использованием одной модели-прототипа (три устья правых легочных вен и два устья левых легочных вен, которые образуют общий ствол) правильный результат был найден лишь в 15% случаев. При использовании модели-прототипа с типичным строением левых и правых легочных вен, процент правильно сегментированных КТ снимков 20 пациентов составил 65%.

В ходе проведения исследования над темой данной работы были выделены 14 пациентов с различными формами устьев легочных вен. Врачами-экспертами и автором данной работы вручную сегментированы КТ снимки пациентов с контрастированным левым предсердием, создана база данных из **14 «атласов форм» (моделей-прототипов) левого предсердия** с возможностью добавления новых.

Модифицированный метод деформируемой модели заключается в изначальном поиске формы устьев легочных вен левого предсердия (выбор модели-эталона) для повышения точности сегментации камеры левого предсердия в автоматическом режиме.

Автоматическая сегментация камеры левого предсердия выполняется в два ключевых этапа:

Определение начального положения левого предсердия – используется преобразование Хафа для определения примерного положения камеры левого предсердия и адаптации размера эталонной модели [3, 4, 6]. Адаптация размера эталонной модели к изображению проводится с использованием преобразования подобия, мульти-аффинные преобразования T и B-сплайн интерполяция [5-9].

Сегментация методом деформируемой модели, основанной на прототипе с использованием некоторого количества итераций происходит до того момента, пока сетка модели не достигнет некоторого стационарного состояния.

Деформируемая модель представляет собой шаблон некоторой формы, где оценка состояния модели производится с помощью величины «энергии» модели [4-7]. Энергия модели складывается из внешней энергии - соответствие конфигурации модели ограничениям на форму объекта (эталонная модель с формой устьев легочных вен) и внутренней энергии - критерий согласия модели и данных на изображении.

$E(C) = E_1(C) + E_2(C)$, где E_1 - внутренняя энергия, а E_2 - внешняя.

$E_2(C) = \sum_{i=1}^{V} \sum_{j \in N(i)} ((v_i - v_j) - (T \mid m_i \mid - T \mid m_j \mid))^2$, где

V – множество вершин деформируемой модели, N(i) – множество индексов соседних вершин, v_i – вершина деформируемой модели, m_i – вершина эталонной модели, которая подвергается мульти-аффинным преобразованиям.

В таблице 1 представлены результаты определения формы устьев легочных вен 20 пациентов

при последовательном автоматическом переборе 14 эталонных моделей для сегментации с использованием метода деформируемой модели. Та суммарная энергия $E(C)$ эталонной модели, которая минимальна, гарантирует текущую форму устьев легочных вен пациента.

Таблица 1 – Результаты определения формы устьев левого предсердия.

№ п/п пациента	Форма устьев LA	Обнаруженная форма устьев	Определение начального положе-ния, сек	Сегментация изображения, сек
1	1	1 +	21	249
2	4	4 +	23	265
3	3	3 +	23	262
4	7	7 +	19	251
5	7	7 +	20	254
6	6	6 +	21	255
7	5	5 +	20	261
8	2	2 +	22	259
9	1	1 +	19	257
10	2	2 +	22	248
11	3	3 +	23	249
12	7	7 +	21	260
13	6	6 +	20	258
14	**2**	**9 -**	**15**	**250**
15	5	5 +	19	260
16	5	5 +	19	261
17	7	7 +	22	262
18	1	1 +	23	260
19	3	3 +	21	264
20	**4**	**11 -**	**16**	**255**

Таблица 2 – Точность сегментации с использование 14 моделей-прототипов.

№ п/п пациента	Точность сегментации камеры левого предсердия σ, %	V камеры, сегментированный врачом-экспертом, мл	V камеры, сегментированный автоматически, мл
1	86,48	131,156	135,7727
2	90,61	115,216	120,274
3	88,78	119,343	126,7661
4	88,64	128,705	136,8906
5	89,01	120,981	127,018

Каждый набор данных состоит из 128 срезов в формате DICOM, с разрешением 512x512, полученными после проведения компьютерной томографии с контрастированием левого предсердия. Толщина каждого слоя – 1,2 мм.

Автоматическая сегментация камеры левого предсердия модифицированным методом деформируемой модели занимает в среднем 257 секунд, из них в среднем 20,5 секунд – на определение начального положения.

Погрешность сегментации определялась как отклонение объема камеры левого предсердия, полученного в результате сегментации в автоматическом режиме, от объема камеры, полученного в результате сегментации этих же данных врачом-экспертом. Средняя точность сегментации в автоматическом режиме с использованием 14 моделей-прототипов составляет 88,7%. Расчет времени проводился на компьютере с процессором Intel core i5 – 3300 MHz.

Список литературы

1. KainmuËller, D., Lange, T., Lamecker, H. «Shape constrained automatic segmentation of the liver based on a heuristic intensity model». Proc. MICCAI Workshop 3D Segmentation in the Clinic: A Grand Challenge. 2007. - 109–116 с.

2. Marom, E.M. «Variations in pulmonary venous drainage to the left atrium: Implications for radiofrequency ablation». Radiology 230(3). 2004. - 824–829 с.

3. Kaseno, K. «Prevalence and characterization of pulmonary vein variants in patients with atrial fibrillation determined using 3-dimensional computed tomography». The American Journal of Cardiology 101(11). 2008. - 1638–1642 с.

4. Ecabert, O. «Automatic model-based segmentation of the heart in CT images». IEEE Trans. Med. Imag. 27(9). 2008. - 1189–1201 с.

5. Zheng, Y., Wang, T., John, M., Zhou, S.K., Boese, J., Comaniciu, D. «Multi-part Left Atrium Modeling and Segmentation in C-Arm CT Volumes for Atrial Fibrillation Ablation». MICCAI vol. 6893. 2011. - 487–495 с.

6. Blaffert, T., Barschdorf, H., von Berg, J., Dries, S., Franz, A., Klinder, T., Lorenz, C., Renisch, S., Wiemker, R. «Lung lobe modeling and segmentation with individualized surface meshes». Volume 6914., SPIE. 2008.

7. Ballard, D.H. «Generalizing the Hough transforms to detect arbitrary shapes». Pattern Recognition 13(2). 1981. - 111–122 с.

8. Kohlberger, T., Uzunbas, M.G., Alvino, C.V., Kadir, T., Slosman, D.O., FunkaLea, G. «Organ segmentation with level sets using local shape and appearance priors». MICCAI (1). 2009. - 34–42 с.

9. Chenyang Xu, Dzung L. Pham, Jerry L. Prince. «Image Segmentation Using Deformable Model» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.iacl.ece.jhu.edu/~chenyang/research/pubs/p119b.pdf свободный (дата обращения: 11.02.2032).

РЕАЛИЗАЦИЯ HID ИНТЕРФЕЙСА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРООКУЛОГРАФИИ

Игнатовский В.В., Пестунов Д.А.
Научный руководитель: Пестунов Д.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: fernan@tpu.ru

В настоящее время существует много различных устройств, используемых для улучшения жизни людей с ограниченными возможностями. Разрабатываемое нами устройство является одним из них. Оно позволяет осуществлять управление персональным компьютером посредством беспроводного интерфейса, основываясь лишь на движениях глаз человека.

Описываемое в данной устройство выполняет след функции, а именно:

- увеличение возможностей операционной системы персонального компьютера;
- управление инвалидным креслом, а также бытовыми приборами и освещением;
- помощь во время работы с объектами, при которых одних рук недостаточно, например, при хирургии можно управлять камерой или освещением;
- и дыр.

Современные идеи коммуникации человека с компьютером посредством разнообразных интерфейсов развиваются в разных направлениях. Наше устройство использует метод электроокулографии для снятия биопотенциалов глаз, в дальнейшем преобразовывая эти биопотенциалы в движения мыши на экране.

Существует несколько видов управления компьютером посредством окулографии: видеоокулография и электроокулография. Первая использует камеры для фиксирования движений зрачков человека, вторая - электрические сигналы, проходящие в области глаз. Достоинством первого метода является отсутствие электродов, однако имеются и недостатки, один из которых неработоспособность при недостатке света. Электроокулографический метод позволяет управлять устройством вне зависимости от освещения, но имеет в своем составе электроды, которые должны хорошо контактировать с человеком. На рис.1 изображена схема размещения электродов для снятия биопотенциалов глаз.

Такое размещение электродов позволяет снимать дифференциальный сигнал по горизонтали (Right, Left) и вертикали (Up, Bottom). Последний пятый электрод (Gnd) используется как опорный. Расположение данных электродов таково, что для удобства использования все электроды можно разместить на оправе очков, главное обеспечить хороший контакт с кожей. Человеческий глаз имеет несколько видов движений: саккадические движения, тремор, дрейф, вергентные движения [1].

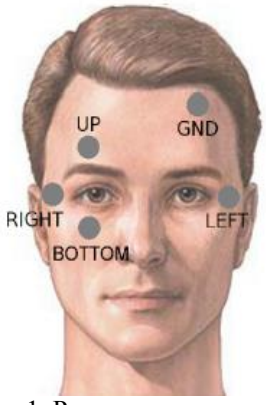


Рис. 1. Размещение электродов

Полезными являются лишь саккады, именно они несут информацию об изменениях положений глаз и взгляда человека. Саккады — быстрые, строго согласованные движения глаз, происходящие одновременно и в одном направлении. На рис. 2 изображена запись электроокулограммы с саккадическими движениями глаз:

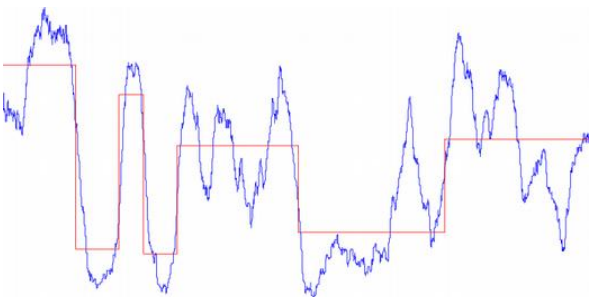


Рис. 2. Электроокулограмма (синим цветом - оригинальный сигнал, красным - сегменты)

Каждому человеку присущ собственный шаблон следования саккад, который определяется тремя параметрами: интервалом между саккадами, их амплитудой и ориентацией. Наибольшее число саккад следует через 0,2 - 0,6 секунд, амплитуда саккад изменяется в большом диапазоне от 2 угл.мин до 15 угл.град, ориентированы саккады практически во всех направлениях (вправо, влево, вверх, вниз).

Устройство можно представить структурной схемой (рис. 3).

Дифференциальный сигнал от каждой пары электродов передается по витой паре на плату устройства. Так как амплитуда сигнала очень мала, и обычно не превышает 1-3 мВ, необходимо качественное усиление сигнала, с отбрасыванием постоянной составляющей.

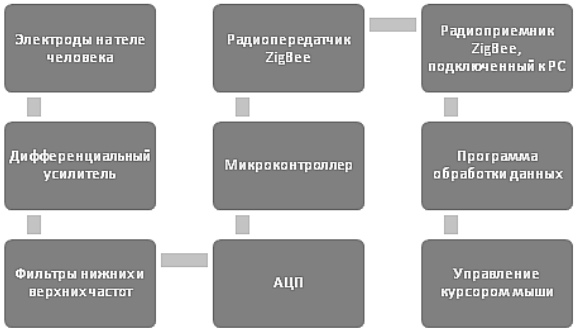


Рис. 3. Структурная схема устройства

Для таких целей используются прецизионные дифференциальные усилители. После усиления сигнал фильтруется. Полезная часть сигнала лежит в области частот от 0.1 Гц до 30 Гц. Кроме того, надо не забывать про сетевые помехи 50-60 Гц, помехи при контакте электродов, а также шумы от сокращения мышц рядом с электродами, и другие биосигналы. После всех операций аналоговой фильтрации сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь. В нашем устройстве функции снятия сигнала, его усиления, фильтрации и дискретизации выполняются на одной микросхеме ADS1292 (Texas Instruments).

Микросхема управляется непосредственно контроллером [2], и на него же передает уже необходимые данные. В своем устройстве мы будем использовать 32-разрядный микроконтроллер фирмы ST Microelectronics STM32F103. Здесь имеется вся необходимая для работы периферия: модуль SPI для подключения микросхемы ADS1292 и управления ею, через UART осуществляется связь с компьютером посредством RF-передатчика, USB используется для зарядки батарей и как аналогичный способ соединения с компьютером.

Устройство рассчитано на работу от двух литиевых батареек типа CR2032. Алгоритм работы обеспечивает нахождение контроллера в спящем режиме значительную часть времени, что продлевает срок службы батарей. Питание от батарей распределятся между аналоговой и цифровой частями для развязки высокочувствительных аналоговых усилителей от "цифрового шума".

Микроконтроллер будет использоваться только для обработки поступающей информации и отсылки ее по каналам связи на компьютер, а также для настройки работы микросхемы ADS1292 и RF-передатчика. Сделано это для экономии энергии и уменьшения энергопотребления устройства в целом. Анализ данных, их окончательная обработка, фильтрация и другие функции будут производиться непосредственно компьютером. Кроме того, быстродействие и многозадачность компьютера позволит ускорить процесс.

Данные, поступающие с электродов, подвергаются обработке по следующему алгоритму, который в данный момент находится в разработке, улучшении и модификации (рис. 4).

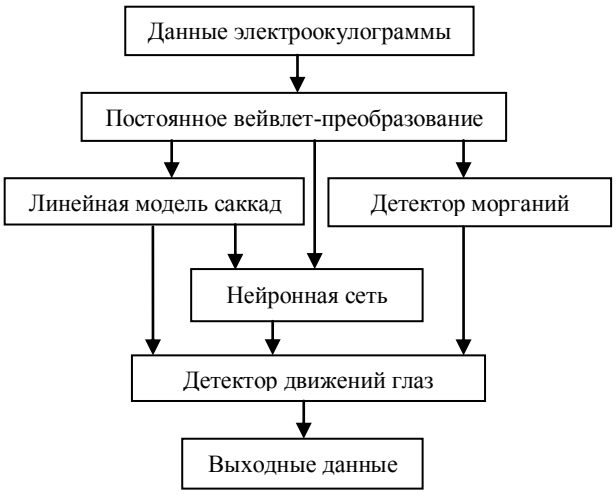


Рис. 4. Последовательность обработки данных

Вейвлет-преобразование позволяет отфильтровать высокочастотные помехи в полезном сигнале, а также получить амплитудные значения для саккад [3]. Таким образом, отфильтрованный и готовый для анализа сигнал поступает на детектор морганий и в модель саккад. Моргания имеют очень малую длительность, поэтому их легко отделить от саккад. Модель саккад определяет амплитудные всплески для каждой саккады, одновременно с этим сигнал поступает и в нейронную сеть, которая должна определить, является ли данный амплитудный всплеск саккадическим движением глаза или шумом. Как уже упоминалось, саккады имеют свой собственный шаблон следования для каждого человека, поэтому нейронную сеть необходимо заранее обучить. Результат умножения всплесков из модели саккад и данных из нейронной сети дает нам результирующий сигнал с точным расположением саккад и их амплитуд. Этот сигнал измеряется в детекторе движений глаз и поступает на выход или исполнительное устройство.

Список литературы

1. João Cordovil Bárcia. "Human electrooculography interface", Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Física Tecnológica, Lisboa, 2010, 135 p.

2. Интернет-ресурс производителя Texas Instruments, решения для использования в ЭКГ: http://www.ti.com/solution/ecg_electrocardiogram

3. Rafael Barea, Luciano Boquete, Jose Manuel Rodriguez-Ascariz, Sergio Ortega and Elena López. " Sensory System for Implementing a Human—Computer Interface Based on Electrooculography", Sensors 2011, 11, 310-328.

АБЛАТОР ДЛЯ ГИПО- И ГИПЕРТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ НА ОТКРЫТОМ СЕРДЦЕ

Идимешева Н.Н.
Научный руководитель: Мутовин Ю.В., доцент
Научный консультант: Пайгин Д.В., зам.директора ЗАО “НПО”Никор”
E-mail: innlaska@mail.ru

Аритмия – заболевание сердца, при котором нарушается координированная работа отдельных его частей. Последствием аритмии может стать летальный исход. К видам аритмии относятся: тахикардия, брадикардия, экстрасистолия, фибрилляция предсердий. Диагностика и лечение данного заболевания – актуальная проблема современной кардиологии.[1] В качестве лечения применяют: антиаритмические препараты, постановка кардиостимулятора, хирургическое вмешательство, а также различные виды аблации.

Основой аблации, иногда ее называют деструкцией, является точечное или линейное воздействие на существующие проблемные участки. Это воздействие образует микрошрам, который является препятствием на пути патологического импульса. Воздействовать можно лазером, ультразвуком, токами высокой частоты и холодом. [2]

Наиболее эффективными являются методы электро- и криоаблации. Электродеструкция может быть проведена в двух режимах: моно- и биполярном. Монополярный режим требует наличия нейтрального электрода, мощность воздействия 40-50 Вт, используется для воздействия на эпикард. Биполярный режим не требует пассивного электрода, мощность выходного сигнала составляет 80 Вт. Инструмент, используемый в этом режиме, представляет собой щипцы. Основное достоинство такого метода – трансмуральность воздействия. При выполнении некоторых операций, оба режима дополняют друг друга. К достоинствам электродеструкции можно отнести: высокую эффективность, относительную дешевизну метода, возможность регулирования выходной мощности воздействующего сигнала, риск развития проаритмий сводится к минимуму. Недостатки: ограниченные области воздействия, риск закупорки сосудов, ограничения по возрасту. [3]

В криодеструкции для получения холода используют жидкий азот (холодный газ) или применяют эффект Джоуля-Томсона (снижение температуры газа при резком его расширении). Метод с жидким азотом не получил широкого распространения, т.к. не возможна регулировка температуры воздействия и автоматического определения степени проморозки, сложна разморозка. Преимущества метода: меньшая область некроза, возможность вызывать равномерное воздействие, более быстрое восстановление пациента, уменьшенный риск осложнений. Минусы: работа с газом, более дорогая установка, операция длится дольше.

Не создано еще аппарата, совмещающего в себе оба этих метода. Целью моей работы является создание такого прибора. Это значительно расширит весь спектр хирургических операций. Достоинства многофункционального прибора:

- Использование энергии электрического заряда при разморозке (мощность сигнала меньше, чем при деструкции);
- Использование холода при нахождении очага аритмии (картирование). Температура воздействия меньше, чем при деструкции.
- Общая система управления инструментами.

Мощность разрабатываемого высокочастотного генератора - 100 Вт, этой мощности достаточно для всего спектра деструкции, частота - 440 кГц. Газ, используемый для получения низких температур, - закись азота (N_2O) или углекислый газ (CO_2).

Разработана структурная схема, представленная на рис. 1, где сплошной линией обозначено прохождение электрического сигнала, а штрихом – прохождение газа.

На входе деструктора стоит устройство защиты с фильтром радиопомех. После включения прибора напряжение сети 220 В, 50 Гц идет на выпрямитель со сглаживающим фильтром. После выпрямления и сглаживания напряжение поступает на преобразователь постоянного напряжения, который выполняет функцию стабилизации и регулирования. Уровень выходного напряжения определяется системой управления, далее постоянное стабилизированное напряжение 0..100 В поступает на инвертор. Инвертор преобразует входное постоянное напряжение в высокочастотное (440 кГц). Напряжение с выхода инвертора преобразуется по уровню и гальванически развязывается при помощи трансформатора. Датчики тока и напряжения формируют сигнал обратной связи. Конденсатор пациента необходим для устранения постоянной составляющей. Устройство коммутации служит для подключения высокочастотного напряжения к требуемому выходу (инструменту). Управление работой устройства осуществляется при помощи сенсорного экрана. Команда на начало воздействия поступает от хирурга, находящегося в «стерильной зоне», нажатием педали.

На выходе газового баллона стоит адсорбер для очистки газа. Через устройство подвода газа, а затем через устройство подключения инструмента, газ попадает в криоинструмент, резко охлаждая его. Отработанный газ через устройство подключения выводится в вентиляцию.



Рис.1. Структурная схема

Криочасть имеет 3 клапана, регулируемых системой управления: входной (для подачи газа в аппарат), выходной клапан (для подачи газа в инструмент) и клапан сброса (для вывода газа из аппарата). Для определения момента поступления и скорости расходования газа в аппарате стоят датчик давления и расходомер. Для определения температуры воздействия в криоинструменте установлен термодатчик, сигнал с которого через устройство подключения и изолирующий усилитель, поступает в систему управления. Для регулировки температуры рабочей части инструмента стоит редуктор. После окончания промораживания, на рабочую часть подводится размораживающее высокочастотное напряжение.

Согласно разработанной схеме был спроектирован и собран макетный образец с заданными техническими параметрами. Проведен ряд экспериментов с использованием в качестве объекта свиного сердца. Основные результаты:

1)Режим монополярной аблации. Время единичного точечного воздействия для получения надежной трансмуральности 2..6 секунд (это равно общепринятым критериям). Эксперименты проводились шаровым электродом диаметром 6 мм, в режиме с постоянной мощностью, момент окончания процесса определялся визуально. Сейчас ведутся работы над “автоматизацией” процесса по градиенту импеданса ткани. Это позволит значительно сократить время воздействия. Рассматриваются варианты введения обратной связи по температуре и оптическому каналу для более надежного определения трансмуральности.

2)Режим биполярной аблации. Получена удовлетворительная трансмуральность в режиме с постоянной мощностью воздействия. Продолжение работ тормозит отсутствие отечественного инструмента для биполярной аблации, создание которого является отдельной сложной темой для разработки.

3) Режим криодеструкции. Время выхода на режим (полного равномерного промораживания), при воздействии линейным электродом длиной 100 мм (операция “лабиринт”) составляет 20..40 секунд. Время оттаивания электрода после трехминутного воздействия не превышает 30 секунд. Трансмуральность хорошая. Эти данные на уровне результатов ведущих мировых производителей. [4] Эксперименты производились при постоянном потоке замораживания и постоянной мощности размораживания. Планируется использовать высокочастотное напряжение для определения параметров заморозки и размомрозки. Сейчас прорабатываются алгоритмы разморозки с падающей мощностью. Предварительные исследования показали, что это позволит сократить времена и превзойти характеристики ведущих мировых аналогов.

Ведутся исследования оптимальных характеров воздействия во всех режимах, разрабатываются алгоритмы воздействий. В ближайшее время планируется создание опытного образца и передача его на клиническую апробацию.

Список литературы:

1. Е.Е.Тюлькина, В.С.Моисеев, Ж.Д. Кобалова . Немедикаментозное лечение фибрилляции предсердий. Клиническая фармакология и терапия, 2002 г., 11 (4).

2. В.Н. Ардашев, В.И. Стеклов, В.П. Климов. Электрические методы катетерной аблации нарушений ритма сердца. Клиническая медицина 2001 г., №12.

3. А.С. Жигалкович. Фибрилляция предсердий. РНПЦ "Кардиология", Минск, 2010г.

4. http://www.atricure.com

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ БОС-ТРЕНИНГА БЕРЕМЕННЫХ ПРИ МОНИТОРИРОВАНИИ СОСТОЯНИИ СИСТЕМЫ МАТЬ-ПЛОД

Катранова Т.С.
Научный руководитель: Толмачев И.В.,
ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития России,
634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: katranova1990@mail.ru

Введение: В связи с прогрессированием патологии беременности, проблема неинвазивных методов фетального мониторинга с возможностью коррекции состояния до сих пор является актуальной. Длительное напряжение регуляторных систем организма матери приводит к истощению адаптационных резервов, нарушению физиологических ритмов и механизмов регуляции, что не может не сказаться на функциональном состоянии плода. В связи с этим, актуальной задачей современной медицины становится разработка методик коррекции состояния беременной, основанных на обращении к естественным ресурсам человеческого организма. Одним из таких методов является управление с биологической обратной связью или БОС-тренинг. В его основе лежит способность человека к сознательному влиянию на функции организма, в обычных условиях не поддающиеся произвольному контролю. Эта методика позволяет получить ряд физиологических эффектов, способствующих более благоприятному течению беременности и облегчающих роды.

Цель работы: оценка эффективности применения биологической обратной связи для тренинга беременной при мониторировании состояния системы мать-плод.

Задачи:

1. Разработка и реализация алгоритма БОС-тренинга для беременных в виде программного приложения.

2. Проведение исследований на группах беременных с последующей оценкой эффективности БОС-тренинга.

Материалы и методы:

Разработано программное приложение для БОС-тренинга, обеспечивающее управление в процессе сеанса частотой сердечных сокращений благодаря дыхательной аритмии, являющейся хорошим индикатором качества дыхания пациентки (рисунок 1).

Если пациентка добивается максимального колебания ЧСС при дыхании, то такое дыхание называется диафрагмально-релаксационным, что повышает оксигенацию крови и способствует профилактике гипоксии плода. Кроме того, разработанное программное приложение позволяет оценивать функциональное состояние плода на каждом из этапов БОС-тренинга.

Методика реализована в программном комплексе BFB-Pregnancy,с помощью которого осуществлялась фильтрация, запись смешанного сигнала электрокардиограммы матери и плода, и проводилось разделение сигнала на материнскую и плодную составляющую. BFB-Pregnancy состоит из двух частей:

- *Программа БОС-тренинга для регистрации, накопления и обработки сигналов,* полученных с абдоминальных электродов (программное приложение BFB-Pregnancy).
- *База данных (БД) для хранения информации о пациентках.* Структура БД соответствует стандартной истории беременности и включает общие данные, анамнез, диагноз и исследования (программное приложение PregnancyDB).

С помощью программно-аппаратного комплекса BFB-Pregnancy на базе НИИ акушерства, гинекологии и перинатологии Сибирского отделения Российской академии медицинских наук и родильного дома № 4 будет обследована группа беременных женщин (10 человек).

В группу для оценки эффективности тренинга

входят беременные со сроком гестации 32-35 недель с физиологическим течением, без патологии матери и плода. Для более эффективного усвоения навыка управления ЧСС нужно не менее 2-х выполнений тренинга с перерывом в 2 дня. В помещении для БОС-тренинга должна быть комнатная температура, шумоизоляция, спокойная обстановка без раздражающих факторов (посторонние люди, разговоры). Женщина располагается в удобном

кресле перед монитором. На брюшную стенку накладываются 5 абдоминальных электродов, смазанных электропроводным гелем. Инструктор дает общие рекомендации на выполнение сеанса. Далее пациентка приступает к выполнению задания. Общая длительность сеанса – 18 минут.

Методика проведения сеанса БОС-тренинга, основная цель которой состоит в том, чтобы научить беременных женщин навыкам саморегуляции включает следующие блоки:

1) Запись состояния матери и плода до тренинга;

• этап проверки возможностей организма на изменение величины дыхательной аритмии;

• этап увеличения ЧСС матери;

• этап уменьшения ЧСС матери;

• этап увеличения дыхательной аритмии матери и выработку навыков диафрагмально-релаксационного типа дыхания

2) Запись состояния матери и плода после сеанса;

Каждый из этих этапов будет сопровождаться визуальными образами.

До каждого этапа и после пациентке предоставляется визуальный образ для отдыха, подобранный в определенной цветовой гамме.

После каждого этапа тренинга происходит вычисление ряда характеристик состояния организма матери и плода, которые выводятся на экран и сохраняются в базу данных: Mo, dX, AMo, ИН, ЧСС.

Эти характеристики отражают состояние вегетативной нервной системы матери и плода. Каждому из рассчитываемых показателей при анализе кариоинтервалограммы придается определенный физиологический смысл. На основе полученных данных отслеживается динамика показателей матери и плода между каждым этапами тренинга, а также между сеансами. Эффективность БОС-тренинга может быть оценена исходя из параметров, характеризующих уровень стресса плода (Mo, dX, AMo, ИН, ЧСС плода), а также функционального состояния матери (Mo, dX, AMo, ИН, ЧСС матери). Будет проводиться сопоставление физиологических показателей в исходном фоновом состоянии и на различных этапах одной реабилитационной процедуры.

Для этого необходимо провести:

• Анализ динамики регулируемого физиологического показателя (ЧСС матери), непосредственно используемого в формировании зрительных и звуковых образов БОС;

• Анализ динамики неуправляемых физиологических показателей матери, характеризующих функциональное состояние различных систем организма не участвующих в формировании БОС-образов как непосредственно в процессе процедуры, до и после нее: мода (Mo), вариационный размах (dX), амплитуда моды (AMo), индекс напряжения (ИН), ЧСС .

• Анализ динамики физиологических показателей структуры сердечного ритма плода в процессе тренинга матери: мода (Mo), вариационный размах (dX), амплитуда моды (AMo), индекс напряжения (ИН), ЧСС.

Полученные записи электрической активности сердец матери и плода будут представлены в виде кардиоинтервалограмм.

Для обработки сигналов, будет предложен следующий алгоритм:

- расчет характеристик кардиоинтервалограммы после каждого этапа тренинга, представление их в графическом и табличном виде на отдельной форме;
- отслеживание динамики параметров во время тренинга: применим непараметрический критерий для зависимых данных Фридмана, который будет считаться статистически значимым при $p< 0,05$.
- для оценки межсистемных взаимодействий будет проводиться корелляционный анализ характеристик сердечного ритма матери и плода. Используем коэффициент ранговой корреляции R-Спирмена, который будет считаться статистически значимым при $p<0,05$.

Статистическая обработка полученных в ходе исследования результатов будет осуществляться при помощи пакета Statistica 6.0 forWindows.

Заключение:

Данный метод позволит разработать и реализовать алгоритм БОС-тренинга для беременных в виде программного приложения BOS, который позволит проводить сеанс на протяжении 18 минут с последующим подсчетом параметров кардиоинтервалограммы матери и плода, а также подтвердить эффект применения БОС-тренинга на группе беременных.

Литература:

1. Баевский Р. М., Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. / Р. М. Баевский – М.: Медицина. 1979.-295 с.

2. Ким Е. В. , Адаптивное биоуправление с обратной связью и возможности его использования в период беременности и при подготовке к родам. / Е. В. Ким // Российский вестник акушера-гинеколога. 2004. №2.-С.31-34.

3. Сметенкин А. А., Пат. на изобретение 2134542 РФ. МПК[8] 98121424/14. Способ подготовки беременной к родам / А. А. Сметенкин, В. Ю. Ледина // – Опубл. 20.08.1999.

4. Пат. на ПМ 79768 РФ. МПК[8] A61B 5/04. Устройство для регистрации сердечного ритма плода с абдоминальных электродов / Я. С. Пеккер, К. С. Бразовский, И. В. Толмачёв, Е. Ю. Киселёва, Л. А. Агаркова, Н. А. Габитова // – Опубл. 20.01.2009, бюл. № 2.

5. Пиви Б. С., Танец матери и ребенка: Тренинг БОС для беременности, схваток и изгнания / Б. С. Пиви // Биологическая обратная связь. 1999.-№ 4.-С. 17-21.

6. Федотчев А. И., Особенности течения сеансов биоуправления с обратной связью по ЭЭГ при нормальном и отягощенном отекании беременности // Журнал высшей нервной деятельности. 2009.-Т.59, №4.-С. 421-428

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКОГО КАНАЛА ДЛЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НА НАНО-ЭЛЕКТРОДАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Кашуба И.В., Турушев Н.В., Южаков М.М.
Научный руководитель: Авдеева Д.К., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kashuba_irina@mail.ru

Человек ежедневно подвергается различным стрессовым ситуациям, которые в свою очередь вызывают различные эмоции от радости до гнева. Эмоциональное состояние человека влияет на его здоровье, так как эмоции имеют прямую и обратную связь со всеми системами и органами человека и зарождаются непосредственно в центральной нервной системе, контролирующей всю жизнедеятельность. Поэтому любые изменения в деятельности органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, пищеварения, желез внутренней секреции или скелетной и гладкой мускулатуры приводят к изменениям, хотя и незначительным, в эмоциональном фоне человека. В свою очередь, состояние эмоционального фона также способно влиять на жизнедеятельность организма. [1]

Психоэмоциональное состояние — особая форма психических состояний человека с преобладанием эмоционального реагирования по типу доминанты. Эмоциональные проявления в реагировании на действительность необходимы человеку, так как они регулируют его самочувствие и функциональное состояние. Дефицит эмоций снижает активность центральной нервной системы и может явиться причиной снижения работоспособности. Чрезмерное влияние эмоциогенных факторов может вызвать состояние нервно-психического напряжения и срыв высшей нервной деятельности.[2]

В инженерно-психологических и медико-биологических исследованиях, особенно при оценке уровня психоэмоциональной напряженности пациента, широко применяются электрофизиологические показатели человека. На данный момент существует множество методов, позволяющих выявить и зафиксировать электрофизиологические показатели человека. Правильный выбор методики, адекватное использование ее показателей, являются условиями, необходимыми для проведения успешного психофизиологического исследования. Данная область исследования значима как в медицине, так и в инженерии.

Основными методами регистрации электрофизиологических показателей человека являются электрокардиография (ЭКГ), электро-миография (ЭМГ), электроэнцефалография (ЭЭГ), электро-окулография (ЭОГ), кожно-гальваническая реакция (КГР). Эти методы позволяют регистрировать такие параметры, как возбуждение мышц, учащенное сердцебиение, отток крови от кожной поверхности человека, активность головного мозга и т.д. Согласно исследованиям[?], эти методы позволяют регистрировать изменение эмоционального состояния человека.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) характеризует определенные состояния человека – спокойствие, напряжение, возбуждение, так как различные части мозга реагируют на различные эмоциональные состояния [3]. По частоте и амплитудным характеристикам выделяют следующие ритмы ЭЭГ:

- альфа-ритм, (8-13) Гц; (30-150) мкВ - основной ритм ЭЭГ, преобладающий в состоянии покоя.

- бета-ритм, (14-30) Гц, (10-30) мкВ, появляется при интеллектуальной активности мозга, например, при решении задач, а также при фото- и фоностимуляции. Нервное напряжение и беспокойство приводят к уменьшению альфа-ритма и появлению бета-ритма.

- гамма-ритм, (30-50) Гц, до 10 мкВ, появляются при чрезмерном эмоциональном возбуждении , при сенсорной активации коры больших полушарий.

- тета-ритм, (4-7) Гц, (100-150) мкВ, наблюдается при засыпании.

- дельта-ритм (0,5-3) Гц, (150-200) мкВ, регистрируется при глубоком сне или при наркозе.

По некоторым данным у лиц с доминированием положительных эмоций регистрируются альфа-ритм и медленные составляющие ЭЭГ, а у лиц с преобладанием гнева – бета-активность. Предметом нашего исследования стали проявления эмоций в электроэнцефалограмме (ЭЭГ) человека.

Повышение разрешающей способности средств для оценки психоэмоционального состояния человека является актуальной задачей в настоящее время. В Томском политехническом университете в институте неразрушающего контроля разработаны медицинские наноэлектроды для электроэнцефалографии, электрокардиографии, электромиографии, электроокулографии, для исследования кожно-гальванической реакции, метрологические характеристики которых на порядок превышают параметры известных электродов. Современные нанотехнологии и наноматериалы открыли новые перспективы для создания нового поколения медицинских электродов – наноэлектродов**,** имеющих на порядок более высокую стабильность электродного потенциала, стабильные контактные и поляризационные потенциалы, более низкое напряжение шума и сопротивление.

На базе разработанных наноэлектродов, был разработан электроэнцефалографический канал для аппаратно-программного комплекса для оценки психоэмоционального состояния человека, который включает в себя 22 канала. В отличие от аналогичных приборов, разработанная система не использует фильтрацию сигналов. За счет этого получаемая информация не искажается и представляется «как есть». Исключить при проектировании прибора из структурной схемы фильтрующие сигналы цепи позволили разработанные в лаборатории медицинского приборостроения ФГБОУ ВПО НИ ТПУ ИНК высокостабильные малошумящие хлор-серебряные наноэлектроды. Структурная схема электроэнцефалографического канала представлена на рис.1. На структурной схеме приведены основные блоки разрабатываемого устройства: ИУ – инструментальный усилитель, ОУ – операционный усилитель, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь.

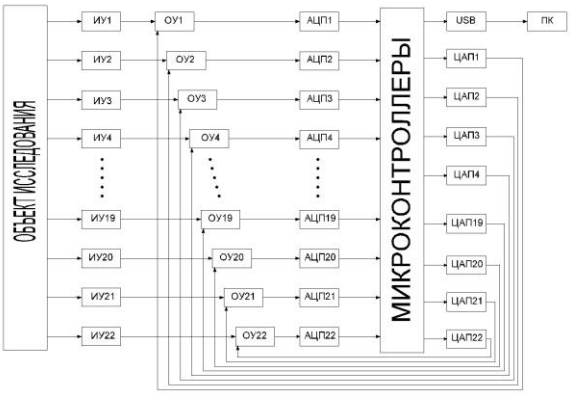


Рис.1. Структурная схема электроэнцефалографического канала.

В качестве объекта исследования выступает человек. Электроды устанавливают на голову пациента по международной системе отведений 10-20%, затем снимаемый сигнал поступает на инструментальный усилитель, который обеспечивает согласование выходного сопротивления биообъекта и усилителя. После инструментального усилителя сигнал подается на операционный усилитель. Далее сигнал подается на АЦП, затем сигнал через микропроцессор поступает на вход USB компьютера, на котором выполняются программы для сбора и анализа полученной информации.

На разработанном устройстве были проведены клинические исследования. В ходе эксперимента испытуемый ответил на ряд вопросов, которые состояли как из «нейтральных» вопросов, так и из «компрометирующих». Это было сделано с целью установления уровня тревожности, вызываемым вопросом, и степени изменений, вносимых при этом в сигнал ЭЭГ. Обработка полученных сигналов проводилась в программе Students Health.[4,5]

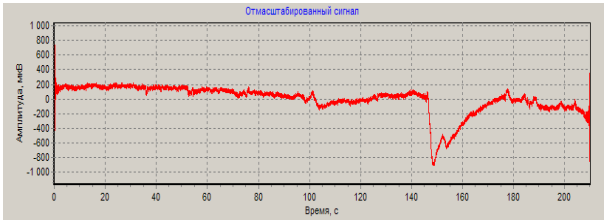


Рис. 2 Сигнал ЭЭГ

Из рис. 2 видно, что на 145 секунде произошел сильный скачок сигнала ЭЭГ, как раз в это время пациенту задали вопрос, который вызвал стрессирующее воздействие. Так же были незначительные скачки сигнала во время всего эксперимента. Это говорит о том, что воздействие на психоэмоциональную сферу человека влечет за собой довольно значительные физиологические отклики в организме, в данном случае это изменение мозговой активности.

Данная область изучения в медицинской технике очень важна, так как электроэнцефалография позволяет не только зафиксировать психоэмоциональное состояние человека, но и помочь в обнаружении очаговых поражений мозга, заболеваний таких как эпилепсия. Поэтому очень важна разработка новой аппаратуры, которая позволит выявить патологии и заболевания на ранних стадиях.

Список использованной литературы:

1. Здоровье [Электронный ресурс]/ электрон.дан.- 2002-2009 г. - Режим доступа: http://www.o5a.ru/page,3,31-ponyatie-psixoyemocionalnogo-sostoyaniya-cheloveka.html, свободный

2. Безруких М.М., Фабер Д.А. Психофизиология. Словарь // Психологический лексикон. Энциклопедический словарь: В 6 т. / ред.-сост. Л.А. Карпенко; под общ. ред. А.В. Петровского. — М.: ПЕР СЭ, 2006. — 128 с.

3. Биопотенциалы мозга человека. Математический анализ./ Под ред. В.С. Русинова – М.:Медицина, 1987.-256 с.

4. Авдеева Д.К., Демьянов С.В., Максимов И.В., Лежнина И.А., Садовников Ю.Г. Результаты предварительных технических и медицинских исследований электрокардиографов на наноэлектродах // Фундаментальные исследования. 2010. №12 С.54–62.

5. Авдеева Д.К., Казаков В.Ю., Ким В.Л., Пеньков П.Г., Садовников Ю.Г. Аппаратура на наноэлектродах для оценки физического и психоэмоционального состояния обучающихся//Контроль и диагностика. 2011. Специальный выпуск. С.3–6.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ КУЛЬТУР КЛЕТОК НА ПЛАСТИКЕ

Клепикова Ю.В.
Научные руководители: Бразовский К.С., к.м.н., доцент, Хлусов И.А., д.м.н., профессор
Сибирский государственный медицинский университет, 634050, г.Томск, Московский тр. 2
e-mail: 1klepochka1@mail.ru

Оценка и сравнение структурно-функционального состояния мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток при прямом и опосредованном контакте с различными искусственными материалами имеет большое фундаментальное и прикладное значение для медицинского материаловедения и биоинженерии тканей. Выполняется эта оценка, в том числе, при помощи обработки и анализа электронных изображений, получаемых с препаратов.

В процессе получения изображений культур клеток на пластике в проходящем свете с большим увеличением (больше 100) появляются специфические искажения, затрудняющие обработку и выделение информативных признаков. Прежде всего, это неравномерность яркости и контрастности в поле зрения, нарушение цветового баланса, существенное отклонение распределения яркости и цветовой насыщенности от нормального распределения (рис.1). Также очень сложно выделить объекты исследования – клетки, поскольку средняя яркость клетки очень близка к средней яркости фона.

В настоящее время для обработки изображений активно используется коммерческое программное обеспечение (ПО) и бесплатное открытое ПО.

Коммерческое ПО разработано чаще всего под конкретный вид решаемых задач, где имеет высокую точность результатов, сосредоточено на простоте использования и направлено на пользователей-биологов, которые нуждаются в относительно рутинных решениях. Недостатками коммерческого ПО является высокая стоимость, отсутствие универсальности (в случае изменения технологии необходимо менять программное обеспечение), отсутствие доступа к коду со стороны пользователя, использование специальных форматов данных.

Альтернативой коммерческому программному обеспечению выступает открытое бесплатное ПО, в основном предназначенное для академического использования. Для него характерны: универсальность, общедоступность, возможность модификации кода под специализированную задачу. ПО с открытым кодом обеспечивает необходимую открытость, давая ученым возможность не только полностью понять вычислительные методы, но и адаптировать и улучшать их, опираясь на исследования других в лучшую научную традицию [1Cardona, A. Current challenges in open-source bioimage informatics / A. Cardona, P. Tomancak // Nature Methods – 2012. – Vol. 9, No. 7. – P. 661–665.].

Разработано множество специальных и универсальных алгоритмов для обработки биомедицинских изображений, которые реализованы в свободно распространяемых пакетах программного обеспечения CellProfiler [2], ImageJ [3, 4], Fiji [5].

Существующие программы ориентированы, преимущественно, на обработку микрофотографий, распределение яркости и цветовой насыщенности которых приближены к нормальному распределению. В связи с этим, большинство существующих методов «улучшения изображений» («image enhancing methods»), таких как выравнивание гистограммы, корректировка цветового баланса, оптимизация динамического диапазона и другие работают некорректно и не исправляют имеющиеся искажения. В этой связи актуальна задача разработки алгоритмов уменьшения специфических искажений, возникающих при формировании электронных изображений культур клеток на пластиковой поверхности культуральных сосудов.

Цель работы – разработать программный комплекс для обработки электронных изображений культур клеток.

Задачи данного исследования:

1. провести патентное исследование в области автоматической обработки электронных изображений культур клеток;
2. разработать основные алгоритмы коррекции специфических искажений электронных изображений культур клеток на пластике;
3. разработать структурную и функциональную схемы программного комплекса;
4. выполнить программную реализацию комплекса в виде модулей для программы ImageJ;
5. провести экспериментально исследование с использованием разработанного комплекса и тестового набора электронных изображений культур клеток на пластике.

Материалы и методы.

Образцы исследования представляют собой полистироловую поверхность 24-луночных планшетов (Costar) с культурой пренатальных клеток, выделенных из легкого человека. Фотографировали лунки культурального планшета с разрешением 14,7 мегапикселей на дюйм (цифровая камера Canon PowerShot G10) в проходящем свете с использованием возможностей оптического микроскопа и системы видеодокументации “Zeiss Axioscop 40”. Пример микрофотографий представлен на рис.1. Алгоритм коррекции будет реализован на языке Java в виде плагина к программе ImageJ.

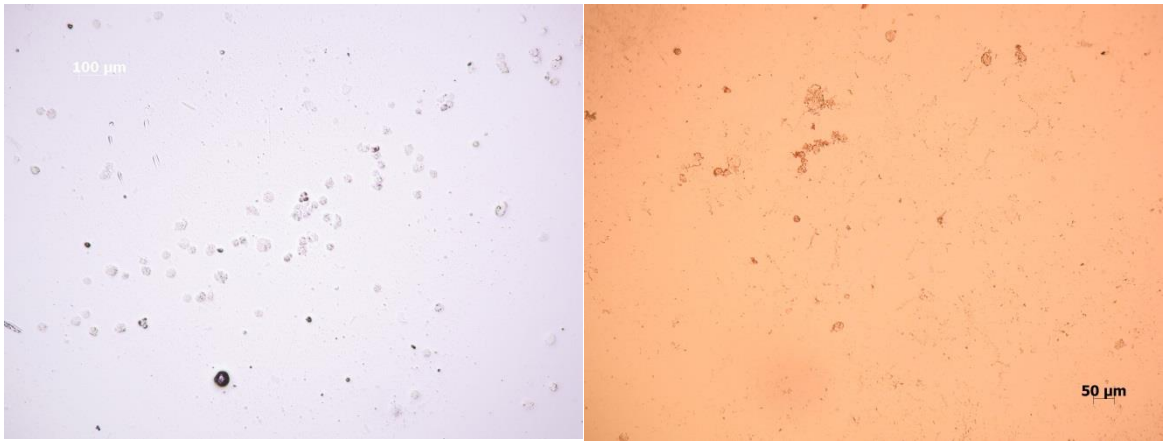


Рис. 1. Микрофотографии культур клеток на пластике

Результаты.

Нами было проведено патентное исследование в данной области, по результатам которого можно сделать вывод, что вопрос анализа и обработки микрофотографий является одной из основных тенденций развития исследуемой области. Примером может быть патент №2406144 от 27.03.2009, опубликованный 10.12.2010, «Способ компьютерной обработки и анализа изображений разнотипных объектов биологической природы». В данном способе в компьютер вводят цветное изображение с биологического препарата, выполняют фильтрацию шумов и помех, сегментацию всех изображений объектов и их элементов за один проход обработки с помощью интерактивного порогового преобразования в пространствах цветовых признаков HSV или RGB. Также патент № 7492947 от 08.10.2003, опубликованный 17.02.2009, «Image processing method and image processing apparatus». Данный патент описывает способ уменьшения шумов на изображении, невызывающий нерезкость изображения, что в дальнейшем облегчает распознавание образов.

Как уже было отмечено, все существующие методы коррекции не исправляют имеющиеся на микрофотографиях искажения. Поэтому было предложено разработать алгоритм, который позволит улучшить качество электронных изображений.

Планируется различными методами (статистического анализа, аппроксимации и др.) подобрать наиболее подходящий в данном случае алгоритм коррекции изображений.

Этапы алгоритма:

1. Улучшение качества микрофотографий с помощью коррекции цветового баланса, выравнивания гистограмм яркости и контрастности.
2. Нахождение и удаление артефактов (применение порога), подавление шумов.
3. Нахождение области интересов (клеток) на основе характеристик формы, размеров и окраски клеток.
4. Морфометрия найденных клеток (запись в базу данных параметров клеток: площадь, округлость, эллипсоидность, оптическая плотность).

Данный программный комплекс позволит пользователю-эксперту добавлять изображения в базу данных, получать готовые результаты и не задумываться об их информативности, т.к. программа сама будет проводить обработку и анализ изображений в автоматическом режиме.

Список литературы:

1. Cardona, A. Current challenges in open-source bioimage informatics / A. Cardona, P. Tomancak // Nature Methods – 2012. – Vol. 9, No. 7. – P. 661–665.
2. Lamprecht, M. R. CellProfiler: free, versatile software for automated biological image analysis / M. R. Lamprecht, D. M. Sabatini, A. E. Carpenter // BioTechniques. – 2007. – Vol. 42. – P. 71-75.
3. Collins, TJ. ImageJ for microscopy // Biotechniques – 2007. – Vol. 43. – P. 25-30.
4. Schneider, C. A. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis / C. A. Schneider, W. S. Rasband, K. W. Eliceiri // Nature Methods – 2012. – Vol. 9, No. 7. – P. 671–675.
5. Schindelin, J. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis / J. Schindelin, I. Arganda-Carreras, E. Frise, V. Kaynig et al. // Nature Methods – 2012. – Vol. 9, No. 7. – P. 676-682.

БЛИЖНЯЯ ИНФРАКРАСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРИЧЕРЕПНЫХ ГЕМАТОМ

Кутергина Е.С. Аристов А.А.
Научный руководитель: Аристов А.А. к.т.н., доцент
Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: new_moone@mail.ru

Внутричерепная гематома является серьезным и потенциально угрожающим жизни состоянием, которое зачастую требует немедленного лечения. Головной мозг находится внутри черепа, окруженный жидкостью, которая защищает его от толчков при обычных передвижениях. Но иногда жидкость не в состоянии нейтрализовать силу внезапного удара или быстрой остановки. В такой ситуации головной мозг резко встряхивается и с силой ударяется о стенку черепа, вследствие чего может произойти ушиб мозга. Внутричерепная гематома развивается при разрыве кровеносного сосуда в головном мозге или между черепом и головным мозгом. Скопление крови (гематома) сдавливает ткань головного мозга.

Диагностирование гематомы может представлять собой достаточно сложный процесс. При обследовании людей после черепно-мозговых травм, в случае наличия гематом мозга наиболее часто выявляются следующие проявления: горизонтальный мелкоразмашистый, быстро истощающийся нистагм, вялая реакция зрачков на свет, снижение или отсутствие брюшных и кремастерных рефлексов, мышечная слабость или спастика мышц, двоение в глазах или ослабление зрения, потеря обоняния и вкуса, нарушения речи, такие как медленная или невнятная речь, головные боли, утомляемость, повышенная потребность во сне, проблемы с равновесием.

В случае подозрения на наличие кровоизлияния, лучшим способом определить локализацию и размер гематомы является визуализация. Она включает такие методы, как: компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ).

Однако возможность томографического обследования существует далеко не всегда. Например, на поле боя или в значительном удалении от диагностических центров. И перед клиницистами, принимающими участие в диагностике и лечении черепно-мозговой травмы, стоит непростая задача — обеспечить оптимальную рациональную диагностику при минимальных затратах, объективизировать показания к госпитализации и определить наиболее быстрый эффективный метод лечения.

В качестве метода диагностики состояния мозга и окружающих тканей, могут быть применены оптические методы. В частности, одним из методов визуализации биологических структур является оптическая томография. Однако, ввиду сильных рассеивающих и поглощающих свойств костей черепа получить удовлетворительные результаты с помощью данного метода транскраниально удается лишь у грудных детей, пока ткани черепа обладают относительной ”прозрачностью”.

Также одним из вариантов диагностики, могут быть оптические методы, основанные на ближней инфракрасной спектроскопии. Все биологические ткани в разной степени пропускают электромагнитное (ЭМ) различной частоты и интенсивности. С точки зрения спектроскопии это объясняется тем, что различные молекулы селективно поглощают ЭМ излучение различной длины. Подобным образом, ткани также отражают ЭМ излучение в разной степени. Выбор для зондирования ЭМ волн ближнего инфракрасного (БИК) диапазона (длина волны 0.75 - 1.4 мкм) обуславливается сравнительно малым поглощением данной области спектра биологическими тканями. Таким образом, оно проникает гораздо глубже в образец, чем видимый свет и инфракрасное излучение с большей длиной волны. В результате, ближний инфракрасный свет может проникнуть на несколько сантиметров в биологические ткани, что позволяет неинвазивно исследовать головной.

В процессе спектроскопической диагностики, фотоны от источника света направляются по определенной траектории через исследуемую ткань обратно к детектору, расположенному на небольшом удалении от источника. Несмотря на значительное затухание световых волн из-за процессов поглощения и рассеяния, тем не менее, в регистрируемом излучении сохраняются спектроскопические признаки молекул, через которые они прошли на пути к детектору.

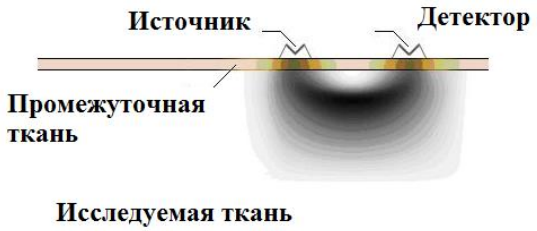


Рис. 1. Условное изображение прохождения фотонов через исследуемую ткань от источника света до детектора

Значительный вклад в поглощающее и рассеивающее свойство просвечиваемой области вносят ткани кожи и костей черепа. С оптической точки

зрения кожа представляет собой многослойную поглощающую среду с ярко выраженными рассеивающими свойствами. Взаимодействие света с такой средой носит сложный характер, который начинает проявляться уже при прохождении светом границы раздела воздух-кожа. Граница раздела воздух-кожа не является гладкой. Она представляет собой плотный слой слипшихся кератиноцитов, на котором располагаются фрагменты эпидермиса, находящиеся в стадии отрыва. Из-за разных показателей преломления воздуха и рогового слоя кожи падающее излучение частично отражается (френелевское отражение, составляющее величину порядка 5-7%). При этом из-за микроскопической неоднородности границы раздела, отраженный свет становится диффузным.

На основе метода БИК спектроскопии уже существует портативный прибор для диагностики внутричерепных гематом мозга – Infrascanner Model 1000 и Infrascanner Model 2000. Принцип диагностики внутричерепных гематом с использованием инфракрасного сканера основан на том, что внесосудистая кровь поглощает БИК излучение сильнее, чем внутрисосудистая, что объясняется большей (обычно в 10 раз) концентрацией гемоглобина в остротекущей гематоме посравнению с нормальной тканью мозга, в которой кровь находится внутри кровеносных сосудов. Инфракрасный сканер сравнивает оптические характеристики левого и правого полушария мозга в четырех различных зонах. Поглощение БИК излучения больше (а, следовательно, количество отраженного света меньше) в том полушарии мозга, где обнаружена гематома (по сравнению с неповрежденным полушарием) [1].

В качестве источника излучения в InfrascannerModel 2000 используется лазер, работающий в ближнем инфракрасном спектре (808 нм). Он позволяет «засечь» наличие относительно большого количества внесосудистой крови за счет концентрации в одном месте значительного количества гемоглобина, который «виден» в около инфракрасном спектре. Разница в оптической плотности (ΔOD) в различных зонах рассчитывается по формуле:

$$\Delta OD = \log\left(\frac{I_N}{I_H}\right)$$

где I_N - интенсивность отраженного излучения с нормальной стороны, I_H - интенсивность отраженного излучения со стороны, пораженной гематомой [1, 3].

В ходе клинических испытаний, проведенных в НИИ НДХиТ (Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии) было обследовано 95 пациентов с легкой черепно-мозговой травмой. Результаты обследования пострадавших с использованием компьютерной томографии головного мозга и инфракрасного сканирования показали, что точность прибора составила более 90%. Осмотр одного пациента занял 2-3 минуты, максимальная эффективная глубина обнаружения наличия гематомы составила 3,5 сантиметра от поверхности кожи черепа [3].

Несмотря на все преимущества, которыми обладает InfrascannerModel 2000, как сообщает официальный пресс-релиз компании, устройство не в состоянии определить очень небольшие кровотечения, а также гематомы, которые залегают слишком глубоко — отсюда и предупреждение о том, что InfrascannerModel 2000 не заменит традиционные методы исследования. Проблемой остаются и повреждения (ушибы) мягких тканей свода черепа, которые также сопутствуют черепно-мозговой травме. Высокая чувствительность и специфичность инфрасканера к наличию экстравазального скопления крови при наличии даже небольших очагов повреждения в мягких тканях часто являютсяпричиной так называемого ложноположительного ответа [5].

Данный сканер позволяет выявить только наличие гематом с вероятностью 91%, но данной устройство не позволяет определить параметры самой гематомы (объем, площадь, глубина залегания, плотность, более точная локализация), которые имеют важное диагностическое значение для проведения дальнейших реанимационно-реабилитационных мероприятий. Следовательно, необходимо дальнейшее совершенствование с целью получения данных показателей.

Литература

1) Gopinath SP, Robertson CS, Grossman RG, et al: Near-infrared spectroscopic localization of intracranial hematomas. J Neurosurg 79:43–47, 1993

2) Инфракрасный сканер модель 1000. Руководство по эксплуатации. Д. Солт, отдел нормативно-правового регулирования, 2009.- 29с.

3) Научно-практический журнал – Нейрохирургия и Неврология детского возраста, №4(30)2011

4)Википедия, http://en.wikipedia.org/wiki/Near_infrared_spectroscopy , lastaccessed 24,Aug, 2008

5) http://www.ajvita.ru/2013/01/23/infrascanner 2000/ Infrascanner model 2000 – сканер для определения внутричерепного кровотечения.

ФИЛЬТРАЦИЯ В ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ

Моженина Е.Е., Никонорова Д.Н., Антоненко И.С.
Научный руководитель: Лежнина И.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.Ленина 30
E-mail: medpribor@introscopy.tpu.ru

Все устройства записи, как аналоговые, так и цифровые, обладают свойствами, которые делают их восприимчивыми к шуму. Шум может быть случайным и не когерентным, то есть не связанный с самим сигналом, или когерентным, вносимый устройствами записи и алгоритмами обработки.

Шум – беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры.

Приём сигнала на фоне шума описывается в виде процедуры фильтрации сигнала посредством фильтра, при этом ставится задача максимально ослабить шумы и помехи, и минимально исказить принимаемый сигнал.

Фильтр (от лат. *filtrum* «войлок») — понятия, устройства, механизмы, выделяющие (или удаляющие) из исходного объекта некоторую часть с заданными свойствами.

Проблема выделения полезного сигнала на фоне целого комплекса помех и искажений является одной из основных при проведении современных электрокардиологических исследований. Наличие артефактов в электрокардиологическом сигнале (ЭКС) существенно затрудняет его анализ и выявление диагностических признаков. При решении данной задачи сложность заключается в выборе методов фильтрации для устранения определенного типа артефактов, а так же критериев оптимизации используемых алгоритмов.

Стандарт на электрокардиографы не регламентирует набор фильтров для электрокардиографа, а также их характеристики в конкретной модели приборов.

В некоторых источниках говорится о достаточно сильном влиянии фильтров на сигнал ЭКГ.

В современном кардиографе применяются несколько видов фильтров, предназначенных для разных задач, а каждый из видов может быть представлен несколькими вариантами. Это создает большое число возможных комбинаций фильтров.

Рассмотрим основные виды фильтров:

- фильтры сетевой наводки;
- фильтры нижних частот, ограничивающие ЭКГ-сигнал в области высоких частот;
- фильтры высоких частот, ограничивающие ЭКГ-сигналы в области низких частот.

Многие авторы подчеркивают важность вопросов, связанных с фильтрацией.

В различных электрокардиографах используются различные виды фильтров и, следовательно, они будут по разному влиять на сигнал ЭКГ. Именно различным влиянием фильтров на ЭКГ можно объяснить расхождение в показаниях различных электрокардиографов. В зависимости от параметров фильтрации сигнала могут наблюдаться достаточно заметные изменения в чувствительности выявления ишемии миокарда по смещению сегмента ST.

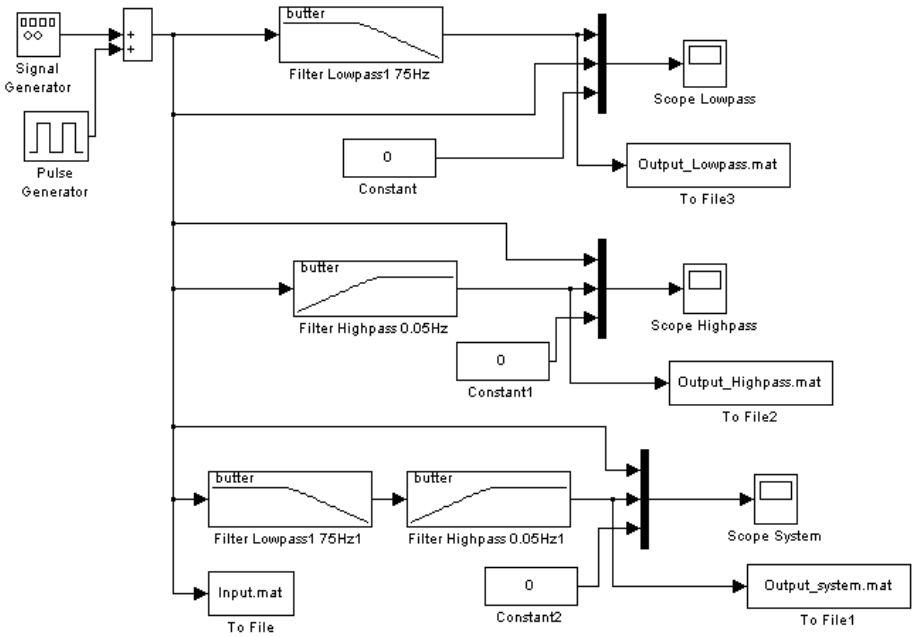


Рис.1

Были проведены исследования влияния фильтров на стандартный сигнал. Для этого в системе MatLab была спроектирована схема, которая содержит три вида фильтров типа Баттерворта, а именно: фильтр нижних частот (ФНЧ), полосовой фильтр (ПФ) и фильтр верхних частот (ФВЧ). На вход схемы подается стандартный прямоугольный сигнал с амплитудой 1мВ, частотой 1 Гц, длительностью импульса 100 мс.

Схема (рис.1) имеет три канала. Первый канал содержит ФНЧ типа Баттерворта 4-го порядка с частотой среза 75 Гц (Filter Lowpass 75Hz), второй канал содержит ФВЧ типа Баттерворта 4-го порядка с частотой среза 0,05 Гц (Filter Highpass 0,05Hz), третий канал содержит последовательно соединенные ФВЧ и ФНЧ типа Баттерворта 4-го порядка с частотой среза 0,05 Гц и 75Гц соответственно.

На вход каждого из каналов подается прямоугольный сигнал. На выходе каждого канала установлен осциллограф (Scope), позволяющий графически увидеть влияние фильтров на прямоугольный сигнал в системе MatLab. Входной сигнал представлен на рис. 2. Результат влияния фильтров представлен на рис. 3-5.

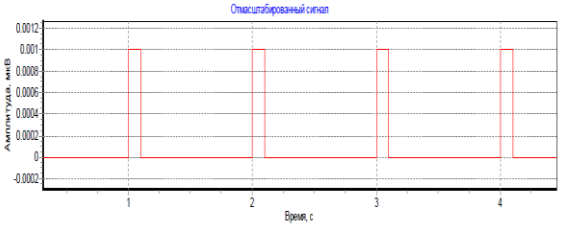


Рис. 2. Входной сигнал

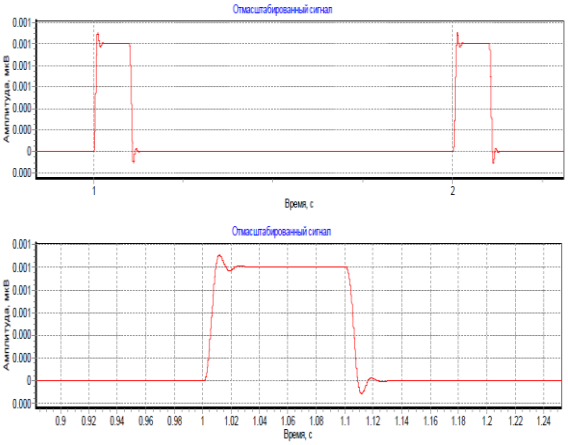
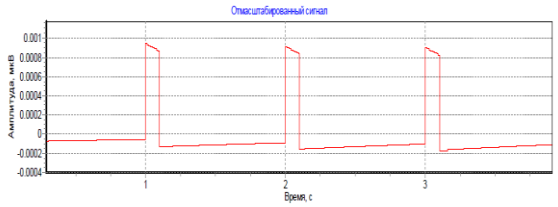


Рис.3. Сигнал на выходе ФНЧ (Канал 1)



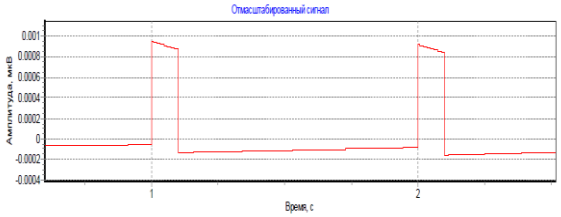


Рис. 4. Сигнал на выходе ФВЧ (Канал 2)

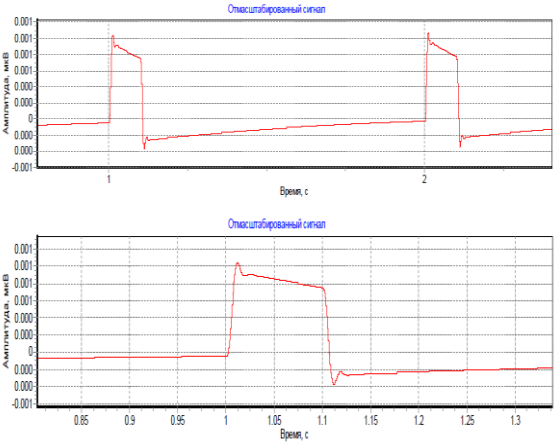


Рис. 5. Сигнал на выходе ФНЧ и ФВЧ (Канал 3)

В результате мы можем наглядно увидеть, как фильтры влияют на стандартный сигнал, а следовательно они будут влиять и на сигнал ЭКГ. В дальнейшем аналогичным образом планируется исследовать влияния фильтров и на электрокардиографический сигнал.

Для регистрации неискаженного фильтрами электрокардиосигнала с высоким разрешением по уровню необходимо разработать электрокардиографическую аппаратуру нового поколения.

Литература

1. P.I. Danilyuk. Электрокардиография E.C.G. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – URL: http://db.datex-oda.com/evadb/fi3037.nsf/WebMaterialDate/1E1EDCF9F5E3354AC22575DA0027B41D/$File/Daniljuk_ECG.pdf (дата обращения: 11.02.2010).

2. Якимов Е.В. «Цифровая обработка сигналов: учебное пособие» -Томск: издательство ТПУ, 2006. -188с.

3. Савостин А.А. Оптимальная фильтрация электрокардиосигналов: Научный журнал «Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета имени Д. Серикбаева», Усть-Каменогорск, №1 2010 г., с. 126 – 131.;

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА В ОБЛАСТИ ЖИВОТА БЕРЕМЕННОЙ

Мороз Т.С.
Научный руководитель: Толмачев И. В. , к.м.н.
ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России
634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: Privet_tais@mail.ru

Состояние здоровья новорожденных в значительной мере зависит от состояния здоровья матери, особенностей течения беременности и родов. Гипоксия плода (hypoxia fetus) — патологическое состояние плода, возникающее при недостаточном снабжении кислородом его тканей и органов или неадекватной утилизации ими кислорода.

Одной из причин возникновения гипоксии плода, является нарушение кровотока в плаценте.

Существующие методы исследования, предназначенные для оценки уровня кровотока в плаценте, неравнозначны по своей диагностической ценности и стоимости.

Наиболее широко используется методика основанная на использовании эффекта Допплера. Сущность эффекта состоит в том, что от движущихся объектов ультразвуковые волны отражаются с измененной частотой.

Данные виды обследование нельзя назвать безопасным, так как при определении кровотока используется УЗ зондирование, продолжительность исследования и мощность датчика ограничены, обычно обследование назначается на поздних сроках беременности по показанию врача.

Биоимпедансный анализ — это контактный метод измерения электрической проводимости биологических тканей, дающий возможность оценки широкого спектра морфологических и физиологических параметров организма. В биоимпедансном анализе измеряются активное и реактивное сопротивления тела человека или его сегментов на различных частотах. На их основе рассчитываются характеристики состава тела, такие как жировая, тощая, клеточная и скелетно-мышечная масса, объем и распределение воды в организме.

Цель работы: Разработка набора математических моделей распределения электрического импеданса в абдоминальной области беременных для оценки уровня кровотока по данным реографического исследования.

Задачи:

1.Поиск информации о современных методах оценки гемодинамических показателей.

2.Разработка и реализация моделей распространения электрического сигнала в области живота беременной.

3. Проведение численного эксперимента, решение прямой и обратной задачи электроимпедансной томографии.

Визуализация распределения электрического импеданса формулируется как нахождение распределения потенциала электрического поля при заданной конфигурации токов, протекающих через поверхность в точках контакта электродов, и заданном распределении проводимости внутри биологического объекта. Для областей сложной геометрической формы (а к этому классу относятся практически все биообъекты) применяют численные методы решения.

Успешная реконструкция распределения проводимости внутри живота возможна лишь при наличии достаточно хорошего начального приближения. Кроме того, при формировании требований к измерителю импеданса необходимо определить величину зондирующего тока и порядок измеряемых величин напряжения на электродах. Эту задачу можно успешно решить с помощью математического моделирования.

Оригинальный подход формирования математической модели исследуемой области заключается в том, что за основу изображения были взяты МРТ изображения беременной. Это позволило создать модель анатомически достаточно сильно приближенную к реальному распределению проводимости в норме.

Этапы создания математической модели:

1. Получение трехмерного изображения внутренней структуры живота одним из доступных методов (МРТ) с высоким разрешением (размер элемента изображения не более 3x3x3 мм);
2. Выполнение сегментации – выделение отдельных тканей на изображении;
3. Выделение кожи и построение ее поверхности;
4. Идентификация элементов – присвоение каждому элементу значения проводимости в соответствии с типом ткани, которая выделена в этом месте в результате сегментации.
5. Размещение электродов на поверхности живота и дополнение математической модели дополнительными граничными условиями.

Этапы 1–2 выполнялись помощью программного комплекса 3DSlicer (рис. 1.)

При построении модели мы использовали МРТ снимки с высоким разрешением. Были выделены следующие слои:

1 – плод
2 – амниотическая жидкость
3 – тело матери
4 – плацента
5 – подкорковый слой головного мозга плода
6 – печень плода
7 – мочевой пузырь плода
8 – глаза плода

9 – лекгие плода
10 – сердце плода
11 – кора головного мозга плода
12 – матка

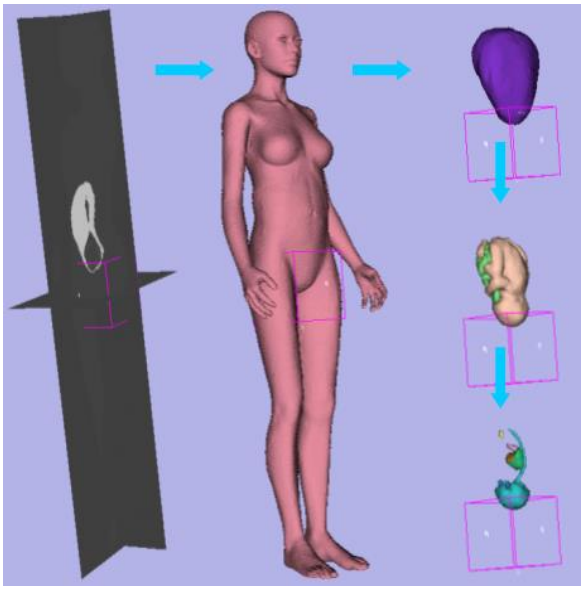


Рис. 1. Послойное построение трехмерной модели живота беременной

Этап 3.

Модель поверхности кожи была создана при помощи уникальной программной разработки сотрудников кафедры медицинской и биологической кибернетики Surfacemod.

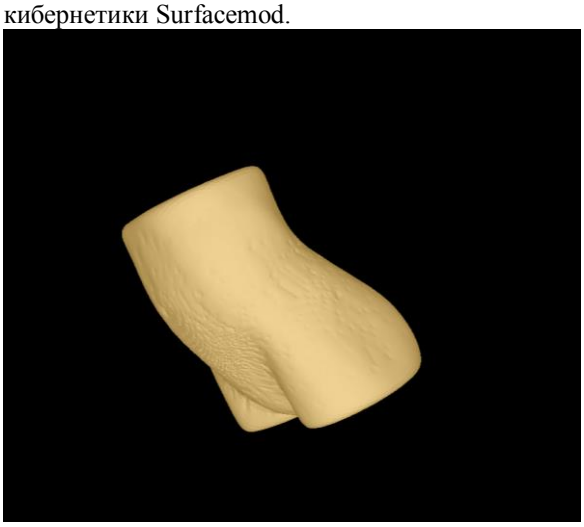


Рис.2 Модель поверхности кожи

Этап 4. Триангуляция внутреннего объема. После описанных выше преобразований поверхность может быть использована для получения конечно-элементной модели всего внутреннего объема (рис.3) После создания модели необходимо ее идентифицировать — присвоить каждому конечному элементу определенное значение проводимости в зависимости от того, какая из биологических тканей находится в месте расположения элемента.

Программа tetgen позволяет свободно варьировать параметрами, которые определяют количество и качество конечных элементов в виде тетраэдров. В результате можно получить конечноэлементные модели разной степени детализации и реализовать многосеточные методы решения уравнений, которые описывают поведение потенциала электрического поля в исследуемой области. В своей работе мы использовали модели, состоящие из 50000 – 80000 конечных элементов. Этого достаточно для моделирования электроимпедансных измерений с точностью, на порядок превосходящую точность измерителей импеданса при разумных затратах вычислительных ресурсов.

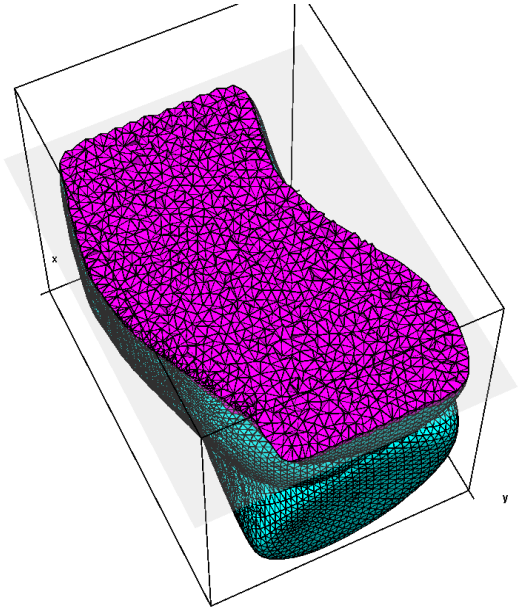


Рис.3 Конечно – элементная модель

Исходя из литературных данных, каждому конечному элементу соответствующему определенному слою, было присвоено конкретное значение удельного сопротивления.

Результаты:

Разработана модель взаимодействия электромагнитного поля с тканями плода на основе данных магниторезонансной томографии и методов реконструкции трехмерных изображений.

Разработана методика для визуализации распределения электрического импеданса тканей в области живота беременной.

Список литературы

1. Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определениясостава тела человека. М.: Наука, 2006. 248с.
2. Пеккер Я.С., Бразовский К.С. Компьютерные технологии в медико – Биологических исследованиях. Сигналы биологического происхождения и медицинские изображения / Учебное пособие. - Томск: Изд. ТПУ, 2002.–240с.
3. Корженевский А.В., Корниенко В.Н., Культиасов М.Ю., Культиасов Ю.С., Черепин В.А. «Электроимпедансный томограф для медицинских приложений»//ПТЭ, 1997, N 3, с. 133-140.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ БАТАРЕИ В ХОЛТЕРОВСКОМ МОНИТОРЕ

Оверчук К.В., Уваров А.А., Лежнина И.А.
Научный руководитель: Лежнина И.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kirill_ovk@mail.ru

Все современные портативные и переносные устройства питаются от гальванических элементов или аккумуляторов. Холтеровский монитор, носимый пользователем, в течение суток также требует внутренний источник питания и для его правильной и продолжительной работы необходима система мониторинга питания. Система мониторинга должна отслеживать уровень оставшейся энергии, предупреждать пользователя о низком заряде батареи и необходимости её замены. Для построения системы мониторинга питания первоначально необходимо определить какие элементы будут использоваться.

На данный момент на рынке иметься большой ассортимент аккумуляторов и гальванических элементов, каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Из всего многообразия можно выделить основные типы, а именно батарейки с солевым электролитом, щелочным и литиевые батарейки. Среди аккумуляторов это никель-кадмиевые (Ni-Cd) и никель-металлгидридные (Ni-MH). Среди гальванических элементов необходимо сразу исключить батарейки с солевым электролитом, так как они представляет собой цинковый цилиндрический контейнер (служащий одновременно и корпусом, и "минусом" батарейки). При работе батарейки цинк, из которого сделан её корпус, постепенно окисляется, в результате чего в нём могут появиться отверстия – тогда электролит из батарейки вытечет, что может привести к порче электрокардиографа. Помимо этого все солевые батарейки не рассчитаны на большие нагрузки. В основном они рассчитаны на устройства потребляющие единицы или десятки миллиампер, а если учесть что холтеровский монитор потребляет порядка ста миллиампер, то очевидно, что солевые батарейки не подходят для его питания.

Самым подходящим решением среди гальванических элементов являются щелочные и литиевые элементы. Оба типа элементов имеют емкость в промежутке от 1000 мАч до 2000-3000 мАч. Благодаря такой большой ёмкости они способны обеспечить работу холтеровского монитора в течение суток. Щелочные элементы имеют преимущество в низкой стоимости порядка 40 – 50 рублей. В данном элементе отрицательный полюс щелочной батарейки состоит из цинкового порошка – по сравнению с цинковым корпусом солевых элементов, использование порошка позволяет увеличить скорость протекания химических реакций, а значит, и отдаваемый ток [1]. Положительный полюс – из диоксида марганца. Основным же отличием от солевых батареек является тип электролита, в щелочных в качестве него используется гидроксид калия. Если нагрузить батарейку действительно большим током, её напряжение сильно упадет, а значительная часть энергии будет расходоваться на нагрев самой батарейки – в результате эффективная ёмкость щелочных батареек сильно зависит от нагрузки, если при разряде током 0,025 А нам удастся получить от батарейки 3 Ач, то при токе 0,25 А реальная ёмкость упадёт уже до 2 Ач, а при токе 1 А – и вовсе ниже 1 Ач.

В свою очередь литиевые батарейки не имеют недостатка в виде большого внутреннего сопротивления, а также оно не меняется при большом токе разряда батареи. Но при этом литиевые элементы в два раза дороже.

Применять в холтеровском мониторе гальванические элементы питания безусловно возможно, но после одного использования их приходиться выкидывать и покупать новые и это общий недостаток всех гальванических элементов. В свою очередь аккумуляторы лишены этого недостатка, их можно зарядить и использовать повторно и по данной причине целесообразно использовать в холтеровских мониторах. Однако аккумуляторы имеют свои отличительные характеристики более низкое рабочее напряжение 1,2 В и явление эффекта памяти, что в свою очередь должно учитываться в мониторе питания для корректного отображения информации о батареи.

Как было сказано раньше сейчас на рынке можно найти никель-кадмиевые (Ni-Cd) и никель-металлгидридные (Ni-Mh) аккумуляторы. Но стоит сразу учесть, что Ni-Cd элементы, практически, имеют гораздо меньшую емкость по сравнению с Ni-Mh и практически ими вытеснены с рынка. Никель-металлгидридные аккумуляторы получили такое широкое распространите еще и из-за того что не имеют тяжёлых металлов, а значит, безвредны для окружающей среды и практически в них отсутствует эффект памяти [2]. Исходя из этого, будет актуально разрабатывать систему мониторинга питания именно под никель-металлгидридные аккумуляторы.

Основными параметрами, которые получает система мониторинга, могут быть напряжение на

аккумуляторе, ток потребляемый устройством и время работы. Первый метод измерения основан на зависимости напряжения от оставшегося заряда рисунок 1.

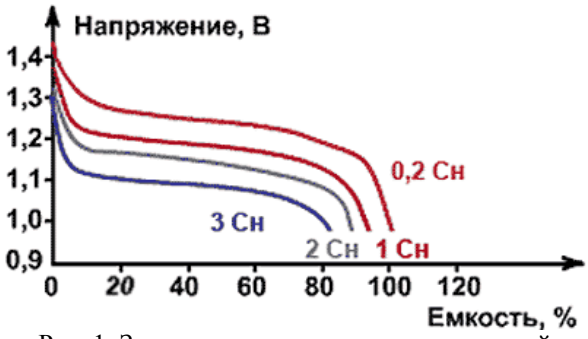


Рис. 1. Зависимость напряжения от отданной ёмкости аккумуляторам при различном токе разряда

Благодаря этой зависимости можно определить состояние элемента. Для того чтобы определять состояние батареи необходимо будет запрограммировать данную зависимость в микроконтроллер, для чего можно воспользоваться двумя путями. Первый предусматривает программирование зависимости в виде математической формулы. Данную зависимость можно описать полиномом, коэффициенты которого можно найти с помощью программного пакета Mat lab.

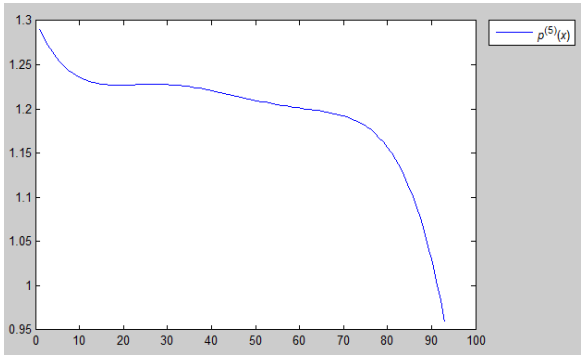


Рис. 2. Полином пятой степени, описывающий зависимость напряжения аккумулятора от отданного заряда

Для того чтобы описать зависимость представленную на рисунке 2 понадобился полином пятой степени, в результате он выгладить следующем образом:

$$p(x) = -1.171 \cdot 10^{-9} \cdot x^5 + 2.527 \cdot 10^{-7} \cdot$$
$$\cdot x^4 - 2.032 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 + 7.380 \cdot 10^{-4} \cdot$$
$$\cdot x^2 - 0.012 \cdot x + 1.3$$

Данный полином несложно запрограммировать, но его расчет займет лишнее процессорное время и ресурсов контролера, что не всегда доступно. Поэтому этот способ не целесообразен в применении. Альтернативой может быть программирование таблицы готовых значений. Этот вариант решения будет работать намного быстрей, так как необходимо лишь найти значение в таблице наиболее близкое к измеренному. Для реализации такого метода надо разбить кривую на множество точек и внести значения каждой точки в таблицу, интервал между значениями является шагом квантования. В результате применения этого метода можно определить, сколько ещё осталось в батарее заряда в процентах, но данный метод не учитывает изменение ёмкости аккумулятора во время эксплуатации, именно поэтому с помощью отслеживания напряжения невозможно точно сказать, сколько ещё времени проработает аккумулятор. С помощью этого метода можно сказать, что источник питания полностью заряжен, использована половина заряда, или почти полностью разряжен.

В методе фиксирования отданного заряда отслеживается потребляемый ток и время работы, в результате можно получить количество заряда который отдал аккумулятор. У этого метода также есть недостаток, он не учитывает уменьшение ёмкости от эффекта памяти и старения аккумулятора. Для решения этой проблемы большинство производителей комплектует свои устройства системами зарядки аккумулятора, в которых подсчитывается какую емкость получает аккумулятор при зарядке и затем при эксплуатации высчитывает из нее оставшийся заряд. При таком решении возникает ограничение в спектре используемых аккумуляторов, так как создание системы зарядки для большого числа аккумуляторов значительно увеличит стоимость устройства, с другой стороны если в системы зарядки будет установлен аккумулятор с меньшой емкостью, то это приведет к перезарядке аккумулятора и возможному взрыву. При попадании аккумулятора с большей емкостью, чем рассчитана система, приведет к тому, что он не будет до конца заряжен, и время работы устройства сократиться. В результате метод подсчета оставшегося заряда подходит в основном к устройствам с не съёмным аккумуляторам.

В результате можно сделать вывод, что в холторовском мониторе целесообразно использовать метод отслеживания зависимости оставшегося заряда от напряжения питания, реализованный с помощью заранее рассчитанных значений и запрограммированных в таблицу. В результате пользователь будет информирован о полном заряде батареи, половине оставшегося заряда и почти полной разрядке и необходимости замены или зарядки аккумулятора.

Список литературы

1. Лаврус В. В. Батареи и аккумуляторы. – М.: Издательство ДМК Пресс 2005.- 254с.

2. Таганова А.А. Герметичные химические источники тока. Элементы и аккумуляторы. – М.: Издательство ДМК Пресс 2005.- 185с.

КОРРЕКЦИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ У БОЛЬНЫХ РАССЕЯННЫМ СКЛЕРОЗОМ С ПОМОЩЬЮ БИОУПРАВЛЕНИЯ

Прибыльская А. Н.
Научный руководитель: Бразовская Н.Г., к.м.н., Рязанцева А.А.
ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития России,
634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: ana0052@mail.ru

Рассеянный склероз (РС) – одно из наиболее тяжелых заболеваний ЦНС, которое почти с неизбежностью приводит к инвалидизации. Это хроническая, в большинстве случаев, прогрессирующая болезнь и в настоящее время неизлечимая.

Главными инвалидизирующими факторами при данном заболевании являются двигательные и координаторные расстройства. Реабилитация таких нарушений является одной из важнейших медико-социальных задач. Особое внимание к данной проблеме объясняется тем, что этим заболеванием страдают молодые люди (20-40 лет), ведущие активную трудовую и социальную деятельность. В настоящее время в стране проживает как минимум 150 000 больных, не менее 50% которых уже стали инвалидами. [1] Современные представления о способах коррекции нарушений двигательной сферы у больных РС включают медикаментозное, физиотерапевтическое лечение и лечебную физкультуру. Поиск новых методов двигательной коррекции, улучшающих качество жизни больных РС, является актуальной задачей восстановительного лечения. [2]

В настоящее время большая роль уделяется разработке методов коррекции состояния, основанных на обращении к естественным ресурсам человеческого организма. Одним из таких методов является адаптивное управление с биологической обратной связью (БОС). [3]

Цель исследования заключается в разработке и применении БОС-тренинга для коррекции двига-тельных нарушений у больных рассеянным скле-розом, а также оценка эффективности применяе-мой БОС-терапии.

Основные задачи работы.

1. Клинический анализ РС для выбора методики БОС-тренинга.
2. Разработка сценариев для обучающих реабилитационных программ компьютерного биоуправления, направленного на коррекцию двигательных нарушений у больных РС.
3. Изучение и оценка эффективности реабилитационных процедур БОС-тренинга.
4. Разработка методических рекомендаций использования метода биоуправления для больных РС.

Материал и методы. В исследование включены больные РС с пирамидной и мозжечковой симптоматикой, состоящие на учете и проходящие лечение в клинике нервных болезней СибГМУ, г Томск.

Критериями включения в исследование были: степень инвалидизации по шкале EDSS до 4 баллов, легкие и умеренно выраженные координаторные и двигательные нарушения. Критерии исключения: выраженные когнитивные нарушения, соматические заболевания тяжелой степени, нарушения слуха, зрения, препятствующие пониманию инструкций.

Все больные получали назначенную медикаментозную базисную терапию.

Для проведения БОС-тренингов используется программно-аппаратный комплекс «Реакор» (разработка НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог).

Комплекс предназначен для реализации методик функционального биоуправления (ФБУ), направленных на проведение реабилитационных процедур с использованием биологической обратной связи по различным физиологическим сигналам.

Комплекс представляет собой систему, состоящую из блока пациента, персонального компьютера (ПК), комплекта электродов и датчиков, пакета программ БОС-тренинга.

Блок пациента представляет собой устройство съема физиологических сигналов, их усиления, первичной обработки и преобразования в цифровой код с последующей обработкой и передачей цифрового кода в ПК.

В состав программно-методического обеспечения комплекса "РЕАКОР" включен набор процедур, направленных на нормализацию функционального состояния различных систем организма. Возможности комплекса «РЕАКОР» позволяют легко расширять библиотеку процедур, самостоятельно создавая или импортируя новые процедуры.

Средствами редактора сценариев процедур БОС-тренинга был разработан протокол для коррекции пирамидных и мозжечковых двигательных нарушений у больных РС.

Так как больные имеют сочетанную симптоматику – и пирамидную и мозжечковую, в ходе проведения БОС-терапии проводится как тренировка наработки силы в паретичной конечности, так и тренировка координации.

В ходе БОС-тренинга на тренируемые мышцы накладываются ЭМГ-электроды и проводится ряд упражнений двигательной реабилитации. Для регистрации сигнала ЭМГ используются круглые хлор-серебрянные электроды, которые фиксируют на коже с помощью пластыря. Оба электрода располагают вдоль мышцы, причем один из них —

над брюшком мышцы, а другой — в области ее сухожилия. Для улучшения контакта с кожей используется электропроводный гель, а для уменьшения влияния наводок различных электромагнитных полей на теле пациента, на запястье закрепляют нейтральный электрод, подключаемый к гнезду «N» блока пациента.

В случае пареза верхней конечности миографические электроды накладываются на внутреннюю поверхность двуглавой мышцы плеча, производится сгибание предплечья в локтевом суставе. При нарушении координации - миографические электроды накладываются на мышцу возвышения большого пальца - проводится противопоставление большого пальца указательному.

Для увеличения эффективности восстановительной терапии перед сеансом электромиографического БОС-тренинга проводится БОС-тренинг по ЧСС. Это позволяет стабилизировать психоэмоциональное состояние пациента, исключить стресс, напряжение.

Отображение сигналов обратной связи осуществляется в виде управляемых образов зрительной и слуховой модальности. Используются формы отображения сигналов обратной связи в виде слайдов, видеорядов, видеороликов, звуковых эффектов, музыкальных произведений, а также в виде игровых сюжетов.

Задаются границы диапазона, в котором изменения контролируемого параметра обусловливают пропорциональные изменения выбранного свойства образа. Одна из границ является целевым порогом, задающим то значение контролируемого физиологического параметра, которое должен постараться достигнуть и поддерживать пациент на данном этапе. Значение порога задается в виде формулы, содержащей статистические показатели контролируемого параметра, которые будут рассчитаны для данного пациента непосредственно в ходе сеанса перед началом управляемого этапа. Это позволяет автоматически адаптировать сложность задания под текущее состояние и индивидуальные возможности каждого пациента.

Поскольку уровень сегодняшних научных знаний не позволяет обеспечить индивидуальное прогнозирование степени успешности и продолжительности числа сеансов БОС-курса, имеющиеся данные представляют собой среднестатистические данные. Про-должительность одного сеанса 20-30 минут, количество сеансов в среднем 15-20. [4]

Эффективность тренинга складывается из:

- улучшения клинических показателей двигательной активности тренируемых мышц и координации движений, появление паттерна (стереотипа) движения;
- положительной динамики показателей ЭМГ;
- улучшения субъективного ощущения пациента своего состояния, стабилизация его психоэмоциональной сферы.

Для оценки неврологической симптоматики используется двойная оценочная система J.F. Kurtzke, включающая оценку по функциональной шкале (FS) и по шкале состояния инвалидизации (EDSS).

Для оценки курсовой динамики проводимого лечения были использованы возможности программно-аппаратного комплекса «Реакор». Для межпроцедурной оценки эффективности лечебного курса используется режим «Оценка курсовой динамики». В этом режиме результаты обработки предоставляются в графической и табличной форме. Отражаются изменения статистических параметров показателей ЭМГ одноименных этапов на разных процедурах, относящихся к разным датам их проведения.

Оценка психологического статуса пациентов проводится по опросникам оценки качества жизни.

Для экспресс-оценки результатов тренинга используется устройство для психофизиологического тестирования «Психофизиолог» (разработка НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог), которое позволяет проводить оценку времени реакции на стимулы (простая зрительно-моторная реакция).

Состояние пациентов по всем параметрам оценивается до и после курса БОС-терапии.

Практическая значимость. Разработанный БОС-тренинг по ЭМГ позволит повысить качество реабилитационных процедур двигательных нарушений у больных РС. А также дает возможность пациенту осуществлять обучение произвольной регуляции тонуса пораженных мышц и улучшить мышечную координацию.

Список литературы:

1. Столяров, И.Д. Современные методы диагностики и лечения рассеянного склероза / И. Д. Столяров // Вестник Росздравнадзора. - 2010. - № 4. - С. 64-67.
2. Аля Омар Самара. Общие вопросы физической реабилитации лиц с рассеянным склерозом / Аля Омар Самара// Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. - 2008. - № 9. - С. 3-7.
3. Бразовская Н. Г. Адаптивное биоуправление на основе биологической обратной связи по динамике параметров сердечного ритма человека: автореф. дис. канд. мед. наук : 03.00.13. – Томск, 2002. – 23 с.
4. ЭМГ-биоуправление и функциональная магнитно-резонансная томография в постинсультной реабилитации (на примере обучения точностному схвату) / Черникова Л.А., Иоффе М.Е., Бушенева и др. // Бюллетень сибирской медицины. - 2010. - Т. 9. - № 2. - С. 12-17.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ОБЪЕМА АНАТОМИЧИСКИХ И ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ГОЛОВНОГО МОЗГА ПО ДАННЫМ Т2-ВЗВЕШЕННОЙ МРТ

Романова О.В.
Научный руководитель: Сухарева А.Е., к.м.н.
ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития России,
634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: Olga_romanova1990@mail.ru

Как правило, анатомические и патологические структуры головного мозга геометрически неправильной формы, создают определенные трудности при проведении их измерений, а так же расчета объема. Зона отека, расположенная вокруг поврежденной ткани, всегда имеет довольно сложную геометрическую форму. В этих условиях очевидно, что величина, характеризующая площадь такой фигуры, будет точнее отображать размеры измеряемого объекта, чем просто усредненный его диаметр. для оценки размеров отека предлагается использовать только результаты МРТ головного мозга, осуществленной в Т2 режиме. Такой подход позволяет визуализировать участки мозга с очень незначительным пропитыванием жидкостью, что даст возможность более точно установить границы отека.

Используются результаты магнитно-резонансной компьютерной томографии (МРТ) головного мозга, выполненной в Т2 режиме, и представленные в виде изображений каждого полученного среза головного мозга в любой из трех плоскостей. Это подход позволяет нам определить тактику лечения, что в частности влияет на выбор между хирургической и терапевтической тактикой. Сходные подходы могут быть использованы также для оценки объемов ликворной системы, что в свою очередь позволяет оценить состояния пациента, при многих заболеваниях как неврологического, так и общесоматического характера. В Т2-взвешенном режиме интенсивность изображения ликвора позволяет уверенно выделить его от других – нормальных или патологических – структур головного мозга. [1]

Новизна работы:

Принципиальными факторами научной новизны данной работы является применение автоматизированных алгоритмов поиска границ зон по интенсивности к анатомическим структурам сложной формы. Так же использование в качестве основного формата данных медицинского формата DICOM, что позволит использовать данную программную разработку как в виде самостоятельной программы так и в виде компоненты более сложных библиотек и пакетов программ.

Цель работы: Разработать и реализовать в виде программы прикладной обработки МРТ-изображений методику количественной оценки объема гематом головного мозга по данным Т2-взвешенной МРТ у пациентов с закрытыми черепно-мозговыми травмами и объема ликвора у пациентов с артериальной гипертонией.

Задачи:

1. Разработать для клинического применения программу оценки объема гематом головного мозга по данным Т2-взвешанной МРТ у пациентов с закрытыми черепно-мозговыми травмами и объем ликвора у пациентов с артериальной гипертонией.
2. Оценить применимость полуавтоматизированной оценки объема гематом головного мозга по данным Т2-взвешанной МРТ на материале групп пациентов с закрытыми черепно-мозговыми травмами и объема ликвора на материале групп пациентов с артериальной гипертонией.
3. Апробировать разработанную программу. Изучить взаимосвязь между неврологическими показателями и повреждением центральной нервной системы по данным количественной обработки МР-томограмм.

Однако до сих пор в клинической практике оценка объема ликворной системы осуществляется на основе простых измерений поперечников боковых желудочков, или наружных ликворных пространств, поскольку в программном обеспечении специализированные программы оценки объемов сложной формы отсутствуют.

Основываясь на этих предпосылках, была разработана методика в основе, которой лежит прикладная программа для расчета объема как простых, так и сложных форм структур головного мозга, которая позволяла бы находить объем не только участков повреждения, но также и производила количественную оценку состояния ликворной системы. [2]

Исходя из посылки, что усиление Т2-сигнала при расстройствах кровообращения ЦНС отражает развитие отека, а затем и необратимого повреждения нервной ткани. Обозначаем Т2 - сигнал от ликвора в области ликвора как I_{liq}, в области нормального неишемизированного вещества головного мозга как I_{norm} , а в области пораженного ишемическим инсультом как I_{insult} (как показано на 1).

Очевидно, что повреждение тем тяжелее, чем выше разница (I_{insult} - I_{norm}), и что доля необратимо поврежденной ткани в области инсульта тем вы-

ше, чем ближе к единице отношение (I_{insult} - I_{norm})/(I_{liq} - I_{norm}). По физиологическому смыслу эта величина как раз и определяет относительный объем необратимо поврежденной ткани в исследуемом регионе мозга.

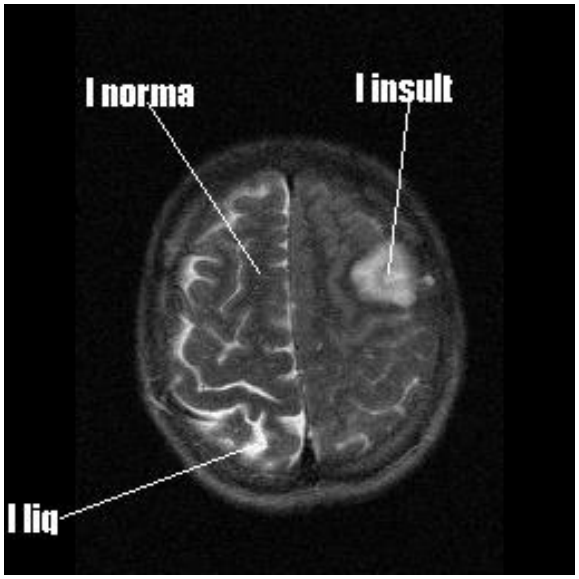


Рис.1. Области, выделяемые при обработке срезов МРТ.

Физический объем ишемизированного региона на одиночном i-м срезе МРТ мозга есть, очевидно $d*S_i$, где d-толщина среза, а S_i - площадь ишемизированного региона на срезе i. Тогда суммарный объем поврежденной ткани (ОПТ, $см^3$) в области ОНМК есть следующая сумма, взятая по всем срезам i, на которых визуализируется зона ишемического повреждения нервной ткани :

$$ОПТ = \sum_i d * Si * \left\{ \frac{Iinsult - Inorm}{Iliq - Inorm} \right\} i$$

Физический объем области повреждения мозга (ФОП, $см^3$), очевидно, представляет собой сумму объемов всех выделенных зон повреждения мозга (областей усиленного Т2) :

$$ФОП = \sum_i d * S_i$$

Доля поврежденной ткани в очаге инфаркта мозга тогда определяется отношением:

$$ДП = ОПТ / ФОП$$

Обработка изображений и расчет физиологических показателей осуществляется средствами Mathlab 7.11. Те же показатели, наряду с полуавтоматическимим алгоритмом обработки изображений, определяются с целью верификации методики пользователем вручную. Принципиально новой возможностью является автоматизированное выделение зон повреждения головного мозга.

В данный момент программа автоматизированного анализа и обработки изображений находится на этапе отладки и тестирования. Для ее реализации выбран пакет Matlab.Установка Matlab была проведена в лаборатории томографии ФГБУ НИИ Кардиологии СО РАМН,Томск.

Практическая значимость работы: Программа сможет быть рутинно использована в тактике ведения нейрохирургических пациентов для планирования у них:

- Хирургического удаления посттравматических и спонтанных субдуральных гематом ;
- Для оценки тяжести ликворной гипертензии и гидроцефалии, в особенности у лиц с закрытой ликворной гипертензией (окклюзионной гидроцефалией).

С позиций «интенсивной диагностики» МРТ должны включатся на ранних этапах комплексного клинико-неврологического, рентгенологического и МР-томографического обследования для определения субстратов клинических форм ЧМТ и ее степени тяжести. [2]

Выводы: Магнитно-резонансная томография головного мозга при использовании разрабатываемого в работе автоматизированной обработки ее диагностических изображений представит собой эффективный метод выявления и оценки распространенности зоны повреждения головного мозга, при этом обладает диагностическим и прогностическим значением у пациентов с черепно-мозговыми травмами.

Список литературы

1. Сухарева А. Е. Разработка методов количественной оценки поражения головного мозга и брахиоцефальных артерий по данным МРТ // Автореферат диссертации на соискание степени кандидата мед. Наук [Режим доступа: http://medical-diss.com]

2. Ринк П.А.Магнитный резонанс в медицине//М.-Геотар-Мед.-2003.

3. Дьяконов В. MATLAB 6: учебный курс-СПб.:Питер, 2001.-592 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Сакашев А.А., Губарев Ф.А.
Научный руководитель: Губарев Ф.А., к.ф.-м. н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail:Amir.Sakashev@yandex.ru

В настоящее время активно идет развитие имеющихся и поиск новых неинвазивных и малоинвазивных методов диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, оценки содержания сахара в крови, так как они могут быть применены в домашних условиях, а также снижают расходы на медицинское обслуживание. В большинстве из них предусмотрен контакт с кожей человека, что доставляет неудобства пациенту. Перспективным представляется использование оптических методов диагностики. Одним из простых и эффективных методов скрининг-анализа может стать спекл-интерфеометрия [1–3].

Недавно в совместных работах ученых израильского и испанского университетов сообщалось об оптическом методе функциональной диагностики, который основан на анализе вторичных спекл-структур [2, 3]. Авторами показана возможность применения такого подхода для регистрации сердечного ритма, оценки кровяного давления и содержания глюкозы в крови. В данных работах наблюдалось хорошее согласие результатов, полученных посредством спекл-интерферометрии, с измеренными с помощью традиционных приборов (глюкометр, пульсометр, кардиограф). Однако нам не известны работы других авторов в этом направлении. В связи с этим имеется интерес в подобных работах с целью развития данного метода и расширения области его использования в медицине.

В проведенных в настоящей работе экспериментах лазерным лучом освещалась поверхность объекта наблюдения (динамика, колеблющегося с заданной частотой) и в отраженном свете регистрировалась интерференционная картина. Для подачи на динамик питающего напряжения использовались два генератора Г3-109 и SFG-72120 (первый для частот от 20 до 70 Гц, второй для частот от 1 до 20 Гц). Для съемки использовалась камера CasioEX-FH20 в режиме работы 210 кадров в секунду. В экспериментах применялись два источника лазерного излучения: первый – зеленый полупроводниковый лазер (мощность 30 мВт, длина волны 532 нм), второй – гелий-неоновый лазер (мощность излучения 3 мВт, длина волны 633 нм).

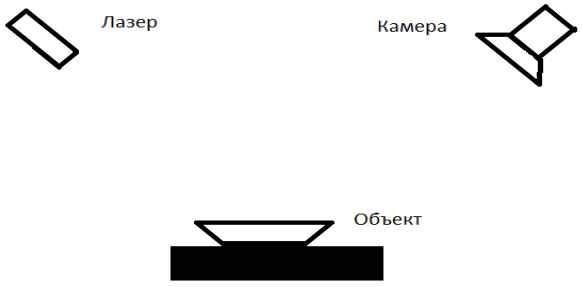
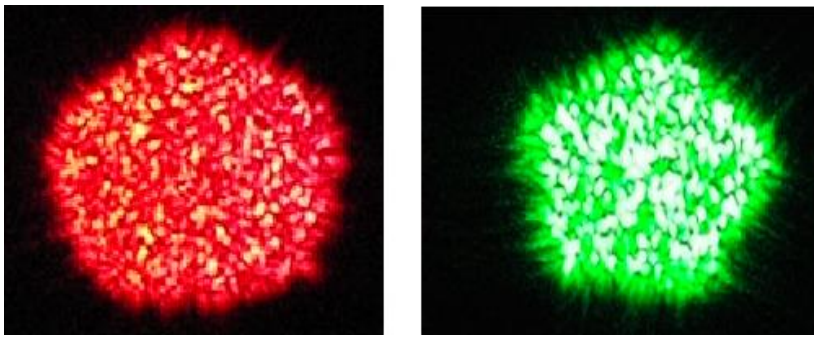


Рис. 1. Схема эксперимента

Схема эксперимента представлена на рис. 1. На рис. 2 приведены типичные спекл-картины. Расстояния в схеме составляли: от лазера до объекта (динамика) 50 см, от объекта до камеры 50 см.



а) б)

Рис. 2. Примеры спекл-изображений:
а) с использованием He-Ne лазера, б) с использованием п/п лазера

Видео, полученное с камеры, разбивалось на кадры с помощью программы VirtualDub. Выборка изображений начиналась с некоторой задержкой от начала видеозаписи, чтобы исключить вибрации, возникающие в момент включения камеры. Полученные изображения анализировались с использованием программ ImageJ и MSExcel.

При анализе рассчитывались координаты центра масс (по яркости), интересующего нас участка изображения. Координаты центра масс на первом

кадре принимались за нулевые, остальные рассчитывались относительно них.

На рис. 3 представлены графики зависимостей горизонтального смещения центра масс для различных частот (использовался п/п лазер). По рис. 3,а можно рассчитать период колебаний, который составляет ~990 мс, что соответствует частоте 1 Гц подаваемых на динамик гармонических сигналов. Аналогично можно определить период из рис. 3, б, который составляет 30-35 мс (30 Гц). Погрешность измерений с использованием камеры обусловлена соотношением измеряемой частоты и частоты работы камеры, поэтому при скорости съемки 210 кадров в секунду измеряемая частота будет ограничена примерно 70 Гц. При большей частоте будет регистрироваться менее 3-х кадров за период, что приведет к недостоверности измерений.

Для изображений, полученных с использованием излучения He-Ne лазера, в связи с трудоемкостью процесса, были проведены оценки частоты для одного случая, соответствующего 30 Гц. Результаты показали хорошее согласие со значениями, полученные при использовании зеленого полупроводникового лазера.

Итак, с использованием метода спекл-интерферометрии возможны определение частоты колебаний поверхности и оценка интенсивности фактора, вызывающего колебания.

Продолжением данной работы станут:

- автоматизация процесса анализа изображений и построения зависимостей;
- съем и анализ вторичных спекл-структур при действии на объект нескольких факторов, изменяющихся с разной частотой;
- подготовка к съему и анализу спекл- изображений, полученных с биологического объекта;
- поиск зависимостей изменения параметров изображения от медико-биологических показателей.

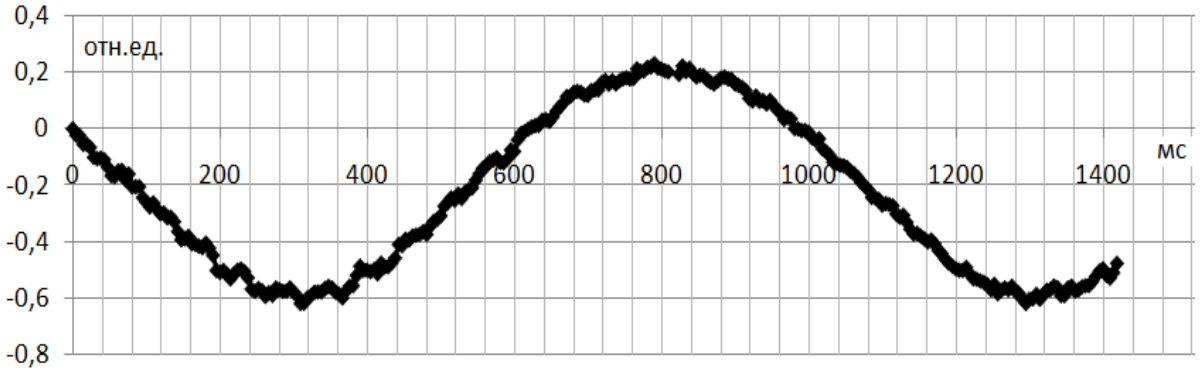
Авторы выражают благодарность Г.С. Евтушенко за интересные предложения.

Литература

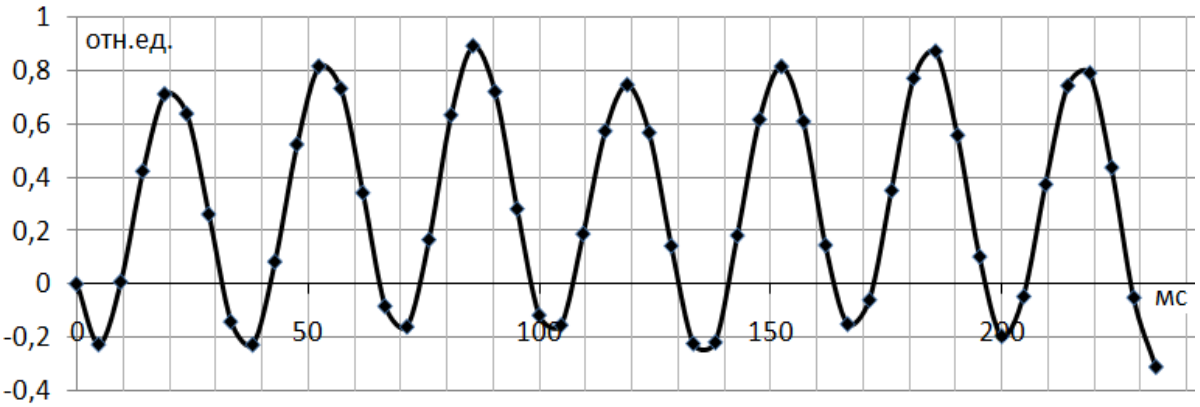
1. Dainty J.C. Laser Speckle and Related Phenomena. 2nd enlarged ed. – Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo, Springer-Verlag, 1984. – 342 pp.

2. Beiderman Y., Blumenberg R., Rabani N., Teicher M., Garcia J., Mico V., Zalevsky Z. Demonstration of remote optical measurement configuration that correlates to glucose concentration in blood // Biomedical optics express. – 2011. – V. 2. – No 4. – P. 859–870.

3. Zalevsky Z., Beiderman Y., Mico V., Garcia J. A novel technique for remotely monitoring key biological parameters // SPIE Newstroom. – 12.07.2011.



а)



б)

Рис. 3. Графики зависимостей относительного горизонтального смещения центра масс:
а) при частоте колебаний динамика 1 Гц, б) 30 Гц

ПРИБОР ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЛИПОСАКЦИИ

Сёмушкина Ю.А.
Научный руководитель: Болотина И.О, к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: juliasemushkina@gmail.com

Введение. В последнее время человечество заинтересовалось проблемой лишнего веса. Это связано с повышением уровня жизни, легкодоступностью информационного пространства, новыми канонами современного общества, а также с изменением отношения индивидуума к этой тематике. В совершенствовании контуров тела заинтересованы не только полные женщины, но и недавно родившие. После рождения ребенка многим дамам приходится жертвовать частью своей красоты в пользу продолжения рода, и далеко не всем удается вернуть обратно былую стройность и красоту. Было выявлено множество способов по решению проблемы лишнего веса. Рассмотрим некоторые из них.

Методы удаления жировых отложений. Рынок эстетических услуг может предложить большое разнообразие методов в борьбе с лишним весом. Однако все они имеют свои достоинства и недостатки.

Первым из таких методов является физическая нагрузка, которая требует много сил и времени, хотя, в свою очередь, существует большое количество противопоказаний, например, таких как, острые и хронические заболевания в стадии обострения, травмы, особенности физического развития, беременность.

Второй метод – это диета. Такая тактика дает временный эффект, а занимаясь этим без врача-диетолога, можно нанести существенный вред человеческому организму.

Третий метод – электромиостимуляция. Сущность метода заключается в сокращении мышц под влиянием импульсов электрического тока. Этот метод приводит к увеличению силы мышц, уменьшению содержания жира, но также имеет много противопоказаний, например заболевания кожи, внутренних органов.

Следующим методом является классическая липосакция. Происходит аспирационное удаление жира специальными канюлями через небольшие разрезы [1]. К недостаткам метода можно отнести инвазивность, повышенную травматичность, кровотечения, длительный период восстановления (от 3 до 5 недель). Несмотря на все это, метод зарекомендовал себя с положительной стороны вследствие большого удаления жировой прослойки (до 10-15 кг).

Новый метод борьбы с жировыми отложениями. Ультразвуковая (УЗ) липосакция – новый метод в борьбе с жиром. Процесс, в отличие от классической липосакции, является не инвазивным. Процедура абсолютно безболезненна, отсутствует период восстановления после проведения процедуры [2]. Методика УЗ липосакции помогает без вреда для здоровья разрешить послеродовые последствия (потеря упругости кожи, излишний вес, целлюлит). Метод пользуется большим успехом у звезд кино, телевидения, эстрады, так как внешний вид – их визитная карточка.

Процесс основан на эффекте кавитации, которую обеспечивает действие ультразвука на жидкую среду – жировую ткань. Недостатками метода является то, что зона воздействия за 1 сеанс мала и для нужного эффекта необходимо несколько сеансов. В отличие от остальных методов эта методика имеет мало противопоказаний.

Аппараты для УЗ-липосакции. Современная мировая промышленность выпускает несколько приборов для УЗ липосакции:

1. Аппарат для кавитации Synetica компании TriWorks [3] (максимальная мощность на выходе 30Вт; частота от 37 до 42,5 кГц; интенсивность 3 Вт/см^2).



Рис. 1. Аппарат для кавитации Synetica.

2. Итальянский аппарат ULTRACAV TOUCH MOBILE MAC 1502 [4] (максимальная мощность на выходе 40 Вт; частота излучения 38 кГц; интенсивность – 2 Вт/см^2**).**



Рис**.** 2. Аппарат ULTRACAV TOUCH MOBILE MAC 1502.

3. Аппарат Cosmestar Magic Station Cavitation System производства Германии [5] (частота ультразвуковых колебаний 35-45 кГц; интенсивность 2 Вт/см^2).



Рис. 3. Аппарат Cosmestar Magic Station Cavitation System.

К недостаткам выпускаемых аппаратов можно отнести высокую интенсивность излучения УЗ-аппарата, находящуюся выше нормы (1 Вт/см^2), и большую стоимость.

Структурная схема аппарата для УЗ-липосакции. Процедуру проводят путем перемещения манипулы аппарата по нужной области пациента. Реализация процесса может быть выполнена при наличии аппарата, структурная схема которого приведена на рис. 1 .

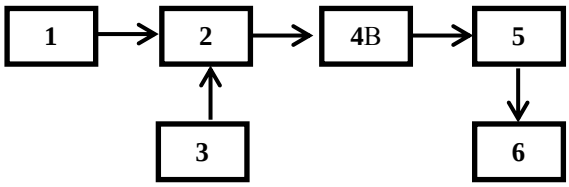


Рис. 1. Структурная схема УЗ-аппарата.
1 – блок питания, 2 – задающий генератор,
3 – блок управления, 4 – усилитель,
5 – ультразвуковой преобразователь,
6 – биообъект.

Для нормальной работы прибора необходим блок питания 1, который понижает сетевое напряжение до определенного уровня. Данное напряжение подается на задающий генератор 2, вырабатывающий низковольтный сигнал ультразвуковой частоты. Так как выход задающего генератора имеет очень малую мощность, то сигнал подается на усилитель 4, который обеспечивает необходимую мощность сигнала для ультразвукового преобразователя. Далее усиленный сигнал подается на ультразвуковой преобразователь 5, являющимся пьезоэлектрическим излучателем, содержащим в себе элемент, который обладает пьезоэлектрическими свойствами, то есть, если к граням пьезоэлектрической пластины приложить переменное напряжение, то она будет совершать механические колебания, следуя изменениям приложенного электрического поля. Грани пластины будут двигаться относительно друг друга, а при соприкосновении с какой-либо средой, например с биообъектом 6, в которой могут распространяться ультразвуковые волны, пластина будет излучать в среду ультразвук. Для включения и выключения электрического сигнала, управления амплитудой колебаний используется блок управления 3.

Заключение. УЗ липосакция является перспективным методом, позволяющим безболезненно удалить излишки жировых отложений. Практически не имеет противопоказаний и не оказывает вредного воздействия на рядом расположенные органы и ткани.

Список использованной литературы

1) Саруханов Г.М., Джачвадзе Д.К. Ультразвуковая липосакция: Режим доступа.-http://www.soring.ru/data/files/files/133_file.pdf

2) Лазурченко Марина. Ультразвуковая кавитация – новый эффективный метод для избавления от целлюлита и борьбы с жировыми отложениями. Аппарат LIPOCAV: Режим доступа.-http://estheline.ru/articles/ultrazvukovaya-kavitatsiya-%E2%80%93-novyj-effektivnyj-metod-dlya-izbavleniya-ot-tsellyulita-i-borb

3) Компания TRIWORKS [Электронный ресурс]. Режим доступа:-http://triworks-russia.ru/production/synetika.html

4) «Космомир» каталог продукции [Электронный ресурс].Р ежим доступа.-http://www.kosmetologicheskoe-oborudovanie.ru/katalog/item/271-mac-1502-ultracav-touch-mobile.html

5) «Космомир» каталог продукции [Электронный ресурс]. Режим доступа.-http://www.kosmetologicheskoe-oborudovanie.ru/katalog/item/180-cosmestar-magic-station-cavitation-system.html

АСУ ПЕРИНАТАЛЬНЫМ ЦЕНТРОМ С СИСТЕМОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Таранов Ю.А.
Научный руководитель: Борзых В.Э., д.ф-м.н., проф.
Тюменский государственный нефтегазовый университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
E-mail: general@tsogu.ru

В последнее время большое внимание уделяется информатизации здравоохранения для повышения эффективности и качества оказания медицинских услуг, но как показывает анализ медицинских информационных систем (МИС), при их разработке уделяется недостаточное внимание реализации систем интеллектуальной поддержки врачебной деятельности. Анализ показывает также отсутствие комплексных систем автоматизации перинатальных центов (ПЦ), работа которых отслеживается по ряду специфических показателей.

В этой связи поставлена задача разработки АСУ для перинатальных центров с системой поддержки принятия решений (СППР). Разработка ориентирована, в первую очередь, на ГБУЗ «Перинатальный центр» (г. Тюмень) и подведомственные ему ЛПУ юга области.

Учитывая требования к современным МИС, система разрабатывается с использованием СПО (на базе Linux) и технологии «тонкий клиент»; характеризуется наличием кроссплатформенного Web-приложения и имеет модульную структуру, что обеспечивает широкие возможности ее адаптации для любого медицинского учреждения соответствующего профиля.

База данных спроектирована с использованием CASE-пакета ERWin Data Modeller и методологии IDEF1X. Клиентская часть ПО спроектирована с использованием средств UML-моделирования «UMLet». Составлены диаграммы «Вариантов использования», «Последовательности», «Развёртывания», «Компонентов». Клиентская часть работает на основе технологии AJAX; при разработке использовался Javascript-фреймворк DoJo версии 1.8. При разработке серверной части использовался язык PHP с поддержкой подключения к СУБД MySQL. Серверная часть представляет собой интерфейс взаимодействия между клиентской частью, разработанной на веб-фреймворке DoJo, и базой данных.

Диаграмма взаимодействия компонентов системы представлена на рис.1.

Реализация части базовых модулей системы приведена в [1,2]. В настоящей работе реализуется подход к разработке СППР.

Для разработки МИС с системой поддержки принятия врачебных решений проанализированы функции лечащего врача в ПЦ и действующий механизм принятия решений. Анализ показал, что лечебно-диагностический процесс (ЛДП) ведется на основе опыта конкретного врача, следовательно, может быть высока вероятность врачебной ошибки.

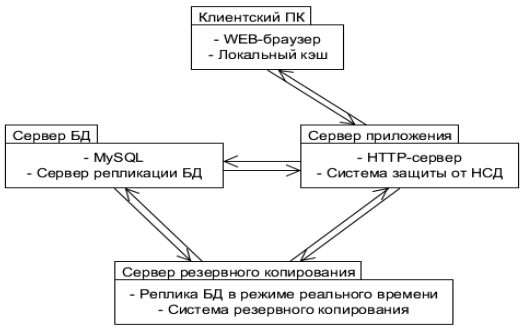


Рис.1. Диаграмма взаимодействия компонентов системы

Для реализации интеллектуальной поддержки врача в настоящей работе предложен подход к разработке экспертной системы поддержки принятия решений с использованием опыта ведущих ученых в предметной области (внешние эксперты) и практикующих врачей ПЦ (внутренние эксперты). Диаграмма модели взаимодействия компонентов системы представлена на рис. 2.

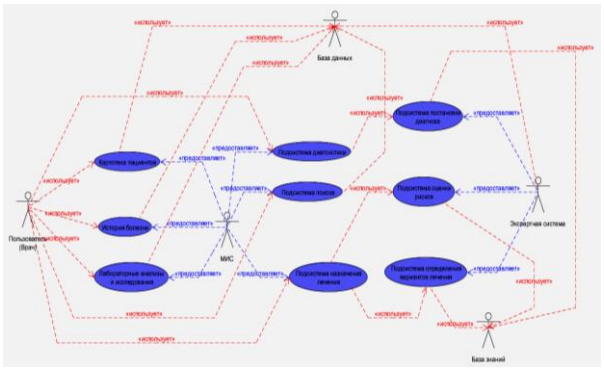


Рис.2 Диаграмма взаимодействия компонентов разрабатываемой системы

В модели выделены: врач (пользователь), МИС, база данных, экспертная система, база знаний. Врач взаимодействует с МИС, имеющей свою БД, и с экспертной системой и ее базой знаний.

Система (МИС) предоставляет врачу доступ к следующим модулям и подсистемам:

- модуль «картотека пациентов»,
- модуль «история болезни»,
- модуль ЛДК «лабораторно-диагностический комплекс»,
- подсистема диагностики,
- подсистема поиска.
- подсистема назначения лечения.

«Картотека пациентов» предоставляет доступ к медицинским картам всех пациентах, зарегистрированных в МИС. В медицинской карте находится основная информация о пациенте без привязки к конкретной истории болезни.

Модуль МИС «История болезни» позволяет осуществлять доступ к истории болезни пациента.

ЛДК состоит из модуля лабораторных анализов и исследований и подсистемы диагностики. В задачи комплекса входит внесение информации об анализах и исследованиях, проводимых в ходе обследования и лечения, формирование рекомендаций и направлений на исследование и помощь в постановке диагноза.

Подсистема диагностики использует возможности экспертной системы, предоставляемые ее подсистемой постановки диагноза.

Подсистема поиска позволяет производить поиск по базе данных по определенному набору критериев и позволяет осуществлять поиск по картотеке и по историям болезни. Она же используется при работе со словарями и справочниками.

Подсистема назначения лечения использует два основных блока (модуля) экспертной системы: подсистему оценки рисков и подсистему определения вариантов лечения. Подсистема назначения лечения обеспечивает формирование рекомендаций по лечению пациента с учетом данных из его истории болезни и рекомендаций экспертной системы.

Экспертная система (ЭС) предоставляет взаимодействие с подсистемами:

- подсистема постановки диагноза,
- подсистема оценки риска,
- подсистема определения вариантов лечения.

Подсистемы ЭС используются подсистемами МИС – подсистемы диагностики и назначения лечения.

Подсистема постановки диагноза позволяет определить возможные диагнозы на основе информации о пациенте, взятой из его истории болезни и ЛДК. Подсистема использует базу знаний, составленную с использованием опыта и знаний квалифицированных экспертов, тем самым предоставляя объективный подход к диагностике.

Подсистема оценки рисков использует базу знаний для определения противопоказаний и выработки оптимальной тактики лечения.

Подсистема определения вариантов лечения использует поставленный диагноз, данные истории болезни и ЛДК, базу знаний, а также сформированные ранее противопоказания и наиболее безопасные методы лечения, т.е. позволяет сформировать наиболее эффективную тактику лечения.

Таким образом, предлагаемый подход к организации ЛДП в перинатальном центре позволяет минимизировать субъективную составляющую, устранить (снизить) вероятность врачебной ошибки, использовать максимальное количество данных при выработке тактики лечения, минимизировать время, необходимое на постановку диагноза и выбор оптимального варианта лечения. Помимо этого система предоставляет широчайшие возможности для аналитики, что необходимо для поддержания базы знаний в актуальном состоянии.

В разработанной модели МИС использует данные, находящиеся в БД, и предоставляемые экспертной системой. Экспертная система для постановки диагноза и формирования тактики лечения использует инструменты базы знаний; для оценки рисков используются математические модели.

Как известно, для экспертных систем используют различные модели, основанные на эмпирическом и теоретическом подходе.

При постановке диагноза достаточно продукционной модели представления знаний т.к. при диагностировании заболеваний (в частности и патологий беременности) достаточно просто построить модель с правилами-продукциями вида: Rel={if (условие) then (заключение)}.

При выработке врачебных решений относительно выбора оптимальной тактики лечения выявленных заболеваний пациентов перинатальных центров продукционная модель знаний, скорее всего, неприемлема. В этом случае целесообразно использовать нейросетевую модель, способную к самообучению. Большие объемы данных, проходящие через экспертную систему, при правильно построенной нейросети, способствуют более качественному ее обучению. Таким образом, со временем нейросетевая модель, будет адекватным представлением предметной области.

Таким образом, в настоящей работе предложен подход к реализации СППР в рамках разработки комплексной автоматизированной системы управления ЛДП в перинатальном центре на основе экспертных процедур. Предложена общая структура системы, взаимосвязи ее компонентов и модели, используемые при ее разработке.

Список литературы:

1) Таранов Ю.А., Борзых В.Э. Разработка АСУ лечебно-диагностическим процессом в перинатальном центре //Фундаментальные исследования. – 2009. – №9 – с. 75-76.

2) Таранов Ю.А. Разработка модульной информационно-аналитической АСУ для перинатальных центров. //«Физико-математические науки и информационные технологии: теория и практика»: материалы международной заочной научно-практической конференции. (26 ноября 2012 г.) — Новосибирск: Изд. «СибАК», 2012. — с. 35-42.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОНТРАСТИРОВАННОЙ МР-ТОМОГРАФИИ МИОКАРДА У БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА

Трубченинова А.А.
Научный руководитель: Усов В.Ю., д.м.н.
ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России,
634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: milashka01081@yandex.ru

Актуальность. Прогнозирование состояния сократимости сердечной мышцы после проведения аортокоронарного шунтирования(АКШ) имеет большое значение для таких пациентов, поскольку определяет, с одной стороны их социальные и клинические перспективы, а с другой- является важнейшим фактором планирования их послеоперационной терапии. Лучевые методы диагностики заболеваний сердца в последнее время становятся все более актуальными благодаря быстрому техническому процессу, совершенствованию оборудования и программного обеспечения. Методом выбора в оценке тяжести повреждения сердца являются сегодня различные вариации контрастированной магнитно-резонансной томографии миокарда, в основном с использованием парамагнитных соединений- производных дитиопентаацетата, а так же функциональные сосудистые методики. В основе контрастирования повреждения миокарда лежит способность комплексов дитиопентаацетата и их производных проникать в области ткани,в которпых поврежден гистогематический барьер . Высокая скорость получения изображений при магнитно-резонансной томографии, сочетающаяся с отсутствием лучевой нагрузки, сделала ее важнейшим методом оценки перфузии внутренних органов. Ранее использовавшиеся методы на основе радионуклидной гамма- эмиссионной и позитронно-эмиссионной томографии несравнимы и принципиально уступают магнитно-резонансной томографии сердца по параметрам лучевой нагрузки, дороговизны и сложности для пациента. Контрастированная магнитно-резонансная томография на сегодняшний день – наилучший метод диагностики и оценки жизнеспособности поврежденного миокарда. Однако заметным недостатком контрастированной магнитно-резонансной томографии остается фактическое отсутствие пакета прикладных программ для обработки ее визуальных результатов. Поэтому мы стремимся разработать общедоступный и простой в употреблении пакет программ для обработки изображений контрастированной магнитно-резонансной томографии в режимах Т1-взвешенного спин-эхо и Т1-взвешенного спин-эхо с инверсией восстановления (inversion recovery) с автоматизированным выделением зон ишемического повреждения миокарда. Режим inversion recovery применяется с целью увеличения контраста между здоровым или жизннеспособным миокардом и пораженной областью, которая накапливает контрастный препарат.

Цель работы: разработать систему анализа и обработки изображений контрастированной магнитно-резонансной томографии в режимах Т1-взвешенного спин-эхо и Т1-взвешенного спин-эхо с инверсией восстановления (inversion recovery) у больных ишемической болезнью сердца, с автоматическим распознаванием области ишемического повреждения.

Задачи:

1. Разработать для среды Windows программу автоматизированного анализа и обработки изображений контрастированной магнитно-резонансной томографии в режимах Т1-взвешенного спин-эхо и Т1-взвешенного спин-эхо с инверсией восстановления (inversion recovery) у больных ишемической болезнью сердца.
2. Оценить клиническую применимость автоматизированного анализа и обработки изображений контрастированной магнитно-резонансной томографии в режимах Т1-взвешенного спин-эхо и Т1-взвешенного спин-эхо с инверсией восстановления (inversion recovery) в группе пациентов.
3. Провести экпериментальную апробацию системы автоматизированного анализа и обработки изображений контрастированной магнитно-резонансной томографии в режимах Т1-взвешенного спин-эхо и Т1-взвешенного спин-эхо с инверсией восстановления (inversion recovery) у больных ишемической болезнью сердца.
4. Верифицировать результаты автоматизированного выделения по данным ручного экспертного выделения зоны повреждения миокарда.

Материалы и методы: в исследование включено 30 пациентов, которым по поводу трехсосудистой ишемической болезни сердца и перенесенного в сроки 1-7 месяцев перед этим острого инфаркта миокарда левого желудочка в плановом порядке выполнена операция аортокоронарное шунтирование, с наложением 3-5 анастомозов.

Ни у кого из включенных в исследование на момент послеоперационной контрастированной магнитно-резонансной томографии миокарда нет данных за окклюзию шунта, периоперационный или послеоперационный инфаркт.

Методики контрастированной магнитно-резонансной томографии. Исследование основано на получении срезов сердца по короткой оси при магнитно-резонансной томографии сердца в Т1-взвешенном режиме, с контрастированием парамагнетиком. При этом контрастирование выполняется в дозировке 2 мл 0,5М парамагнетика на 10

кг массы тела пациента. Исходные и постконтрастные изображения получены в состоянии покоя, постконтрастные – спустя 15 мин после введения контраста-парамагнетика. Соответственно параметры исследования составляли: TR=400-650 мс, TE=10-15 мс. На полученных изображениях наружный контур миокарда выделяется врачом-оператором, поскольку полуавтоматический алгоритм выделения наружной границы миокарда в неудовлетворительно высоком проценте случаев – до 30-35% - включает в миокард зоны эпикардиального жира или перикарда. Затем полуавтоматически выделяется внутренний – эндокардиальный контур миокарда, при этом область папиллярных мышц не включается в собственно контур миокарда левого желудочка, затем, также полуавтоматически выделяется области патологического накопления контраста-парамагнетика в собственно толще миокарда. Градиент интенсивности изображения по ходу границы области патологического накопления контраста-парамагнетика с нормальным миокардом позволяет это сделать высокодостоверно во всех случаях. В частности, при использовании режима T1-взвешенного спин-эхо режима различия в интенсивности на воксел контрастированной (пораженной) и неповрежденной областей миокарда составили более 150-170%. При проведении исследования в режиме T1-спин-эхо взвешенной МРТ с инверсией восстановления (T1-SE – inversion recovery) различия в интенсивности на воксел между пораженными и неповрежденными отделами составляли до 400-500%. При этом зона перехода между зонами составляла не более 3 вокселов во всех случаях. В области миокарда на каждом срезе автоматически выделяются 16 классических анатомических сегментов, как и при ультразвуковом исследовании. Для каждого сегмента миокарда левого желудочка автоматически рассчитывается индекс трансмуральности накопления контраста, как ИТ={(толщина включения парамагнетика / (толщина миокарда)}. Кроме того вычисляется суммарный объем повреждения миокарда, как объемный интеграл по области накопления контраста-парамагнетика в миокарде, суммарный объем миокарда (масса миокарда) левого желудочка, как суммарный объем внутри всех выделенных полуавтоматически границ миокарда левого желудочка. Обработка изображений и расчет физиологических показателей осуществляется средствами MatLab 7.11 с включением фрагментов. Те же показатели, наряду с полуавтоматическим алгоритмом обработки изображений, определяются с целью верификации методики пользователем вручную. Принципиально новой возможностью является автоматизированное выделение зон повреждения миокарда по данным динамики изменения интенсивности IR-изображения с варьированием времени инверсии

В данный момент программа автоматизированного анализа и обработки изображений находится на этапе отладки и тестирования. Для ее реализации выбран пакет Matlab. Установка Matlab была проведена в лаборатории томографии ФГБУ НИИ Кардиологии СО РАМН, Томск (НИИК СО РАМН).

Практическая значимость работы: разработанная система сокращает время обработки и анализа изображений при прогнозировании состояния сократимости сердечной мышцы после проведения аортокоронарного шунтирования.

Выводы: контрастированная ЭКГ- синхронная магнитно-резонансная томография миокарда при использовании разрабатываемого в работе автоматизированной обработки ее диагностических изображений представит собой эффективный метод выявления и оценки распространенности ишемического повреждения миокарда, при этом обладает диагностическим и прогностическим значением у пациентов с многососудистым аортокоронарным шунтированием.

Список литературы

1) Варфоломеев С.Д., Гуревич К.Г. Биокинетика. Практический курс.-М.: ФАИР-Пресс,1999-720с.

2) Усов В.Ю. Парамагнитное контрастирование при магнитно-резонансной томографии миокарда у пациентов с ишемической болезнью сердца.-Томск:STT, 2012.-10-45 с.

3) Дьяконов В. MATLAB 6: учебный курс-СПб.: Питер, 2001.-592 с.

4) Simonetti O.P.,Kim R.J.,Fieno D.S. et al. An improved MR imaging technique for the visualization of myocardial infarction//Radiology.-2001.-[Vol.] P.215-223

5) Ларина О.М.Диагностическое значение магнитно-резонансной томографии при гипертрофии миокарда левого желудочка различного генеза//Вестн.РНЦРР.-2009.-№10.-С.34-42

6) Синицин В.Е., Стукалова О.В., Ларина О.М. Магнитно-резонансная томография сердца с отсроченным контрастированием в оценке очаговых изменений в миокарде левого желудочка//Кардиол.вестн.-2008.-Т.3,№2.-С.23-30.

7) Ринкк П.А. Магнитный резонанс в медицине//М.-Геотар-Мед.-2003.

8) Синицин В.Е., Терновой С.К. Магнитно-резонансная томография в новом столетии//Радиология-практика.-2005.-№4.-С.17-22

9) Усов В.Ю., Шелковникова Т.А., Лукъяненок П.И., СухаревaА.Е., Усова А.В., Гольцов С.Г., Ваизов В.Х., Бородина Е.Е., Шипулин В.М., Мордовин В.Ф. ЭКГ-синхронизированная контрастированная МРТ миокарда на открытом МР-томографе в оценке ишемического повреждения миокарда у пациентов перед аортокоронарным шунтированием // Мед.визуализация.-2011.- №5.

10)Терновой С.К., Синицин В.Е. Роль компьютерной и магнитно-резонансной томографии в медицине 21 века//аналитический обзор.-2007.

ЭЛЕКТРОНЕЙРОМИОГРАФ

Турушев Н.В., Кашуба И.В., Южаков М.М.
Научный руководитель: Авдеева Д. К., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 50
Email: sh_of_m@sibmail.com

Психофизиологическое состояние человека влияет на любой результат его деятельности и продолжительность его жизни [вставить ссылку на источник информации]. По этой причине существует необходимость в разработке новых и усовершенствовании старых методик исследования организма и диагностики заболеваний.

Человеческий организм страдает от многих физиологических нарушений работы мышц. Причины таких нарушений могут быть связаны как с генетическими патологиями, отравлением различными веществами, вирусными заболеваниями, физическими травмами, психосоматическими синдромами. К таким заболеваниям можно отнести миастении, миопатии, миотонии. Для диагностики и лечения заболеваний необходимо внедрение и разработка специальных технических средств, позволяющих определить предрасположенность к заболеванию или диагностировать его на ранних стадиях.

Электромиография – сфера медицинской диагностики, направленная на исследование активности мышечной ткани посредством регистрации их биоэлектрических потенциалов.

Электромиографию можно разделить на два вида в зависимости от типа используемых электродов: локальная (игольчатая) миография и интерференционная (поверхностная) миография.

Локальная электромиография – это диагностический метод, использующий для получения миограмм игольчатые электроды и относящийся к инвазивным методам исследования, то есть методам, когда электроды не располагаются над мышцей, а углубляются внутрь мышечной ткани. Метод, в основном, направлен на локальную диагностику мышечного волокна, его групп и двигательной единицы.

Поверхностная электромиография характеризуется тем, что съём биопотенциала мышцы осуществляется наложением пары электродов на очищенную поверхность кожи, расположенную над двигательной точкой исследуемой мышцы, и регистрации потенциалов, получаемых между этими электродами.

Данная методика хороша для получения общей интерференционной картины активности всех волокон одной мышцы, либо группы мышц, оценки координационных отношений разных мышечных групп, исследования лабильности нейромоторной системы, топической диагностики при компрессионных корешковых синдромах.

Необходимость объединения нескольких видов диагностик в медицине для более гармоничного исследования и совпадение принципов работы приборов для проведения этих исследований привели к синтезу новых методик, в результате такого синтеза возникла методика, объединяющая миографию и нейрографию – электронейромиография.

Электронейромиография (стимуляционная миография) – набор методов диагностики системы человека мышцы-нервы. Благодаря этой сфере медицинской диагностики можно подробно изучать взаимодействие нервной системы человека с его мышцами, а так же нервную и мышечную активности как отдельные явления. Отличительной особенностью электронейрографии является стимуляция исследуемых областей организма внешними факторами (электрическая стимуляция, магнитная стимуляция, оптическая стимуляция, акустическая стимуляция, механическая стимуляция).

Стимуляционная миография имеет огромный спектр применения и позволяет определить большой перечень параметров нейромышечной активности, вот некоторые из них: скорость распространения возбуждения по моторному нерву; скорость распространения возбуждения по чувствительным волокнам; моторный ответ мышцы; поздние нейрографические феномены; мигательный рефлекс; надёжность нервно-мышечной передачи [1].

Приборы, осуществляющие диагностику мышечной активности, называются электромиографами, а применяемые в электронейромиографии электронейромиографами. В связи с тем, что возникает на рынке необходимость в более универсальных приборах с большим количеством функций, разработчики большее предпочтение отдают созданию электронейромиографов.

Простейший электронейромиограф включает следующие функциональные блоки: электроды, блок стимуляции, блок усиления биосигналов, блок фильтрации биосигналов, блок обработки биосигналов, устройство отображения информации, накопитель измерительной информации.

Электроды обеспечивают снятие биопотенциалов с диагностируемого органа, блок усиления усиливает получаемые сигналы до уровней, удобных для обработки их в блоке обработки. Блок фильтрации очищает сигнал от шумов. Блок обработки обычно содержит в себе АЦП высокого разрешения и высокочастотный микроконтроллер, который обеспечивает обработку информации и управляющий интерфейс. Блок индикации отображает результат измерения, в качестве индикатора может выступать как встраиваемый в устройство дисплей с драйвером, внешний дисплей, либо персональный компьютер. Блок стимуляции ис-

пользуется как дополнительная опция для проведения стимуляционной миографии.

В существующих в настоящее время приборах имеются несколько комбинаций функциональных блоков следующей конфигурации: электронейромиограф без встроенного индикатора с интерфейсом связи с персональным компьютером (ноутбуком), прибор на базе персонального компьютера (ноутбука). К первой конфигурации можно отнести комплекс аппаратно-программный для оценки электрической активности мышц МИОКОМ ОАО ОКБ «Ритм», ко второй группе можно отнести прибор KEYPOINT PORTABLE производства компании MEDTRONIC (USA). Первая конфигурация позволяет использовать прибор для исследования организма в динамике без использования дополнительных средств (велоэргометров, тредмилов). Вторая – позволяет осуществлять мониторинг мышечной активности в реальном времени. Благодаря встроенному интерфейсу связи обе конфигурации позволяют проводить анализ полученных данных с помощью цифровых средств, тем самым облегчая работу персоналу и уменьшая вероятность возникновения ошибок.

Разрабатываемый прибор включает в себя следующие функциональные блоки (рис. 1): электроды, блок усиления сигналов, блок обработки сигналов, накопитель информации, стимулятор. Отличительной особенностью прибора является отсутствие в нём фильтрующих блоков, данное решение позволяет проводить более подробный анализ активности мышцы с минимальной потерей информации, которая в случае фильтрации теряется.

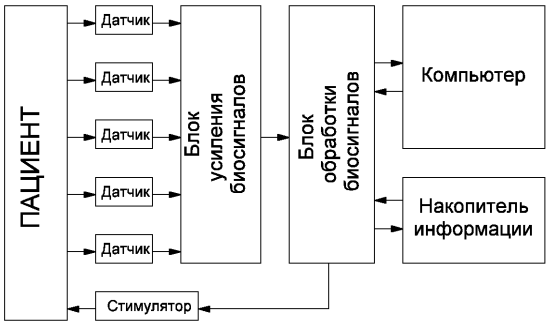


Рис. 1. Функциональная схема прибора

В качестве электродов используют наноэлектроды. Блок усиления сигналов производит масштабное увеличение сигнала до размеров, удобных для обработки сигнала. В блоке обработки сигналов происходит: преобразование аналоговых сигналов в цифровую и последующая его обработка и запись в накопитель информации, управление стимулятором, осуществление связи прибора с персональным компьютером и передача информации из встроенного накопителя.

При создании прибора поставлена задача – разработать прибор более высокого разрешения с нановольтовой шкалой измерений и с возможностью измерения постоянного биопотенциала для исследования мышечной ткани и выявления новых особенностей измеряемых биопотенциалов. Исследования в области биопотенциалов мышечной ткани уровнем (100-200) нВ в полосе частот от 0 до 100 Гц позволят более тонко понять механизм работы мышцы и связанной с ней нервной системой, что, возможно, в будущем приведёт к диагностике заболеваний и патологий на самых ранних стадиях их развития [2].

Разрабатываемый прибор обладает следующими характеристиками: диапазон измерения – от ±0.2 мкВ до ±100 мВ; частота дискретизации – 2000 Гц; минимальная ступень квантования – 20 нВ; регулировка коэффициента усиления – 1, 4, 8, 16, 32.

Тестовые измерения, проведённые на приборе для бицепса пациента с выраженной мышечной дистрофией с применением акустической стимуляции нервной системы человека, показали, что прибор обеспечивает диагностику малых величин напряжений мышцы (рис. 2, линия 2). Для более тщательного отслеживания реакции на стимуляцию дополнительно снимались электрокардиограмма (рис. 2, линия 1) и кожно-гальваническая реакции (рис. 2, линия 3). В процессе стимуляции амплитуда миограммы начинала нарастать из-за психологического напряжения, вызванного серией звуковых эффектов, и понижалась, при привыкании пациента к стимуляции, начиная с 250 секунды. В дальнейшем планируется повышение автоматизации прибора, его тестирование и накопление результатов миографических исследований.

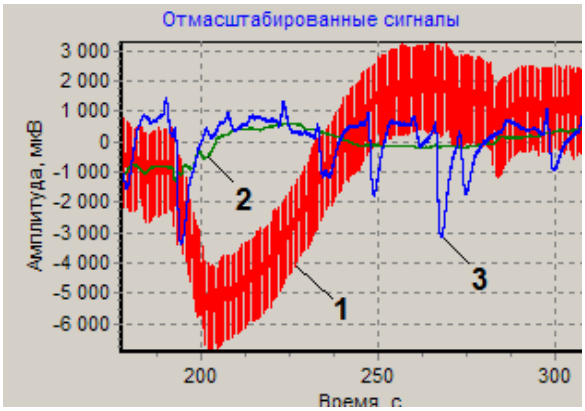


Рис. 2.Запись регистрации биопотенциалов: 1-ЭКГ, 2-ЭМГ, 3-КГР

1. С.Г. Николаев. Практикум по клинической электромиографии.– Иваново: 2008. – С. 264

2. Авдеева Д.К., Лежнина И.А., Южаков М.М. Перспективы улучшения качества снимаемых электродами физиологических параметров человека// Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы VIII Международной научно-технической конференции– Новочеркасск, 28.09.2007.–Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2007. –С. 51-53.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ БИОУПРАВЛЕНИЯ ПО ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Шнайдер Г. В.
Научный руководитель: Бразовский К. С., к.м.н.
ГБОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России,
634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: gilgeladkz@gmail.com

Актуальность. Чем выше техническое оснащение и возможности современной медицины, тем яснее самое существенное ее противоречие. С одной стороны, врачи все громче призывают нас активно участвовать в сохранении собственного здоровья и процессе лечения. С другой, мы все чаще становимся пассивным объектом медицинского воздействия - высоких технологий, сложной техники, большого количества лекарств. Между тем каждый из нас вполне способен сам корректировать работу основных систем и органов своего тела, возвращая их функцию к норме. В наше время IT-технологии все более интегрируются во все сферы жизнедеятельности человека. Большой интерес представляет современный, активно развивающийся, но еще не получивший широкого распространения метод биологической обратной связи (БОС, biofeedback). Биоуправление- медицинская технология, где пациент из пассивного объекта врачебных манипуляций превращается в активного субъекта лечебно-реабилитационного процесса. [1]

Новизна работы. Новизна заключается в разработке способа организации сеансов биоуправления для мобильных вычислительных устройств и алгоритмов обработки электрофизиологических данных в реальном времени на устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами. Реализация разработки позволить сделать технологии биоуправления более доступными и дружественными как для врачей, так и для пациентов.

Цель работы: создание программно-аппаратного комплекса для реализации БОС-тренинга по электрофизиологическим параметрам на мобильном устройстве.

Задачи.

1. Сформировать технические требования к программному комплексу.
2. Подготовить техническое задание на разработку программного комплекса.
3. Разработать структуру функциональных программных модулей.
4. Выполнить программную реализацию комплекса.
5. Провести экспериментальные исследования разработанного комплекса.

Материалы и методы. Программный комплекс разрабатывается в среде Eclipse, используя плагин DevelopmentTools (ADT), как средство тестирования- планшетSurfTabbreeze 7.0., аппарат для регистрации биопотенциалов, разработанный на кафедре клинической кибернетики СибГМУ. Экспериментальные исследования будут проходить на базе клиник СибГМУ.

Результаты. Методика БОС-тренинга, основанная на измерении вариабельности сердечного ритма, показывает нам как наше сердце отвечает на изменения эмоционального, ментального и физического напряжения и помогает натренировать способность возвращаться в более расслабленное и эффективное состояние. Это помогает достижению общей релаксации и снятию напряжения с сердечно-сосудистой системы. Динамическая картинка изменяется в процессе биоуправления. На основе этих данных создается лечебно-реабилитационный алгоритм - компьютерная программа, которая позволяет человеку самому управлять изменением этих параметров. Принцип работы БОС в общем виде заключается в организации обратной связи по физиологическим параметрам организма с помощью технических средств регистрации параметров (например, биопотенциалов), устройств обработки и представления информации пациенту [2].

Основными компонентами разрабатываемого комплекса являются:

Устройство - регистратор биопотенциалов, которое позволяет регистрировать

электрическую активность сердца. Разработано на кафедре медицинской и биологической кибернетики Сибирского медицинского университета;

Компьютерная программа для вычисления статистических параметров сердечного ритма в реальном времени, преобразования вычисленных значений в сигнал обратной связи и оценки эффективности биоуправления на основе интегральных критериев; мобильное устройство.

В интерфейсе будет присутствовать 6 рабочих окон:

1. Интерфейс выбора пользователя.
2. Интерфейс выбора настроек сеанса БОС:
1. Выбор способа визуализации.
2. Вид тренинга.
3. Уровень сложности.
4. Продолжительность
5. Выбор набора для релаксации.
6. Опция сохранения сценария.

3. Запись сеанса с контрольными значениями.
4. Интерфейс самого сеанса БОС.
5. Интерфейс релаксации.
6. Интерфейс с результатами и выводами о проведенной работе.

Визуализация будет представлена в двух видах-интерпретация результатов тренинга в выражении лица и спидометре. В первом случае пациент сможет понимать свой уровень управления в интуитивно понятной мимике изображенного лица, от плохого до хорошего, что идеально подойдет для пациентов раннего возраста. Во втором случае спидометр, показывающий эффективность управления от 0 до 100 % соответственно.

Отличительными особенностями методики биоуправления будет:

1. Регулируемый параметр – статистические характеристики распределения кардиоинтервалов;
2. Способ вычисления регулируемого параметра – метод динамической оценки статистических характеристик;
3. Непрерывная оценка качества биоуправления во время сеанса с использованием интегральных, временных и энтропийных критериев;
4. Адаптивная коррекция сигнала обратной связи;
5. Характеристики кардиоинтервального ряда.

Кардиоинтервалограмма (другое название хронокардиограмма) как случайный процесс характеризуется функцией распределения вероятности, подчиняющейся нормальному закону, поэтому в основе математического анализа лежит расчет показателей распределения: среднего (M), дисперсии (D), а также вариационного размаха (Dx). Каждый из рассчитываемых статистических показателей кардиоинтервалограммы имеет определенный физиологический смысл. Поскольку биоуправление многоплановый процесс, характеризующийся сложными нелинейными взаимодействиями различных функциональных систем, то выявить влияние определенного звена регуляции, а тем более оценить качество сеанса по одному - двум параметрам, как показывает опыт, практически невозможно. С другой стороны, чрезмерное усложнение процедуры оценки эффективности приводит не только к трудностям физиологической интерпретации количественных показателей, но и к снижению их информативности. Для формирования разумного множества критериев оценки предлагается выделить три вида параметров:

1. Интегральные оценки;
2. Временные оценки;
3. Оценки степени хаотичности процесса.

Интегральные оценки вычисляются как площадь под различными участками кривой изменения регулируемого параметра и зависят, в основном, от энергетических характеристик статистического распределения параметров и позволяют вычислить эффективность управления. К данному виду оценок относится, например, среднеквадратичное отклонение изменяемого параметра от задающего сигнала. Временные оценки характеризуют способность пациента сохранять сознательный контроль над управляемым параметром и позволяют вычислить динамические характеристики процесса (скорость изменения параметра, суммарное и максимальное время эффективного управления) Степень хаотичности (или энтропия) процесса биоуправления зависит, вероятно, от способности функциональных систем организма быстро и точно реагировать на изменения во внешней среде.

Важен результат: в процессе тренинга много раз повторяющиеся виртуальные события формируют у игроков новые стереотипы, обеспечивающие рациональное поведение в условиях стресса. Прежние модели реакции на стресс, которые лежали в основе многих психосоматических заболеваний, вытесняются.[1]

Практическая значимость работы

Информация о собственном функциональном состоянии, получаемая через датчики в режиме реального времени, позволяет пациенту легко обучиться совершенствованию нормальной и коррекции нарушенной физиологической функции с участием произвольных и непроизвольных механизмов саморегуляции [3], превращая пациента из пассивного объекта врачебного вмешательства в заинтересованного активного участника оздоровительного, лечебного или реабилитационного процесса. Технология БОС повышает самооценку больного, формирует модель эффективного поведения и создает устойчивую систему навыков саморегуляции [3].

Реализация технологии в виде доступного комплекса понизит стоимость комплексов БОС-тренингов, а следовательно повысит их доступность для населения.

Список литературы

1.Интервью с Марком Штарком: "Биоуправление - это медицина будущего", от 20 февраля 2003 года.

2.Скок А. Б., Филатова О. В., Штарк М. Б., Шубина О.С., Биоуправление в психоневрологической практике // Бюллетень Сибирского отделения РАМН, 1999 г., N 1, с. 30-35.

3.Аладышев А.В., Субботин Е.А. Функциональноебиоуправление с обратной связью-перспективная информационная технология в медицине. // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – № 3 – С. 86-87.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕМОЛИЗА КРОВИ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ

Юрченко В.В.
Научный руководитель: Аристов А.А., к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: yurchenko_vitaliy@mail.ru

Аппарат искусственного кровообращения (АИК) — устройство, обеспечивающее оптимальный уровень кровообращения и обменных процессов в организме больного или в изолированном органе; предназначен для временного выполнения функций сердца и легких. Он состоит из двух основных узлов: насоса — устройства для нагнетания артериальной крови в организм больного и устройства для артериализации крови (удаления из крови углекислого газа и насыщения ее кислородом) — оксигенатора. Современые аппараты искусственного кровообращения снабжены рядом вспомогательных и регистрирующих устройств [1].

В условиях искусственного кровообращения существуетцелый ряд проблем, которые негативно воздействуют на организм человека. Самым опасным из них является эмболия сосудов головного мозга газом или твердыми частицами кальция, тромботических масс и др., которые могут попасть из сердца в аорту в период перехода от искусственного к естественному кровообращению. Решающую роль в профилактике этого осложнения играют специальные микрофильтры, задерживающие частицы размером не менее 20 мкм.

Гипоксия жизненно важных органов может быть следствием недостаточной производительности АИК. При современной технике искусственного кровообращения это осложнение бывает смертельным лишь при резком отклонении перфузии от нормального режима в случае выхода из строя перфузионной аппаратуры или слишком большого шунтирования нагнетаемой крови через несостоятельный аортальный клапан или бронхиальные анастомозы.

Помимо осложнений, свойственных массивным гемотрансфузиям, во время искусственного кровообращения могут быть повышенная травма крови (гемолиз) и нарушение ее коагулирующих свойств. Гемолиз редко превышает 30—40 мг% (30—40мг/л) свободного гемоглобина плазмы за 1 ч перфузии, что не представляет опасности для больного. Наметить границы предельно допустимого гемолиза невозможно, так как толерантность к нему сильно варьирует у разных групп больных[2].

До 1975 г. наиболее распространенным методом оценки концентрации свободного гемоглобина являлась спектрофотометрическая методика с использованием бензидина. Однако было показано, что данный реагент имеет канцерогенные свойства, и в дальнейшем эта методика была заменена сканирующей спектрофотометрией. Данный способ менее трудоемок и обладает большей точностью.

Поначалу определение степени гемолиза для оценки функционирования АИК использовалось в клинических условиях как компонент обычного лабораторного мониторинга или для сравнительной оценки различных устройств в соответствии с Международными стандартами для газообменных медицинских устройств, контактирующих с кровью.

Для оценки гемолиза использовали множество показателей, таких как гемолитический индекс, индекс травмы, индекс образования свободного гемоглобина плазмы. Гемолитический индекс отражает количество свободного гемоглобина в плазме, высвобождающегося при прохождении определенного объема крови через экстракорпоральный контур. Считалось, что этот показатель не подходит для оценки гемолиза при использовании небольших насосов с малым первичным объемом, поскольку одинаковый объем крови проходит через каждый компонент контура чаще, чем в случае использования больших насосов. Для решения этой проблемы был введен индекс травмы, который представляет собой отношение концентрации свободного гемоглобина в плазме к числу прохождений отдельно взятой клетки крови через экстракорпоральный контур. Позже стали отдавать предпочтение индексу образования свободного гемоглобина в плазме. С помощью этого показателя сравнивают процесс образования свободного гемоглобина в идентичных экстракорпоральных контурах, в один из которых включено исследуемое медицинское устройство [3].

Причины гемолиза во время искусственного кровообращения (ИК) были определены E. Peirce в 1969 г.: воздействие насоса, силы поверхностного натяжения в пузырьковых оксигенаторах; силы сдвига, возникающие из- за резких изменений площади поперечного сечения канюль и трубок; струйные силы, появляющиеся при высокой скорости движения клеток крови [4].

Позже J. Mulholand и соавт. перечислили основные динамические силы, приводящие к травме крови: положительное или отрицательное давление, напряжение сдвига, силы гидродинамического удара, контакт с неэндотелиальной поверхностью, интерфаза кровь—газ. Также ими была изучена роль кардиотомного отсоса в травмировании клеток крови. Используя собственную экспериментальную модель, авторы продемонстрировали, что повреждение клеток крови за счет кардиотомного отсоса не имеет основного значения.

Наибольший прирост свободного гемоглобина наблюдался при воздействии на кровь сочетания интерфазы воздух—кровь и отрицательного давления. Меньший прирост свободного гемоглобина наблюдался при раздельном воздействии на кровь этих факторов. Исследователи предположили, что скорость движения клеток крови в линии отсоса небольшая, следовательно, напряжение сдвига в линии отсоса меньше, чем напряжение сдвига в основной части экстракорпорального контура.Однако скорость движения клеток крови не является главным фактором в развитии травмы форменных элементов. Решающее значение имеет высокая скорость поступления воздуха в линию отсоса[5].

При операциях с ИК гемолиз является наиболее значимым фактором риска развития органной (в частности, почечной) дисфункции в послеоперационном периоде. Поражение почек, связанное с гемолизом, может наступать при превышении почечного порога для свободного гемоглобина плазмы. Почечный порог, по данным разных авторов, колеблется от 100 до 150 мг%, снижаясь приИК до 50 мг% и менее. В случае развития гемолиза гемоглобин начинает выделяться через клубочки и при его концентрации в плазме в гораздо более низких концентрациях, но вначале задерживается почечным эпителием, всасывающим его из просвета канальцев.

В случае снижения содержания гемоглобина в плазме при обратном развитии гемоглобинурии насыщенные гемоглобином эпителиоциты допускают выведение его с мочой и при низкой концентрации последнего в плазме [6].

Для изучения проблемы гемолиза на всех стадиях искусственного кровообращения нами предлагается создание устройства, моделирующего функционирование аппарата искусственного кровообращения, и системы контроля гемолиза крови.

В системе реальных АИК предполагается наличие пациента, но для изучения гемолиза в условиях изменяющихся параметров при предельных их значениях может возникнуть опасность для жизни пациента. Поэтому нами будет использоваться макет АИК, полностью повторяющий функции реальных АИК, но не имеющий звена «пациент» в своем составе. Для оптимизации его работы будем использовать малые объемы крови.

В качестве системы контроля гемолиза будет выступать совокупность датчиков, показывающих динамику процесса гемолиза крови в зависимости от изменяющихся внешних воздействий (температура, скорость потока крови и другие).

На рис.1. представлена структурная схема данного устройства.

В дальнейшем данное устройство будет сконструировано и использовано по назначению.



Рис.1. Устройство для исследования гемолиза крови в условиях искусственного кровообращения

Литература

1. Аппарат искусственного кровообращения [Электронный ресурс]. URL: http://www.megabook.ru/Article.asp?AID=593277 ()

2. Анестезиология, реанимация и интенсивная терапия [Электронный ресурс]. URL: http://www.dom-hirurga.ru/?p=212 (дата обращения: 10.02.2013)

3. KollerT., Hawrylenko A. Contribution to the in vitro testing of pumps for extracorporeal circulation. J ThoracCardiovascSurg1967; 54: 22.

4. Peirce E. Extracorporeal circulation for open heart surgery. Thomas 1969; 45—49.

5. Mulholland J.W., Massey W., Shelton J.C. Investigation and quantification of the blood trauma caused by the combined dynamic forces experienced during cardiopulmonary bypass. Perfusion 2000; 15: 485—494.

6. Чарная М.А., Морозов Ю.А., Гладышева В.Г., Крапивкин И.А. Частота и причины развития почечной дисфункции у больных после операций на сердце в условиях искусственного кровообращения. Вести интенсивной тер 2005; 2: 73—75.

ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТРАСТНОГО ЛЕКАРСТВЕННОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ГАДОЛИНИЯ ДЛЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Милгадаев А.[1], Нам И. Ф.[2], Нарыжная Н. В. [3]
Научный руководитель: Нам И.Ф., к.т.н.
[1]Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2] Общество с ограниченной ответственностью «МедКонтрастСинтез»,
634055, г. Томск, пр-т Академический 8/8, оф. 212
[3] «Научно-исследовательский институт кардиологии» Сибирского отделения Российской академии медицинских наук, 634034, г. Томск , ул. Киевская, 111-а
E-mail: artem.milgadaev@mail.ru

Современные технологии магнитно-резонансной томографии (МРТ) неразрывно связаны с использованием магнитно-резонансных контрастно-диагностических средств (МРКС), которые не только многократно увеличивают чувствительность и специфичность исследования, но и являются неотъемлемой частью самой диагностической процедуры.

Одним из показателей, характеризующих состояние рынка контрастов в стране, является доля процедур с применением этих препаратов в общем объёме МРТ-исследований. Так, по данным маркетингового исследования, в европейских странах контрасты при МРТ используются в 70-80% случаях, а в России этот показатель составляет всего 9%. Важность использования контрастов в МРТ-диагностике подчеркивается тем, что по данным ВОЗ, число диагностических ошибок без их использования может, достигать 40%. Исследование опухолей без контрастов является недостаточно информативным, поскольку не позволяет оценить распространенность патологического процесса и выявить злокачественные новообразования на ранних стадиях. [1]

Применение контраста для МРТ имеет ряд преимуществ:

- существенное улучшение качества диагностического изображения;
- возможность оценки распространенности и степени злокачественности новообразования;
- выявление очагов воспаления различной локализации;
- повышение информативности МР-томографии сердца и сосудов.

Таким образом, возможности клинической МРТ-диагностики существенно расширяются.

В современном мире люди все чаще нуждаются в МРТ диагностике с контрастированием. Но в связи с дорого стоимостью данных средств, рутинная диагностика становится затруднительной. Необходимость разработки и производства отечественных контрастов для МР - томографии указывается в целом ряде документов:

- Стратегия развития фармакологической промышленности Российской Федерации на период до 2020 года - Таблица 7.1. Перечень МНН лекарственных средств, не производящихся на территории Российской Федерации, Инновационные лекарственные средства «Гадопентетовая кислота» (непатентованное международное название).

- Доклад Министра здравоохранения и социального развития РФ Татьяны Алексеевны Голиковой по развитию ядерной медицины на заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию при Президенте РФ 29 апреля 2010г. - «И ещё одна тема – это потребность российского здравоохранения в МРТ-исследованиях. Эта потребность составляет сегодня, по данным Всемирной организации здравоохранения, не менее 5 процентов населения в год. В России потребность в магниторезонансных томографах сегодня составляет 1400 единиц. Существующий парк МРТ сегодня составляет 250 высокопольных магнитов и около 200 открытых магнитов, включая частные. Для создания отечественного производства нам необходимо наряду с разработкой сверхпроводящего магнита развивать и другие технологии, которые на сегодняшний день импортируются в нашу страну. Это производство многоканальных градиентных и приёмно-передающих катушек, градиентных систем, цифровых программ электронной обработки данных. Также необходима разработка отечественных контрастных препаратов» [3].

- Перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных средств включает в себя контрастно-диагностические средства на основе гадодиамида и гадопентетовой кислоты.

В данной статье приведен анализ результатов предварительных исследований острой токсичности вновь созданного контрастного средства на основе комплекса гадолиния для использования при проведении МРТ.

В результате проведения экспериментальных исследований так же исследовалось влияние водородного показателя (pH) на острую токсичность.

Исследование проведено на лабораторных крысах с исходной массой тела 357–457 гр. Животные выбирались одного возраста и, по возможности, одинаковой массы тела. Возраст к началу исследования составлял 4 – 5 месяцев. Подбор животных в группу осуществлялся методом «случайных чисел», используя в качестве критерия массу тела. Усредненные результаты исследования представлены в таблице 1, где НЛ 14-0 – исходный раствор Соотношение ДТПА/Gd2O3~2,035 : 1; НЛ 14-1 ÷ НЛ 14-3 – суб-

станция НЛ 14-0 с различным pH; вес – указан средний вес лабораторной крысы в граммах; pH – водородный показатель, измеренный до начала эксперимента; введенная доза – доза введенного МРКС оцененная в мл/кг и моль/кг соответственно.

Таблица 1. Результаты исследования острой токсичности [1]

	№ образца	Вес, гр	Введенная доза, мл	pH	Введенная доза, мл/кг
1	НЛ 14-0	357	3,5	7,069	9,8
2	НЛ 14-1	341	5	6,84	14,67
3	НЛ 14-2	358	5	7,388	13,97
4	НЛ 14-3	411	5	7,9	12,17

Таблица 2. Результаты измерений физико-химических характеристик

Параметр, единица измерения	НЛ 14-0	Магневист
Содержание гадолиния, % (от массы комплекса)	26.5	16.7
Содержание свободного Gd^{+3}, % (от общего содержания гадолиния)	0.2	0.5
Летальная доза LD50 (при в/в введении мышам, моль/кг)	7-9	5-8

Анализ полученных результатов показал, что разработанное МРКС на основе комплекса гадолиния не уступает по своим физико-химическим характеристикам наиболее распространенному в России зарубежному аналогу, разработанному Schering AG «Магневист» [5].

Планируются комплексные доклинические исследования острой токсичности, а так же прохождение клинических испытаний для регистрации лекарственного средства в качестве МРКС.

Создание нового, отечественного, относительно дешевого контрастного средства позволит увеличить диагностические возможности данного метода.

Список литературы:

1. Рынок лучевой диагностики: медицинское рентгеноборудование и МРТ в РФ // SYNOPSIS consulting&research (SCR GROUP): Маркетинговое исследование. Москва – 2011.- 120 с.

2. Стратегия развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]. URL: http://www.pharma2020.ru (дата обращения: 15.01.2013).

3. Стенографический отчёт о заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России [Электронный ресурс]. URL: http://gmpnews.ru/2010/05/tatyana-golikova-o-razvitii-yadernoj-mediciny-v-rossii/ (дата обращения: 18.01.2013)

4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. N 2135-р г. Москва [Электронный ресурс]. URL: http://www.rg.ru/2010/01/13/perechenlek-dok.html/ (дата обращения: 20.01.2013)

5. Словарь медицинских препаратов [Электронный ресурс]. URL: http://www.piluli.ru/product/Magnevist (дата обращения: 20.01.2013)

1 Эксперименты на животных осуществлялись в соответствии с правилами, принятыми Европейской Конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей (European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS 123). Strasbourg, 1986).

PHOTO-ACOUSTIC GAS ANALYZER BASED ON OPO AND PAS

N.Yu.Duhovnikova[1,2], A.A. Boyko[1,2]
Scientific adviser: Kolker D.B., DSc, prof.
Special technologies, Ltd., Zeljonaja Gorka 1/3, Novosibirsk 620060, Russia
Novosibirsk State Technical University, pr. K. Marksa 20, Novosibirsk 630092, Russia

1. Introduction

At the present time registration and determination of the concentrations of various gases in the atmosphere plays an important role in biology and medical diagnostic. Analysis of the gas composition of atmosphere and human's breath is one actual directions of research. Last few years method of laser photo-acoustic spectroscopy (LPAS) has become an important method for monitoring of gas chemical compounds in atmosphere because of its simplicity of practical realization, safety, cost-effectiveness and extremely high sensitivity (ppb-ppt level) [1-2].

LPAS allows making measurements in real time with a minimal volume of gas sample. LPAS detectors do not require using of expensive high-reflectivity mirrors as opposed to cavity ring-down spectroscopy (CRDS) method. Capabilities of LPAS sensors generally increase with increasing laser energy as far as acoustic signal are proportional to optical power absorbed in detector. A major impact on the field of trace gas detection can be expected from new extensively tunable solid-state laser systems working in the mid - IR spectral region. In this respect the recent realization and further improvement of optical parametric oscillators (OPOs) and quantum cascade lasers (QCL) could be an important breakthrough in the practical application of laser photo-acoustic spectroscopy (LPAS) in trace gas monitoring [3-6]. Optical parametric oscillation (OPO) is today one of the most widespread ways to produce tunable coherent radiation.

2. LPAS gas analyzer with a wide tunable optical parametric oscillator

Optical parametric oscillator (OPO) possesses broad wavelength coverage therefore we research new devices based on OPO for range extension of LPAS sensors. This technique will allow covering wide spectral range from 2.4 to 11 μm.

The tuning range of nanosecond OPO based on PPLN crystal pumped with Nd:YLF laser is 2.4-3.9 μm (idler wave). Expansion of the spectral range up to 11 μm is possible by using nonlinear chalcogenide bulk crystal: $LiGaSe_2$, $LiInSe_2$, $AgGaS_2$, and $AgGaSe_2$ [7-10].

We developed and researched experimental OPO setup combined with photoacoustic detector. The pump laser was Q-switched Nd:YLF laser operating at 1.053 μm.

The experimental setup consists of pump laser and two OPO: fun out PPLN OPO (2.4-3.9 μm) and AGS OPO with the same pumping. The photoacoustic detector is used for registration of absorption spectra of tested gas samples.

The monolithic fun out PPLN OPO cavity consist of two high-reflectivity mirrors at the signal wave. The output mirror is transparent at the pump and idler wavelengths; the input mirror has a high transmission coefficient at the pump wavelength. The step motor moves crystal in relation to pumping beam.

From Fig. 1 one can also see that an idler beam tunability of 2.5–3.1 μm and 3.35–3.85 μm was achieved with fun out PPLN crystal.

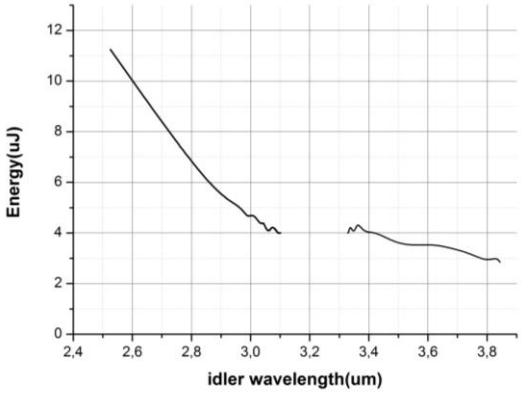


Fig. 1. Fun out PPLN OPO tuning curve (idler wave)

Use of chalcogenide crystals as a nonlinear medium for OPO allows the range from 2 μm to 18 μm to be overlapped. The advantages of these crystals are following: their relatively high thermal conductivity, large bandgap and, as a result, low two-photon absorption and low group velocities mismatching [8]. Optical parametric oscillator based on chalcogenide crystals allows covering wide spectral range from 2 to 11 μm.

$AgGaS_2$ (AGS) crystal has high nonlinear optical coefficient and high optical transmission from 0.5–12.0 μm, which makes it realistic to generate infrared parametric radiation. The monolithic AGS OPO cavity consists of two high-reflectivity mirrors at the signal wave. The output mirror is transparent at the pump and idler wavelengths; the input mirror has a high transmission coefficient at the pump wavelength. The designed monolithic block allows correcting the cavity length by means of changing the distance between two cylindric holders in the flanges. The step motor moves crystal in relation to pumping beam. This crystal goes up to 4.2-11μm. It is depended on the orientation of the crystal.

From Fig. 2 one can also see that an idler beam tunability of 4.2–10.6 μm was achieved with AGS crystal (the signal wavelength was tunable between 1.169 and 1.405 μm, respectively).

3. Laser photo-acoustic detector (LPAD)

For excitation of photoacoustic spectra we used the nanosecond mid-IR OPO described in previous part. More often in PA devices are used sinusoidaly modulated radiation and a resonant cells. In the pulsed photoacoustics, the system is illuminated with a laser pulse rather than with periodic modulation. In our experiments we used the photoacoustic resonant cell.

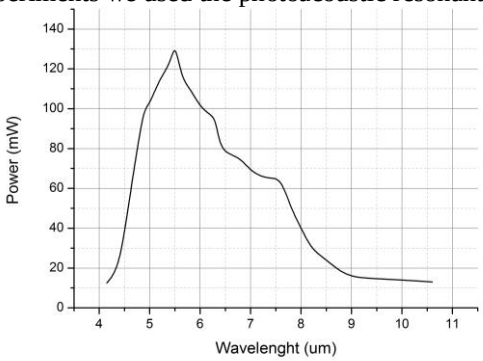


Fig. 2. AGS OPO tuning curve (idler wave)

Absorption spectra of different gaseous mixture were studied with use of tandem OPO-PAD. Below these absorption spectra of methane and ethylene are presented. You can see absorption spectrum of experimental gaseous mixture CH_4 (red line) in Fig. 3. and absorption spectrum of experimental gaseous mixture C_2H_4 (red line) in Fig. 4.

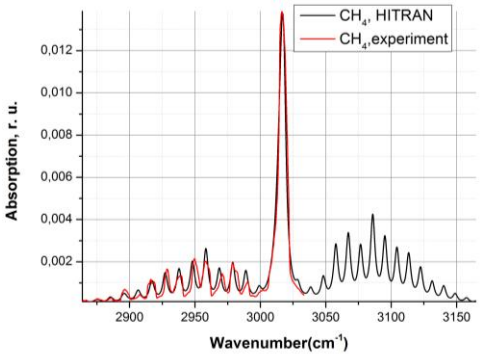


Fig. 3. Absorption spectra: absorption spectrum of experimental gaseous mixture CH_4 (red line) and theoretical absorption spectrum of CH_4 (black line) from HITRAN

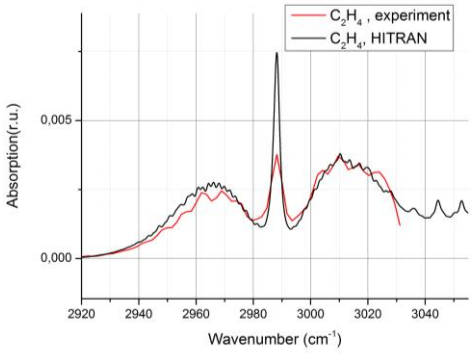


Fig. 4. Absorption spectra: absorption spectrum of experimental gaseous mixture C_2H_4 (red line), absorption spectrum of CH_4,HITRAN (black line)

4. Conclusion

This work shows perspectives of using photoacoustic spectroscopy in medical and scientific practice. Compact analytical systems for different applications can be developed with use of this approach.

This work was performed with support of Ministry of Education and Science of Russian Federation (contract 16.522.11.2001).

References

1. Photoacoustic Spectroscopy in Trace Gas Monitoring/J.M. Harren, Gina Cotti, Jos Oomens et al //Frans Encyclopedia of Analytical Chemistry.-2000 pp. 2203–2226

2. Application of acoustic resonators in photoacoustic trace gas analysis and metrology /Miklos A, Hess P, Bozoki Z //Review of scientific instruments, 72 -2001 pp. 1937-1955

3. 3W continuous-wave room-temperature single-facet emission from quantum cascade lasers based on non-resonant extraction design approach/ C. Kumar, N. Patel, A. Lyakh, R. Maulini et al// Appl. Phys. Lett. 95,-2009. p.141113,(3 pages)

4. Optically multiplexed multi-gas detection using quantum cascade laser photoacoustic spectroscopy/A. Mukherjee, M. Prasanna, C. Kumar, N. Patel et al//Applied Optics Vol. 47, -2008,Iss. 27, pp. 4884–4887

5. Optical detection of chemical warfare agents and toxic industrial chemicals: Simulation/ M. E. Webber, M. Pushkarsky, C. Kumar ,N. Patel// Appl. Phys. 97,- 2005, p. 113101 (11 pages)

6. K.N. Patel /Laser photoacoustic spectroscopy helps fight terrorism: High sensitivity detection of chemical Warfare Agent and explosives Photoacoustic and Photothermal Phenomena //Journal The European Physical Journal Vol. 153, №1,-2008, pp 1-18

7. Nd:YAG pumped nanosecond optical parametric oscillator based on $LiInSe_2$ with tunability extending from 4.7 to 8.7 μm/ Kolker D., Yelisseyev A. Marchev G., Tyazhev A. //Optics Express, Vol. 17,-2009, Issue 16, pp. 13441-13446.

8. Optical, thermal, electrical, damage, and phase-matching properties of lithium selenoindate/ Petrov V., Zondy J.-J., Isaenko L., Kolker D.// *JOSA B*, -2010, Vol. 27, Issue 9, pp. 1902-1927.

9. Optical parametric oscillator within 2.4-4.3 mkm pumped with a nanosecond Nd:YAG laser/ Kolker D.B., Pustovalova R.V., Starikova M.K.// Atmospheric and Oceanic Optics, -2012, Vol. 25, №. 1, pp. 77-81

10. Nanosecond optical parametric oscillator in the mid IR range with a two-pass pumping is based on the crystal $AgGaS_2$/Kolker D.B., Starikova M.K., Boyko A.A., Dukhovnikova N.Yu.//The 7th International Forum on Strategic Technology IFOST2012, Tomsk, Russia, 2012 vol.2, p. 467-469

INHOMOGENEOUS CONSISTENT RECOGNITION PROCEDURE APPLYING TO WOMEN'S HEALTH DIAGNOSTICS

A.V. Dymova
Scientific advisor: O.M. Gerget, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Linguistic Advisor: I.N. Kuznetsova Senior Teacher
National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenina 30
E-mail: dymova.arina@mail.ru

The problem of a human body description is far from being solved in consequence of the large variety and complex relative processes proceeding in the organism, information deficiency in experimental biosystems characteristics.

The main problem of the biosystem parameters estimation process is dissimilarity and fragmentarily of the elementary biomedical data and limitation of traditional statistical approaches.

There is a controversial situation in the biomedical research. There are a lot of data showing different situations in clinical practice on the one hand, and disproportionate little amount of information obtained from evaluation of this data on the other hand.

In the scope of the biomedical data evaluation problem, development of mathematical models and numerical algorithms for biosystem parameters estimation makes a progress with the appliance of mathematical simulating methods and information technology in biomedical research. [1]

The work shows inhomogeneous consistent recognition procedure usage to diagnose female mastopathy.

The sample size is 320 women. 103 of them are healthy and 217 have mastopathy.

Correlation coefficients are computed at the first step to find data parameters relations and to decrease the useful data size.

The correlation coefficient shows the relation between two parameters. This coefficient (designated with a Latin letter R) takes a value between -1 and +1; if a value is close to +1, it means strong relation, if a value is close to 0, it means weak relation of the parameters. Some correlation coefficients can be positive and negative. In the first case we can define the presence or absence of correlation; in the second case we can identify the direction of parameters relationship. Correlation is negative when the increasing of the first parameter is related to the decreasing of the second parameter. If the second parameter increases with the first parameter increasing, the correlation is positive.[2] [3]

The aim of the second stage is to classify objects according to their properties into two orthogonal classes, "healthy" or "ill". Inhomogeneous consistent recognition procedure is used to achieve this goal.

First of all, to use inhomogeneous consistent recognition procedure two groups of data (training and testing) have to be formed from a women data set. The following formula (1) is used to compute the diagnostic coefficient in the training group.[4][5]

$$DC = \lg \frac{P(x_{ij} / A_1)}{P(x_{ij} / A_2)} \quad (1)$$

where A1 is the presence of a disease, A2 is the absence of a disease. xij is an important parameter for diagnostics describing a woman's body state.

When imparity (2) is hold for a testing group item, A1 or A2 is taken. It depends on value.

$$\lg \frac{\alpha}{1-\beta} < DC(x_1) + DC(x_2) + ... + DC(x_n) < \lg \frac{1-\alpha}{\beta} \quad (2)$$

Some thresholds are used to determine the current patient state - "healthy" or "ill".

The threshold for state A1 is a formula (3), the threshold for state A2 is a formula (4).

$$DC_{th}(A_1) = \lg \frac{1-\alpha}{\beta} \quad (3)$$

$$DC_{th}(A_2) = \lg \frac{\alpha}{1-\beta} \quad (4),$$

where α is an error of the first type, β is an error of the second type.[6]

The diagnostics coefficients for the training group are found as a result of this work.[4]

The diagnostic coefficients for women having the disease are presented in Table1. (the table contains only a part of parameters).

Table 1

Diagnostic coefficient

Parameters	Diapason of parameters	DC
Pain during checkup	0	0,23989325
	1	-0,0541879
	2	-0,0556879
Prolaktin	0	0,35799256
	1	-0,8144644
	2	-0,856844
Mother's disease	0	-0,6254082
	1	0,10116623
P_CNS	0	-0,2274682
	1	0,05696257

The thresholds are presented in Table2.

Table 2

Threshold

DC(A1)	0,97
DC(A2)	-1,255272505

Here is an example of diagnostics coefficients usage. There are two patients. One of them is healthy, another one has mastopathy.

1. The Patient Voronkova O.A. (healthy)

Table 3 contains the list of parameters and their characteristics. (the table contains only part of parameters).

Table 3

The first patient data

Parameters	Value of parameter	Diapason of parameter	DC
Pain during checkup	1	1	-0,05419
Mother's disease	0	0	-0,62541
P_SSS	1	1	0,014839
P_DS	1	1	0,018045
Estradiol	1	1	-0,03398
Prolaktin	1	1	0,67543

The sum of diagnostics coefficients is equal to -3,02376. It is less than the threshold -1,255, consequently, the patient Voronkova O.A is healthy.

2. The Patient Goncharova M.B. (she's ill)

Table 4 contains the list of parameters and their characteristics. (the table contains only a part of parameters).

Table 4

The second patient data

Parameters	Value of parameter	Diapason of parameter	DC
Pain during checkup	1	1	-0,05419
Mother's disease	1	1	0,101166
P_SSS	1	1	0,014839
P_DS	1	1	0,018045
Prolaktin	1	1	0,060597
Estradiol	1	1	0,056743

The sum of diagnostics coefficients is equal to 3,59. It is greater than the threshold 0,97, consequently, the patient Goncharova M.B. is ill.

To estimate the recognition procedure quality, all women from the testing group were tested. The sample size is 110 women. The recognition procedure quality is 87%.

Results. The mathematical methods are studied. Also the knowledge of parameters relation is got. The correlation coefficients are computed. Relations are identified for the disease symptoms. Inhomogeneous consistent recognition procedure is used to identify the disease. Diagnostics coefficients are estimated for the training group. The testing group was tested, in 87% cases real and experimental diagnose are the same.

Conclusion. This project work is actual. Any disease of mammary gland can be the reason of cancer. It's important to search approaches to recognize the disease. Therefore inhomogeneous consistent recognition procedure has a big practical meaning in medicine. This procedure is suitable in our case because the data is inconsistent. The real data given by experts of Medical University is tested. The doctors are satisfied with the quality of recognition. The recognition procedure quality is 87% therefore inhomogeneous consistent recognition procedure is suitable for usage.

References

1. Fokin B.A. Model' soglasovania biomeditcinskih dannyh i complex program dlya otsenki parametrov sostoyaniya biosistem. Tomsk. 2009. – 10 p (rus).
2. Artuhov V.G. Pantyavin A.A. matematicheskie metody v biologii: uchebno-metodicheskoe posobie. 2007. – 208p (rus).
3. Kalinina V.N. Vvedenie v mnogomernyy statisticheskiy analiz: uchebnoe posobie – GUU. – M., 2012. – 69p (rus).
4. Gerget O.M., Kochegurov B.A. Reshenie aktual'nyh meditsinskih zadach matematicheskimi metodami. Tomsk, TPU, 2002. – 20p (rus).
5. Kondratov A.A. statisticheskie podhody k analizu mnogomernyh getegogennyh biologicheskih system 1994. – 877p (rus).
6. Fokin B.A. Kriteriy otsenki sostoyaniya clognyh biosistem. – 2004. – 136p (rus).
7. The Free Encyclopedia [Electronic resource]. Access mode: http://ru.wikipedia.org, free.
8. Professional processing of data [Electronic resource]. Access mode: http://www.learnspss.ru, free.
9. Mastopathy [Electronic resource]. Access mode: http://www.mastopatii-net.ru/, free .
10. Brief Medical Encyclopedia [Electronic resource]. Access mode: http://www.golkom.ru, free.

APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS FOR MASTOPATHY DIAGNOSIS

Lukina Ekaterina Y.
Supervisors: Gerget O.M., Candidate of Engineering Sciences, Department of Applied Mathematics
Pichugova I.L., Senior Teacher of Foreign Languages Department
Tomsk, National Research Tomsk Polytechnic University
E-mail: lykone4ka@yandex.ru

Breast cancer takes the first place among women's oncological disease worldwide. About 60% of women with any gynecological pathology suffer from mastopathy (benign breast disease in women with the formation of tumors). Any breast disease is a direct source for the development of body cancer [1]. Development of the pathological process is as follows:

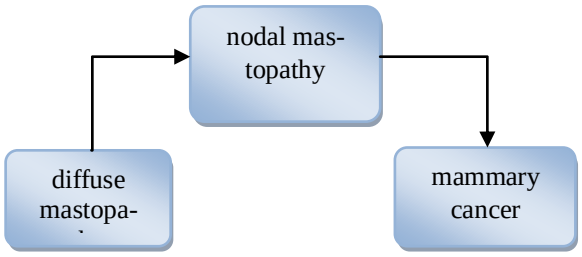


Fig. 1. The scheme of the pathological process

The percentage of mastopathy transition in cancer varies widely from 0.18% up to 31.2%, but it depends on the disease severity. No doubt, this problem is relevant today.

It is necessary to analyze a large number of features for monitoring of women's organism and in order to make out the correct diagnosis. There are various methods in mathematical statistics for this purpose. One of the methods is the method of pattern recognition, in particular, discriminant analysis. The main objective is to build a rule using sample surveys which allows assigning the new observation to one of the existing sets [2]. These are used along with the correlation method and the Shannon method. Accordingly, the main task of the research is finding of the discriminant functions. The main purpose is applying of mathematical methods in medicine.

Preliminary data analysis

This method is used to work with a sample of 767 women with various forms of mastopathy. The sample can be divided into 5 groups by the type of the disease: fibrous, cystic, mixed, glandular breast and the group without deviation (control group). Learning sample (510 women) and testing sample (257 women) were formed from the available sample.

The data were processed in Excel. The non-correlated data are important for the discriminant analysis. Therefore, the correlation analysis was used (Table 1) [4]. The correlation was calculated between the most informative parameters, which were found by Shannon method [5]. The number of the most informative indicators is 28 from DI up to EJ (Table 2).

Table 1. The coefficient of correlation between the informative parameters

	DI	DJ	DK	..	EJ
DI	1	0.01605	0.21074		0.5
DJ	0.01605	1	0.1612		0.11199
DK	0.21074	0.161232	1		0.22687
DL	0.39913	0.177239	0.11368		0.43065
DM	0.40835	0.446576	0.07082		0.10837
DN	0.02641	0.046414	0.0542		0.19653
DO	0.05971	0.219218	0.02059		0.01605
DP	-0.0947	0.084606	0.11385		0.00297
…	…	…	…		…
EJ	0.56484	-0.09454	0.06946		1

Table 2. Informative indicators

Name of indicator	Position in Excel
FSH	DI
LH	DJ
prolactin	DK
LG	DL
FSG	DM
DGA-S	DN
T4	DO
T3	DP
...	
Lymphocytes%	EI
Monocytes%	EJ

Based on the fact that the absolute values are < 0.5, we can conclude that the correlation between the studied indicators is small; it means that they are linearly independent. It's also necessary to check if the data are distributed normally. We use the density function of distribution for this purpose (1) [4].

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2n}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

where μ - mean value (expectation) of a random variable, σ^2 - variance. There is a sample of density distribution function for 10 indicators in fig. 2, all of them are distributed normally.

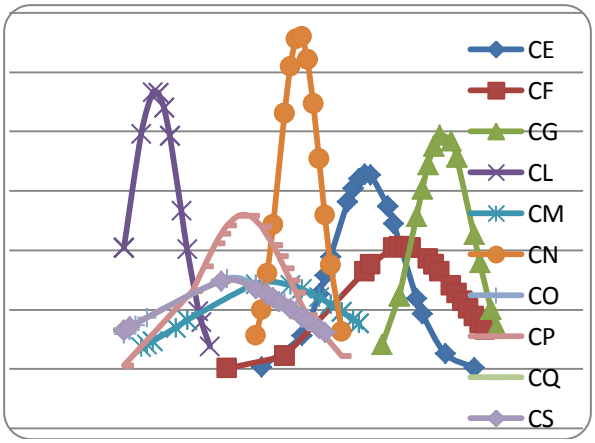


Fig.2. Density function for the 10 signs: CE - FSH; CF - LH; CG - prolactin; CL - progesterone; CM-testosterone; CN-DHA-s; CO-17-gprogesteron; CP - ACTH; CQ-cortisol; CS - TSH

Discriminant analysis

The values of input variables for the 5 groups of diseases recorded in matrices X(1), X(2), X(3), X(4), X(5), where i = 28 - the number of columns and j – the number of rows (the number of women in each class). We calculate the elements of a vector $\bar{X}_j^{(k)}$ of mean values of j-th characteristic for the i-th object for each k-th class (k = 5), which are represented as vectors $\bar{X}^{(k)}$ (the number of learning sample. For each of the five learning subsets we calculate covariance matrices Sk (dimension 28 × 28) by formula (2) [2].

$$S^{(k)} = \left(\frac{1}{n_k}\sum_{k=1}^{n_1}\left(X_{ik}^{(k)} - \bar{X}_i^{(k)}\right)\left(X_{jk}^{(k)} - \bar{X}_j^{(k)}\right)\right)_{p*p} \quad (2)$$

Next, we need to calculate the united covariance matrix by the formula (3).

$$\hat{S} = \frac{n_1 S^{(1)} + n_2 S^{(2)} + n_3 S^{(3)} + n_4 S^{(4)} + n_5 S^{(5)}}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 - 5}, \quad (3)$$

where n_i - the sample sizes for each class, $S^{(i)}$ - covariance matrix for each respective class. Next, we need to calculate the inverse matrix to the united covariance matrix (4).

$$\hat{S}^{-1} = \frac{\bar{\hat{S}}}{|\hat{S}|}, \quad (4)$$

where $|\hat{S}|$ – determinant of $\hat{S}$ (not equal to 0), $\bar{\hat{S}}$ – transposed matix of the cofactors. The k discriminant weight vectors are determined [6]:

$$w_k = \hat{S}^{-1}\bar{X}^k, \quad k = \overline{1,5} \quad (5)$$

Thresholds, which are presented as w_{ok} (6), minimize the probability of misclassification:

$$w_{ok} = -\frac{1}{2} w_k^T \bar{X}^k + \ln P_k, \quad (6)$$

where P_k – the existence probability of k-th class, w_k – the weight vector for that class. Then the discriminant function of the form is constructed:

$$g_k = w_k^T x + w_{ok}. \quad (7)$$

According to the threshold value formula (6), the threshold values for the 4 types of the disease are: w_{o1} = - *5,09* – fibrotic mastitis; w_{o2} = - *1,14* – cystic mastitis t; w_{o3} = - *6,1* – mixed mastitis; w_{o4} = - *2,7* – glandular mastitis; w_{o5} = - *1,7* – group of controls. According to the formula (7) five linear functions for each class are constructed. An example of such a discriminant function for the fibrotic mastitis and the control group:

S_1 = - *5.09* - *0.11*x_1 + *0.09*x_2 - *0.04*x_3 + *19.77*x_4 + *0.1*x_5 - *0.97*x_6 - *8.29*x_7 - *0.02*x_8 - *0.01*x_9 + *0.03*x_{10} + *0.19*x_{11} - *0.28*x_{12} + *0.07*x_{13} + *0.20*x_{14} - *0.17*x_{15} - *0.13*x_{16} + *0*x_{17} - *0.29*x_{18} + *0.85*x_{19} - *0.10*x_{20} + *0.196*x_{21} + *0.13*x_{22} - *0.22*x_{23} - *0.11*x_{24} + *1.56*x_{25} - *0.55*x_{26} + *0.59*x_{27} – *0.4*x_{28};

S_5 = - *1.7* + *0.11*x_1 - *0.13*x_2 - *0.04*x_3 + *0.84*x_4 - *0.72*x_5 + *2.38*x_6 - *1.84*x_7 + *0.21*x_8 + *0.03*x_9 + *0.03*x_{10} + *0.14*x_{11} - *0.14*x_{12} + *0.18*x_{13} + *0.3*x_{14} + *0.09*x_{15} - *0.07*x_{16} - *0.54*x_{17} + *0*x_{18} + *0.02*x_{19} + *0.12*x_{10} - *0.06*x_{21} - *0.16*x_{22} - *0.08*x_{23} + *0.07*x_{24} + *0.03*x_{25} - *0.08*x_{26} + *0.18*x_{27} - *0.6*x_{28}.

Diagnostic decision is based on the variable substitution in discriminant functions. The diagnosis is made out according to the highest value of the discriminant function.

The received decision rules in the form of discriminant functions provide recognition accuracy 84% for the complete set of the original diagnostic information.

Discriminant functions will assist doctors to make a correct diagnosis of one of the types of the disease. Doctors could use the available functions with the results of patient tests and determine what form of the mastitis a patient has. In the future we plan to acquire other mathematical techniques to analyze the data in depth and try to write our own computer program.

References

1. Gerget O.M., Kochegurov V.A. Solving urgent medical problems by mathematical methods. – Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2002. – 20.
2. Factor, discriminant and cluster analysis: Per. from English. / J.-O. Kim, C.W. Myuller, W.R. Klekka and others, ed. J.S. Enyukova. – Moscow: Finance and Statistics, 1989. – 215 p.
3. Kalinin V.N. An introduction to multivariate statistical analysis.: Tutorial – SUM. – M., 2010. - 66.
4. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics: A manual for schools. – The 10th edition, stereotype. – M.: High School, 2004. – 479 p.
5. Selection of informative features. Rating informative. Methodical instructions for laboratory work in the discipline "methods of processing of biomedical data" for bachelors in 553400 "Biomedical Engineering" / Comp. IS Golovanov. – Tomsk: Tomsk. TPU, 2003. – 18.
6. Meshalkin L.D., Theoretical results of classification in the presence of training samples (discriminant analysis) / / Applied Statistics: Classification and reduction of dimension. -M.: Finance and Statistics, 1989.

APPLYING STATISTICAL ANALYSIS METHODS FOR IDENTIFYING CHARACTERISTICS OF DIFFERENT FORMS OF BRONCHIAL ASTHMA

Y.D. Melnikova
Scientific supervisor : O.G. Berestneva, professor
Language supervisor: Pichugova I.L., senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia
Email: julia_meln@mail.ru

Nowadays mathematical methods in medicine close up with cybernetic and information methods, that allow obtaining more accurate conclusions and recommendations, introduce new facilities and treatment modes and diagnostics. Statistical methods of data processing are widely used by medical persons, it facilitated by that fact that standard packages of application programmes ensure processing main operations of statistical data processing.

Asthma is a disease characterized by inflammation of the bronchial tubes. A primary treatment for asthma is reducing inflammation through medications such as prednisone, thereby increasing oxygen flow.

Bronchial asthma remains a worldwide problem. Up to 7-10 % of population in developed countries has asthma. Every 3 minutes 1 patient dies in the world due to asthma. Two thirds of patients with asthma doubles and reasons of this are not known.

One of the most popular statistic tasks is a task of comparing the results of examination any indication in different conditions of measuring (i.e. before and after some influence) or examination control and experimental group. Moreover, often there is necessity of estimation the nature of any psychological characteristic in one or in several groups in different time periods or to detect dynamics of this characteristic by influence of experimental effect. There are a lot of statistical methods, which are called criterias of differences. These criteria allow estimating authenticity of statistical differences between different characteristics [1].

The goal of this work was to identify if psychological and physiological indices of bronchial asthma patients with different types of diagnosis before and after audio-visual stimulation are different or not.

That is, there is a task of estimating authenticity of statistical differences, using one of statistical criteria.

Regularity was explored by 83 patients who did different medicine and psychological tests, all results and data was put together in one file (fig.1). It is information about psychological and physiological condition of patients. Patients are divided into groups according to diagnosis. There are for forms of bronchial asthma:

- BANP – bronchial asthma no psychogenic
- BASP – bronchial asthma somatical-psychogenic
- BAPI – bronchial asthma psychogenic - induced
- PD – psychogenic dyspnea

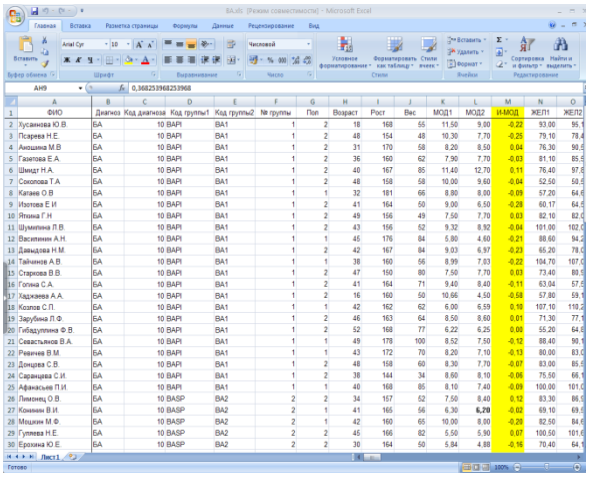


Fig.1 A fragment of the experimental data bases

First of all it is necessary to select one of statistical criteria. We should to compare 2 variables from one sample: medical indexes of patients before and after treatment with the help of audio-video stimulation.

In this case Wilcoxon test is used. The Wilcoxon signed-rank test (T - test) is a non-parametric criteria for the case of two related samples or repeated measurements on a single sample. The test is named for Frank Wilcoxon. It allows establishing direction and intensity of changes. These criteria have such algorithm:

1. State the null hypothesis - in this case it is that the median difference, M, is equal to zero.
2. Calculate each paired difference, $d_i = x_i - y_i$, where x_i, y_i are the pairs of observations.
3. Rank the d_is, ignoring the signs (i.e. assign rank 1 to the smallest $|d_i|$, rank 2 to the next etc.)
4. Label each rank with its sign, according to the sign of d_i.
5. Calculate W+, the sum of the ranks of the positive dis, and W−, the sum of the ranks of the negative d_is. (As a check the total, W+ + W−, should be equal to $\frac{n*(n+1)}{2}$, where n is the number of pairs of observations in the sample).

Under the null hypothesis, we would expect the distribution of the differences to be approximately symmetric around zero and the the distribution of positives and negatives to be distributed at random among the ranks. Under this assumption, it is possible to work out the exact probability of every possible outcome for W. To carry out the test, we therefore proceed as follows:

6. Choose W = min (W−, W+).
7. Use tables of critical values for the Wilcoxon signed rank sum test to find the probability of observing a value of W or more extreme. Most tables give both one-sided and two-sided p-values. If not, double the one-sided p-value to obtain the two-sided p-value [2].

For realization of this mathematical method we chose such statistical package as STATGRAPHICS, that perform and explain basic and advanced statistical functions. This package have statistical advisor (StatAdvisor)(Fig.2), which interprets derived results, defines important effects or show possible defects of analyzing.

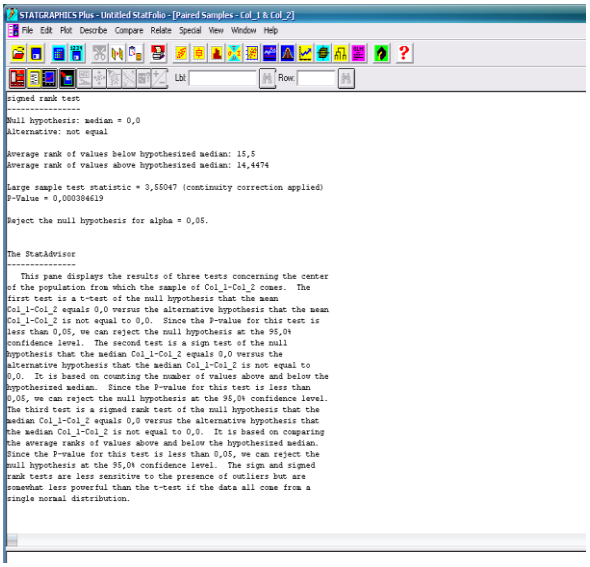


Fig.2 StatAdvisor

Thereby, comparison of psychological and physiological indices of bronchial asthma patients with different types of diagnosis before and after audio-visual stimulation was realized in statistical package STATGRAPHICS, using Wilcoxon test.

At the result of this work statistical criteria was chosen and realized for analyzing such experimental medical data as psychological and physiological indices bronchial asthma patients with different types of diagnosis.

The research was led with help of Wilcoxon test. This method was realized in statistical package STATGRAPHICS. For the reason of this test, the table with results was composed (fig.3). This table includes information about significance label (p). Afterwards data in the table was analysed.

For the reason of derived results was made conclusions about the influence of audio-visual stimulation on patients with different types of bronchial asthma diagnosis: the greatest changes after the course of audio-video stimulation was noticed at patients with BAPI diagnosis. The lowest influence was exerted on patients with PD diagnosis.

The results of this research were transferred to the hospital №3 for further analysis.

	BAPI	BASP	BANP	PD
	p	p	p	p
TAS 1-2	0,1922	1,0	0,9999	0,9999
SHIXAN	***0,0366***	0,2282	0,3458	0,9999
LT 1-2	1,0	0,6625	***0,0023***	***0,0041***
PT 1-2	***0,0074***	0,4717	0,4616	0,7236
DCYNG 1-2	***0,0354***	0,3262	0,6966	0,5298
DBEK1-2	***0,00013***	***0,0100***	***0,017***	0,0228
IZS Z1-2	***0,000024***	***0,0221***	***0,0131***	***0,0068***
IZS -H1-2	***0,00019***	0,0549	0,0848	***0,0240***
IZS G1-2	0,9999	0,7935	0,9999	0,1576
FIZS 1-2	***0,0012***	0,0608	***0,0205***	0,2090
IZS E1-2	***0,0003***	***0,0234***	***0,0348***	***0,0304***
IZS D1-2	***0,0035***	0,1978	0,3603	0,1075
IZS C1-2	***0,00004***	0,0056	***0,0085***	0,1435
IZS B1-2	***0,0483***	0,6312	0,1114	0,2711
IZS A1-2	***0,00022***	0,1904	***0,0116***	0,3068
MIL 01-02	1,0	0,9999	0,4105	0,7238
MIL 9	***0,0004***	0,9999	0,4495	0,2731

Fig.3 The fragment of table with results of T-test

References

1 O.G. Berestneva, E.A. Muratov, A.M. Uruzaev Computer analysis of the data.-T: TPU, 2003. – 210 p.
2 E.V. Gubler, A.A. Genkin Application non-parametric statistical criterias in medical and biological researchers. - L: Medicine,1973. -180 p.
3 A.I. Orlov Applied statistic.-M:Exam, 2006.-67p.
4 V.V. Glinsky, Jonas V., Statistical analysis of the data.- M:Exam, 1998. – 187p.
5 S.V. Dronov Mathematical methods in psychology. S-Pt:Social-psycological centre, 1998. – 137p.
6 I.M. Gelfand, B.I. Rozenfeld, M.A. Shifrin The sketches about cooperative labor of mathematicians and doctors. - M: Editorial, 2005. –320p.
7 V. V. Nalimov The theory of the experiment. -M: Science, 1971. -198 p.

DEVELOPMENT OF THE REFLECTION-TYPE PULSE OXIMETER

T.S. Uglov , N.D. Turgunova, G.A. Baimuhanova
Superviser: Aleinik A.N. PhD
National Research Tomsk Polytechnic University 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: tikhonte@mail.ru

Near-infrared tissue oximeter is usually used to measure the oxygen metabolism in cells, capillaries and veins [1-5]. The non-invasive measurement of arterial oxygen saturation by pulse oximetry has become a standard of care in many areas of clinical medicine. Tissue hypoxia of one organ may lead indirectly to dysfunction or failure of distant organs through the release of mediators and various toxins [6]. In the case of bowel ischaemia, the loss of mucosal barrier function results in bacterial translocation and endotoxin absorption into portal blood which can amplify the systemic inflammatory response following surgery [7,8]. This may ultimately contribute to the development of multiple organ failure, which remains a common cause of death and morbidity following major surgery despite advances in intensive care management.

The transmission pulse oximeters have been widely used in clinical applications. However, they can only be applied to fingertip or earlobe through which the light can be transmitted. The reflectance oximeter has the advantage of being applicable to any portion of the body. During open-heart surgery reflectance pulse oximetry gives an earlier response at lower perfusion pressures than transmission pulse oximetry because the sensor can be applied on more centrally located areas, such as the head. Reflectance oximeters are more complex because they increase the scattering of light and have not gained wide popularity because of that. The major practical limitation of reflectance pulse oximetry is the comparatively low-level photoplethysmograms recorded from low-density vascular areas of the skin.

Noninvasive monitoring of arterial hemoglobin oxygen saturation (SaO_2) is based on the different absorptions between oxyhemoglobin (HbO_2) and deoxyhemoglobin (Hb) measured at two wavelengths. Typically, a red wavelength of 660 nm, where the absorption by Hb and HbO_2 is significantly different, and an near-infrared wavelength of 830 nm which is very close to isobestic wavelength of 805 nm, are used in the optical sensor. Usually, a normalization is performed by dividing the pulsatile (AC) component of the red and infrared light signal by the corresponding nonpulsatile (DC) components. This yields a normalized $(AC/DC)_{red}/(AC/DC)_{infrared}$ ratio R, which was shown to be linearly related to the oxygen saturation of the arterial blood (SaO_2).

Sensing an arterial pulse is necessary to pulse oximetry. The pulsatile variation in light returning to a detector at the tissue surface results from arterial blood flow at systole, and provides a means of isolating the contribution of arterial blood to the overall light absorption. The photoplethysmograph (PPG) signal is related to the arterial blood flow by the optical behavior of light in tissue.

Reflectance oximeter is developed in the Applied Physics Department TPU. Block diagram of the reflection-type pulse oximeter is shown in Fig.1. The system consists of the optical transducer, receiving part and the data acquisition system. The entire system is designed around an Atmega-16 microcontroller. Data are retrieved via a 10 bit A/D converter which accepts the sensor output and digitizes it. Each LED is connected to a multiplexed output of the current driver and strobed in sequence after which a delay time occurs.

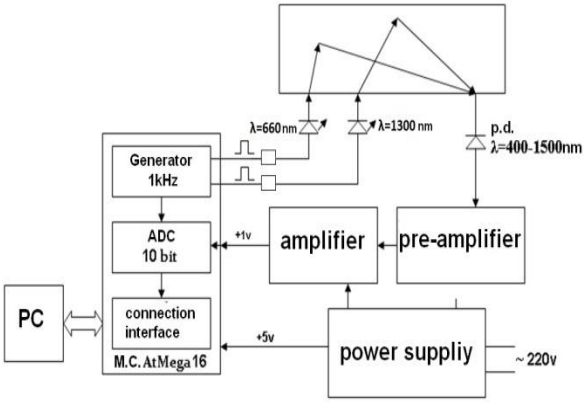


Fig.1. Block diagram of the pulse oximeter

The first goal is to extract the AC signal by eliminating the DC component. This extraction process is executed by the OPA unit.

The ambient light is considered to be 50 Hz and usually its harmonic n `oise, such as 100 Hz. Normally, the information in a photoplethysmographic signal resides in the range of 0-30 Hz. According to the Nyquist-Shannon sampling theorem, the lower bound of the sampling frequency is then 60 Hz, but to prevent frequency aliasing caused by ambient noise, sampling frequencies of 240 Hz or higher are required.

The infrared value is more prominent than the red one, because its scattering less. Usually the LEDs are controlled directly the by the voltage. The drawback of this method is dependence of light amplitude on temperature. To avoid this drawback the constant current source is designed.

The readings of the red and infrared Leds, recoded by the acquisition system are shown in Fig.2.

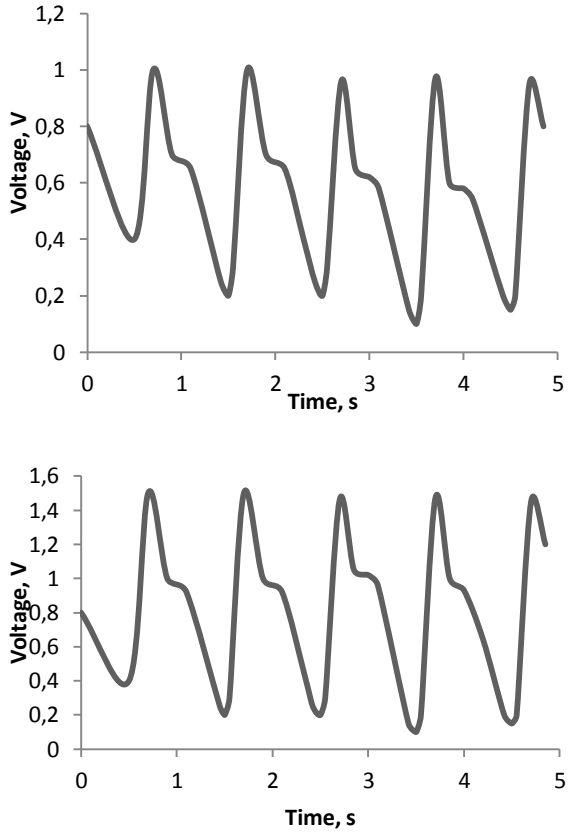


Fig.2. Measured red and infrared signals

Initial laboratory evaluations of the pulse oximeter included SpO2 measurements. The Sensor Module was positioned on the forehead using an elastic headband. Baseline recordings were made while the subject was resting comfortably and breathing at a normal tidal rate. Two intermittent recordings were also acquired while the subject held his breath for about 30 seconds. Fig. 3 displays about 4 minutes of SpO_2 recordings acquired simultaneously by the sensor.

To improve the signal to noise ratio some kind of filter should be implemented. The moving average is used as a noise reduction filter. The moving average has a good physical foundation and is easy to implement in the macros used for analyzing the measured data.

Measurements in reflectance mode have been performed. The reproducibility and the ability to measure saturations have been investigated.

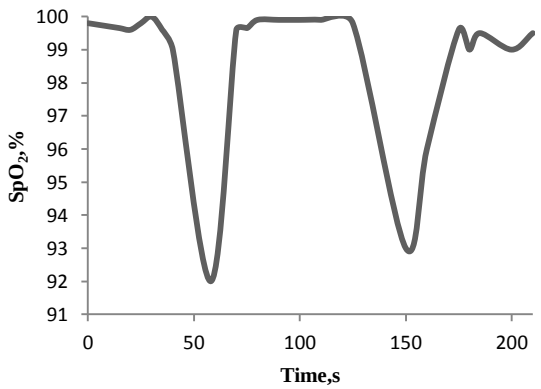


Fig.3. Typical recoding of hypoxic episodes

References

1. K.Miyasaka T. Aoyagi. "Pulse oximetry: Its invention, contribution to medicine, and future tasks". //Anesthesia and Analgesia – v94 – p1-3 – 2002.

2. Naoto Kakuta Yukio Yamada Keisuke Matsushita, Kazuo Aoki. "Fundamental Study of Reflectance Pulse Oximetry // Optical Review – v10(5) – p482-487 – 2003.

3. J.G.Webster. Design of Pulse Oximeters. //Institute of Physics Publishing – 1997.

4. T. Ida K, Itakura M. Nogawa, C. Ohing and S. Takatani. "A new Hybrid Reflectance Optical Pulse Oximetry Sensor for lower oxygen saturation measurements and for broader clinical application". //SPIE – p78-87 – 1997.

5. B. L. Yocum Y. Mendelson, J. C. Kent and M. J Birle. "Design and Evaluation of a New Reflectance Pulse Oximeter Sensor" //Medical Instrumentation – v22 (4)– v167-173 – 1988.

6. Crerar-Gilbert AJ, Kyriacou PA, Jones DP and Langford "Assessment of photoplethysmographic signals for the determination of splanchnic oxygen saturation in humans" // Anaesthesia – v57 – p442-45 – 2002

7. Rittoo D, Gosling P, Bonnici"Splanchnic oxygenation in patients undergoing abdominal aortic aneurysm repair and volume expansion with elo-HAES"// Cardiovascular Surgery – v10– p128-133 – 2002

8. Koch T, Geiger S and Ragaller " Monitoring of organ dysfunction in sepsis/systemic inflammatory response syndrome" // Novel strategies J AM Soc Nephrol–v12 – p53-59 –2001

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

SECTION 1. POWER INDUSTRY

ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ
Манусов В.З., Александров Н.В. ……5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ РАДИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
Анисимова Н.В. ……7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
Анисимова Н.В. ……9

КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 35-110 КВ
Аристархов М.Ю. ……..11

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА
Барвинок М.Б. ……13

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНОФОРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ
Белоножко А.В., Соколова Р.А. ……15

ЭКСПЕРТНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МЕТЕО-ФАКТОРОВ ДЛЯ МОДЕЛИ ГИБКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ
Бойко К.Н., Манусов В.З. ……17

СТЕНД ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ДАЛЬНИХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧАХ
Бондарь В.В., Курбанов Т.Р. ……19

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАЦИЙ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
Валь П.В., Торопов А.С. ……21

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
Войтенко Н.В., Иванов Н.А., Ларионов Д.В. ….23

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
Воронин В.А. ……..25

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
Гайнуллин И.Ж., Шилов П.В. ……..27

ТРЁХФАЗНЫЙ МОСТОВОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ С КОРРЕКЦИЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ
Горбунов Р.Л., Посконный Г.И. ……29

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)
Гусев В.М. ……...31

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОФФШОРНОГО ВЕТРОПАРКА В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ
Данюкин Н.И. ……33

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПАКЕТЕ MATLAB
Динь Ван Тай……...34

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОДОВ НА ЭЛЕКТРО-ИМПУЛЬСНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД
Дмитриев Д.О., Дацкевич С.Ю., Журков М.Ю. ……36

ПРИМЕНЕНИЕ MODEL-BASED CALIBRATION TOOLBOX ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОТУРБИН
Дорошенко А.В. ……38

АВТОНОМНЫЙ СВЕТОДИОДНЫЙ УЛИЧНЫЙ ФОНАРЬ
Евстафьев В.А., Майкова О.В……..40

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО РАСТЯЖЕНИЙ КОЛЬЦЕВОГО ПРОВОДА ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА СОБСТВЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ, ВЫЗВАННЫМ ПРОТЕКАЮЩИМ ПО НЕМУ ТОКОМ
Елгина Г.А., Васильева О.В., Лавринович А.В. ……42

РАСЧЕТ ЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ОБМОТОК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ТРАНСФОРМАТОРА НАНО-СЕКУНДНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ
Елгина Г.А., Васильева О.В. …….44

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОСЕЛКА ЯЙЛЮ ОТ АВТОНОМНОЙ СОЛНЕЧНО-ДИЗЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
Им Е.Т. ……46

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ РЕАКЦИИ УЗЛА НАГРУЗКИ
Карджаубаев Н. А……..48

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕНЕРАТОРА НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИМПУЛЬСА
Клюева Ю.М……50

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
Козимиров А.В. ……52

ВЛИЯНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ НА ВЕЛИЧИНУ УДЕЛЬНОГО ПЕРЕХОДНОГО КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
Колганова Ю.Л., Шаненков И.И., Сайгаш А.С. ….54

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
Манусов В.З., Крепышев И.С. …….56

АНАЛИЗ СОСТАВА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ
Крылов В.Н. ……58

ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАТОРОВ ДЛЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ НАНО-СЕКУНДНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ
Лавринович А.В., Васильева О.В. ……60

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ЧЕТЫРЕХ КОНДЕНСАТОРНО-КОММУТАТОРНЫХ СБОРОК «НСЕIcap 80-0.25»
Ленский А., Лавринович И.В., Артемов А.П. ……62

ПРЕИМУЩЕСТВА СОВМЕСТНОГО СООРУЖЕНИЯ АТОМНЫХ И ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ
Лешко В.А. ……64

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ
Башкова О.А., Лоскутова М.П. ……66

ИМПУЛЬСНЫЙ КОРОННЫЙ РАЗРЯД В ВОДО-ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ И ЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
Маринин С.А. ……68

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОГО ПРОБОЯ В БУРЫХ УГЛЯХ
Мартемьянов С.М., Бухаркин А.А., Коряшов И.А. ……70

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВО НА ОСНОВЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В $CaCl_2.6H_2O$
Масиаб А.Г.Н. ……72

АНАЛИЗ, ТРЕБОВАНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ К ПОСТРОЕНИЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ
Матюшева О.В. ……..74

МЕТОДИКА РАСЧЕТА АКТИВНОГО RC-ФИЛЬТРА ВЕРХНИХ ЧАСТОТ
Матюшев В.Л. ……76

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА АГРЕГАТОВ ГЭС НА ОСНОВЕ ПРОЦЕДУРЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ
Митрофанов С.В. ……78

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ
Нгуен Данг Куанг ……..80

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТО-ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK
Нгуен Минь Дык ……82

АВТОНОМНЫЙ СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТОФОР
Нежурко М.Г., Майкова О.В. ……..84

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИКИ ОГРАНИЧЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ
Никитин А.В. ……86

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НАНО-СЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ
Ротарь С.В., Ермоленко Н.С. ……88

ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ФАЗ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА В ГИПЕР-СКОРОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ
Свечканева А.А. ……90

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СЕРИИ КОНТРОЛЛЕРОВ WOODWARD EASYGEN ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРНЫХ УС-ТАНОВОК
Суворов А.А. ……..92

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РАЗВИТИЯ УСТРОЙСТВ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ
Суховеев Н.О., Иванов А.В., Федоров А.В. ……94

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МИНИГЭС ДЛЯ СТОКОВ НАСОСНО ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ СТАНЦИИ ГОРВОДОКАНАЛА Г.НОВОСИБИРСКА
Тимошенко Е.Н. ……96

ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ НИВИЭ В НОВОСИБИРСКЕ
Федан В.Н. ……..97

ОЦЕНКА СВЕТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ С ПОЗИЦИЙ ЭКОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ (на примере центральной части г. Томска)
Толкачева К.П. ……99

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ ИОННОГО ПУЧКА, ФОРМИРУЕМОГО ДИОДОМ С МАГНИТНОЙ САМОИЗОЛЯЦИЕЙ
Хайлов И.П., Исакова Ю.И. ……101

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЭУ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ
Халдаров Ш.К. ……103

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГУЛИРУЕМОЙ БАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКИ
Хошнау З.П. ……105

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЕЙ НА ВЕЛИЧИНУ ЭКВИВАЛЕНТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
Шагидуллин А.В., Рыбакова А.В. ……..107

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА С ПОМОЩЬЮ ГРАФИТОПОДОБНЫХ УГЛЕРОД-АЗОТНЫХ СТРУКТУР
Шатрова К.Н. ……109

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ
Шевцов Д.Е., Павлюченко Д.А. ……111

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЗАЩИТ ОТ ПЕРЕГРУЗОК СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ
Яворский В.П. ……...113

IMPLEMENTATION OF POWER QUALITY ANALYZER IN SIMULINK
Sadyrov M.A. ……115

СЕКЦИЯ 2. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

SECTION 2. INSTRUMENT MAKING

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТ С ЧИПАМИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И УСТ-РОЙСТВА ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ
Азин А.В., Марицкий Н.Н., Пономарев С.А. …119

РАЗРАБОТКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА КОРИОЛИСОВОГО РАСХОДОМЕРА
Баландин Е.А., Баландина Т.Н. ……...121

АНАЛИЗ ОСЛАБЛЕНИЯ СИНФАЗНОГО СИГНАЛА В ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЯХ
Баранов П.Ф. ……123

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР
Барбин Е.С., Коледа А.Н. ……125

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОАКСИАЛЬНЫХ ШУНТОВ
Бедарева Е.В. ……127

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ МАССОВО-ЭНЕРГИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТИП D, ОТ УКАЗАННЫХ В СТАНДАРТЕ ASTM A956, НА ПОКАЗАНИЯ ТВЕРДОМЕРОВ
Бизяев В.О., Сясько В.А. ……129

СПЕКТРОМЕТР ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ПОЗИТРОНОВ
Бордулёв Ю.С., Лаптев Р.С. ……131

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПО МЕТОДУ SAFT
Буй Ван Донг ……133

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА
Бурганова С.Я, Барбин Е.С., Коледа А.Н. ……135

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН
Бурков М.В. ……..137

СТУДЕНЧЕСКИЙ МАЛЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ
Васильев Е.Н. ……..139

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕТЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО И СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗОВ
Васина А. Н., Кукушкин В. М.,
Никифоров И. В. ……...141

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ГЕНЕРАТОР СТАБИЛЬНОГО ТОКА ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ
Видякин С.И., Аристова В.А. ……142

ИСТОЧНИКИ НАКАЛА ДЛЯ ТИРАТРОНА В СХЕМАХ НАКАЧКИ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРОВ
Власов В.В., Тригуб М.В. ……..144

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АГРЕГИРОВАНИЯ ПРЕДПОЧТЕНИЙ В МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЯХ
Воробьева Н.В., Маринушкина И.А. ……146

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА
Вторушин С.Е. ……..148

РАСЧЕТ ПОЛОГО ЗЕРКАЛЬНОГО ФОКОНА
Вуец Т.Р., Овчинников В. А. ……150

ДАТЧИКИ ХОЛЛА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ
Григорьев М. Г., Вавилова Г.В. ……152

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОЙ КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
Гурьянова А.О., Худоногова Л.И. ……..154

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЙ НИЗКООМНЫХ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО СВЕТОДИОДА
Жидик Ю.С., Ватюк А.А. ……156

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ЦИФРОВОГО (ЦИМ-1.1)
А. А. Заикина, Е. С. Рункова ……158

СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ
Измайлова Е.В. ……160

ЛАЗЕРНО-АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ
Исмагилов И.Р., Хасанов А.А. ……..162

ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕТОДИОДНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ
Исупова О.В. ……164

ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕНОСА ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ПРОЕКЦИОННОГО МИКРОСКОПА
Карюгин К.Л., Тригуб М.В., Торгаев С.Н. ……166

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРО-МЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА
Коледа А.Н., Барбин Е.С. ……168

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА НА ДИОДЕ ГАННА В КАЧЕСТВЕ ПЕРЕДАТЧИКА СИСТЕМЫ СВЯЗИ
Кочумеев В.А., Гопоненко А.С.,
Трубачев А.А. ……170

ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ИНФРАКРАСНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
Кутин Н.А., Павлов И.В. ……172

ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА
Красников И.В., Тригуб М.В., Губарев Ф.А. …174

ДАТЧИК УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА МАКЕТА ШАРОВОГО ГИРОСКОПА
Кузьма А.А. ……..176

СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ
Литвишко Е.С., Горешнев М.А. ……178

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МАГНИТНОГО ВАКУУМА
Огай В.Е., Баранов. П.Ф. ……180

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ПОДЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ
Полякова А.В., Поляков М.В. ……182

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРАНСФОРМИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОРА
Пономарев В. С. ……..184

ЛУПРОВОДНИКОВЫЙ КОММУТАТОР ДЛЯ НАКАЧКИ CuBr-ЛАЗЕРА
Порохов Е.С., Нехорошев В.О.,
Чертихина Д.С. ……186

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ВИХРЕТОКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА
Пургин А.П. ……188

НОРМИРОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЦИФРОВОГО ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА
Спиридонова А.С., Рункова Е.С.,
Заикина А.А. ……190

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ПЕРВИЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА
Семенцов А.О. ……192

ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ – ОБЗОР МЕТОДОВ И НОВЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
Симоненко А.А. ……..194

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСТНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПОСРЕДСТВОМ УЧЕТА СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ
Скрипка О.А., Ганин А.В. ……..196

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГАЗОВЫХ СРЕД
Сухарников К.В., Губарев Ф.А.,
Суханов В.Б. ……198

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МАРГАНЦА С ВНУТРЕННИМ РЕАКТОРОМ ГАЛОГЕНИДА
Тригуб М.В., Шиянов Д.В. ……200

КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕРКИ МАГНИТОМЕТРОВ ИНКЛИНОМЕТРА
Ульянов И.А. ……202

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК
Ходыревская Ю.И., Квасников К.Г. ……..204

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ ОТ ВЕСОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛИ В ВОДЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВАННЕ
Чапайкина А.В. ……206

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНДУКТИВНО-РЕЗИСТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОД-НАПРЯЖЕНИЕ
Чебуренко Д.С. ……208

ГЕНЕРАТОРЫ СИНУСОИДАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
Четвериков М.А. ……..210

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ ИЗ ОБРАЗЦА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ
Хорсов П.Н. ……..212

MICROWAVE MOISTURE METERING OF AGRICULTURAL PRODUCTS
Buyantuev V.V. ……214

DEVICE FOR CONTROL OF THE HORIZONTAL BOREHOLE POSITION
Golodnykh E.V., Borikov V.N. ……217

PROCESSING OF THE IMAGES OBTAINED BY LASER MONITOR
Dashinimaeva E.Z., Trigub M.V. ……219

DIGITAL AUTOMATIC LEVEL CONTROL SYSTEM DESIGN
Demyanovich D.N. ……221

ELECTROMECHANICAL ACTUATOR BASED ON ELECTRIC MOTOR-SPEED REDUCER-FLYWHEEL MECHANICAL SYSTEM FOR ATTITUDE CONTROL OF SMALL SATELLITE
Polyakov M.V., Polyakova A.V. ……..223

REMOTE CALIBRATION USING LABVIEW VIRTUAL INSTRUMENT TECHNOLOGY
Khudonogova L.I. ……..225

THE CALCULATION OF TEMPERATURE FIELD OF FLUXGATE SENSOR CONTROLS THE MAGNETIC ENVIRONMENT OF THE QUANTUM COMPUTER
Khusnulina A.L. ……227

MAGNETIZING CURRENT RESTRICTION
Beykov M.V. ……..229

СЕКЦИЯ 3. ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

SECTION 3. TECHNOLOGY, EQUIPMENT AND MACHINE-BUILDING PRODUCTION AUTOMATION

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РУЖЕЙНЫХ СВЁРЛ ДИАМЕТРОМ 2,22ММ
Бабаев А.С. ……233

ВЛИЯНИЕ «СУХОГО» ПОЛИРОВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТВЁРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА
Бабаев А.С., Шаповалов К.Ю. ……235

ВРАЩАЮЩАЯСЯ ЭЛЕКТРОДНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЧИСТКИ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫМ МЕТОДОМ
Байменшин А.М., Журавлев М. В., Шубин Б. Г. ……..237

ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ И ЧИСЛА ПРОХОДОВ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКЕ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ Р6М5
Белобородов Е.О., Хамматов А.Н. ……239

СИСТЕМА ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЗКИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ 5-КООРДИНАТНЫХ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ
Бессараб А.С. ……..241

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗВЕРШИННОГО РЕЗЦА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОСОУГОЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ
Вербицкая О.Ю., Филиппов А.В. ……..243

ОБОРУДОВАНИЕ ПОГРУЖЕНИЯ ЗАБИВНЫХ СВАЙ
Всяких К.А. ……245

СОЗДАНИЕ ПРИКЛАДНОЙ БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ В СРЕДЕ КОМПАС-3D
Висторопский А.Д., Жохов Р.В. ……247

РЕЗИДЕНТНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ
Горелова А.Ю., Кристаль М.Г. ……..249

ПРОБЛЕМЫ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ В НАЧАЛЕ ТРЕТЬЕГО ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ
Едешева Ч.В. ……251

КАРБИД VC В FE-CR-V-MO-C ПОКРЫТИИ
Зеленков А. А, Дегтерёв А.С. ……253

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ С ЗАЦЕПЛЕНИЕМ ПОСРЕДСТВОМ ТРЕТЬЕГО ТЕЛА И НЕПОДВИЖНЫМИ ОСЯМИ
Ивкина О.П., Черемнов А.В. ……255

БУРОВЫЕ МАШИНЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ГИДРОУДАР
Коровкин П.В. ……257

ОБЗОР НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ КОРОБОК ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ
Лазуркевич А.В., Пашков Е.Н., Черемнов А.В. ……259

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК
Литовко И.Ю. Кузьменко А.П. ……..261

НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ШЕСТЕРЕНЧАТЫХ НАСОСОВ
Массон И.А. ……263

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНО-ДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ 15-689
Мищенко В.О., Прудников Е.С. …….265

ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
Боголюбова М.Н., Охотин И.С. …….267

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕПАРАТОРА ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
Плеханов М.С., Ильин А.С. ……269

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНУТРИТРУБНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ТРУБОПРОВОДОМ
Плечёва Ю.В., Захаров Д.А. ……271

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРЯГАЕМЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ИХ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ
Плешаков А.А., Полякова М.В.,
Кристаль М.Г. ……..273

ГИДРОИМПУЛЬСНЫЙ МЕХАНИЗМ В РАБОТЕ СВАЕБОЙНОЙ МАШИНЫ
Пономарев А.В. ……275

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РУЧНОЙ МАШИНЫ ЭЛЕКТРОБУР С РЕДУКТОРОМ С ПРОМЕЖУТОЧННЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ
Разумов С.В. ……277

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ПРОФИЛЯ ПРОДОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ
Решетникова Е.П. ……279

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОВОРОТНО-КООРДИНАТНОГО СТОЛА
Симачева А.В. ……..281

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ЛЕБЕДКИ С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ
Степанова Д.Л. ……283

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО СЕПАРАТОРА С КРЫЛЬЧАТКОЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ
Тимербаев А.С. ……285

НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ГИДРОМЕХАНИКИ
Тыршкин Е.В. ……..287

ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ГЕРМЕТИКА СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ
Филонина Е.А. ……289

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ДВИГАТЕЛЯ БУРИЛЬНЫХ МАШИН
Юровский П.Г. ……291

ТОЧЕНИЕ СТАЛИ ШХ15, ИНСТРУМЕНТОМ С ВЫСОКО-КАЧЕСТВЕНЫМ ЛЕЗВИЕМ ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК6-ОМ
Реченко Д.С., Кисель А.Г., Титов Ю.В. ……293

EFFECT OF FINISHING PLASMA HARDENING ON STRUCTURAL-PHASE STATE AND MICROHARDNESS OF STEEL R6M5
Yeskermessov D.K., Rakhadilov B.K.,
Grechanick A.D. ……295

MODIFICATION OF STAINLESS STEELS SURFACE LAYERS BY NITRIDING, CARBONITRIDING AND CEMENTATION WITH ELECTROLYTE PLASMA
Y.Zamanbekuly, Sh.Kurbanbekov,
Y.Tabieva ……..297

CHANGES OF MICROSTRUCTURE AND MICROHARDNESS STAINLESS STEELS AFTER NITRIDING AND CARBONITRIDING
Tabiyeva Y.Y., Kurbanbekov Sh.R.,
Zamanbekuly Y. ……299

APPLICATION OF ELECTROLYTIC-PLASMA PROSSECCING FOR STEEL 20'S PHYSICAL CHARACTERISTICS INCREASING
Podkorytova Y.A. ……..301

СЕКЦИЯ 4. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

SECTION 4. ELECTROMECHANICS

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРНЫХ РЕЖИМОВ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИ
Авилов И.Д. ……305

ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
Болгов И.С. ……...307

УСТРОЙСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
Брагин А.Д. ……...309

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С РЕЗЕРВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ
Брагин А.Д. ……...311

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМИ МАГНИТНЫМИ ПОДШИПНИКАМИ
Вавилов В.Е., Дуракова В.С. ……..313

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫМ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА TMS320F28335
Волков А. В., Лапшина В. А. ……..315

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ТРЕХОСНОМ ГИРОСКОПИЧЕСКОМ СТАБИЛИЗАТОРЕ
Ву Доан Кет ……317

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМУЩАЮЩИХ МОМЕНТОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ-МАХОВИКОМ
Денисова А.А., Гладышев Г.Н. ……..319

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПЛАСТИНЫ ЛЕНТОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ
Екимова О.Ю., Зыль К.А. ……321

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕГАТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ РАБОТЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ
Калинкин Д.Ю. ……323

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ТРАМВАЕВ
Калугин В. М. ……..325

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СОПРЯЖЕНИЯ КОНФОРМНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ
Клабуков Р.П. ……...327

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКОЙ
Кодермятов Р.Э., Самодуров И.Н. ……329

МОДАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРЕХФАЗНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ
Коротков М. Ф., Пахомов А. Н. ……331

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСА
Михайлов И.Ю., Федянин А.Л.……..333

ВЛИЯНИЕ СОСЕДНИХ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС
Морозов А.Л. ……335

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПЕРЕДАЧИ ПИТАНИЯ И ИНФОРМАЦИИ НА ПЛАТФОРМУ ТРЕХОСНОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА
Нгуен Чонг Иен ……337

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА НА БАЗЕ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ
Плеханов М.С.……...339

СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА
Плиска И.Н. ……341

ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЙ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
Розаев И.А ……343

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХКАНАЛЬНОГО ИНДУКЦИОННОГО ДАТЧИКА УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
Селиванов Н.А. ……345

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛО-ГАБАРИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО ЛИНЕЙНОГО ДАТЧИКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА
Симон Д.А. ……..347

ОТКАЗЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Смолярчук С.А., Федянин А.Л ……..349

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «ПРОПИТОЧНЫЙ СОСТАВ – ЭМАЛИРОВАННЫЙ ПРОВОД»
Супуева А.С., Леонов А.П. …….351

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ ТИПА ЛЮФТ НА ДОБРОТНОСТЬ СЛЕДЯЩЕГО ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДРОССЕЛЬНОЙ ЗАСЛОНКИ
Трусов Е.В. ……..353

АЛГОРИТМ И СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ
Умурзакова А.Д., Умурзакова А.Д. ……..355

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
Устинов А.В., Бейерлейн Е.В. ……357

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСОВ
Фисюнова Е.В. ……359

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ЛИФТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
Шпет Н. А. ……361

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СИСТЕМОЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ С НАСТРАИВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ
Яковлев Д. А., Викторов П. В. ……..363

LINEAR MOTOR WITH BATCH ELEMENT
Zyl K.A., Ekimova O. Yu. ……365

ESTIMATION OF WINDING WIRES INSULATION RESISTANCE TO THE SURFACE DISCHARGES
E.Y. Soldatenko, A.A. Korobcov, A.P. Leonov …367

СЕКЦИЯ 5. СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

SECTION 5. MEDICAL DEVICES AND INSTALLATIONS

ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАМ В ФГБУ “НИИ ОКОЛОГИИ СО РАМН”
Бажин С. И. ……...371

ОДУЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДИСТРАКЦИОННЫХ УСИЛИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УДЛИНЕНИЯ КОНЕЧНОСТЕЙ
Блынский Ф.Ю. ……373

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ ВЧ - МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ: ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И МОРФОЛОГИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ПЛЕНОК
Богомолова Н.Н. Мальчихина А.И., Больбасов Е.Н. ……..375

РАЗРАБОТКА КЛИНИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ В СИМУЛЯЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ ДЛЯ ВРАЧЕЙ–НЕОНАТОЛОГОВ
Брышкакова Ч.С. ……..377

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КУРСОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СЛУШАТЕЛЕЙ ФАКУЛЬТЕТА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ГБОУ ВПО СИБГМУ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ MOODLE
Воробьева Н.В. ……379

ПРИМЕНЕНИЕ БИОУПРАВЛЕНИЯ В РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С БОЛЕЗНЬЮ ПАРКИНСОНА (БП)
Гребышева Т.С. ……381

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ, ЗАКРЫТЫХ ЖИРОВОЙ ТКАНЬЮ
Двуреченская М.Г. ……...383

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ДЕФОРМИРУЕМОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ЛЕВОГО ПРЕДСЕРДИЯ
Дымченко А.Н.……..385

РЕАЛИЗАЦИЯ HID ИНТЕРФЕЙСА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРООКУЛОГРАФИИ
Игнатовский В.В., Пестунов Д.А. ……...387

АБЛАТОР ДЛЯ ГИПО- И ГИПЕРТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ НА ОТКРЫТОМ СЕРДЦЕ
Идимешева Н.Н. ……...389

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ БОС-ТРЕНИНГА БЕРЕМЕННЫХ ПРИ МОНИТОРИРОВАНИИ СОСТОЯНИИ СИСТЕМЫ МАТЬ-ПЛОД
Катранова Т.С. ……..391

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКОГО КАНАЛА ДЛЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НА НАНОЭЛЕКТРОДАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА
Кашуба И.В., Турушев Н.В., Южаков М.М. ….393

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ КУЛЬТУР КЛЕТОК НА ПЛАСТИКЕ
Клепикова Ю.В. ……395

БЛИЖНЯЯ ИНФРАКРАСНАЯ СПЕКТРО-СКОПИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРИЧЕРЕПНЫХ ГЕМАТОМ
Кутергина Е.С. Аристов А.А. ……..397

ФИЛЬТРАЦИЯ В ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ
Моженина Е.Е., Никонорова Д.Н.,
Антоненко И.С. ……399

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА В ОБЛАСТИ ЖИВОТА БЕРЕМЕННОЙ
Мороз Т.С. ……401

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ БАТАРЕИ В ХОЛТЕРОВСКОМ МОНИТОРЕ
Оверчук К.В., Уваров А.А., Лежнина И.А. …..403

КОРРЕКЦИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ У БОЛЬНЫХ РАССЕЯННЫМ СКЛЕРОЗОМ С ПОМОЩЬЮ БИОУПРАВЛЕНИЯ
Прибыльская А. Н. ……405

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ОБЪЕМА АНАТОМИЧИСКИХ И ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ГОЛОВНОГО МОЗГА ПО ДАННЫМ Т 2-ВЗВЕШЕННОЙ МРТ
Романова О.В. ……407

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ
Сакашев А.А., Губарев Ф.А. ……..409

ПРИБОР ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЛИПОСАКЦИИ
Сёмушкина Ю.А. ……411

АСУ ПЕРИНАТАЛЬНЫМ ЦЕНТРОМ С СИСТЕМОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
Таранов Ю.А. ……..413

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОНТРАСТИРОВАННОЙ МР-ТОМОГРАФИИ МИОКАРДА У БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА
Трубченинова А.А. ……...415

ЭЛЕКТРОНЕЙРОМИОГРАФ
Турушев Н.В., Кашуба И.В., Южаков М.М. …417

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ БИОУПРАВЛЕНИЯ ПО ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ
Шнайдер Г. В. ……...419

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕМОЛИЗА КРОВИ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ
Юрченко В.В. ……...421

ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТРАСТНОГО ЛЕКАРСТВЕННОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ГАДОЛИНИЯ ДЛЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ДИАГНОСТИКИ
Милгадаев А., Нам И. Ф., Нарыжная Н. В. ……423

PHOTO-ACOUSTIC GAS ANALYZER BASED ON OPO AND PAS
N.Yu.Duhovnikova, A.A. Boyko ……..425

INHOMOGENEOUS CONSISTENT RECOGNITION PROCEDURE APPLYING TO WOMEN'S HEALTH DIAGNOSTICS
Dymova A.V. ……427

APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS FOR MASTOPATHY DIAGNOSIS
Lukina Ekaterina Y. ……..429

APPLYING STATISTICAL ANALYSIS METHODS FOR IDENTIFYING CHARACTERISTICS OF DIFFERENT FORMS OF BRONCHIAL ASTHMA
Melnikova Y.D. ……431

DEVELOPMENT OF THE REFLECTION-TYPE PULSE OXIMETER
Uglov T.S., Turgunova N.D.,
Baimuhanova G.A. ……433

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ТРУДОВ
XIX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

В трех томах

Том 1

Компьютерная верстка *Б.Б. Мойзес*

Дизайн обложки *А.М. Петелин*

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 00.06.2011. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 51,76 Уч.-изд. л. 46,81
Заказ 000-12. Тираж 150 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел/факс: +7 (3822) 56-35-35, www.tpu.ru