TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ТРУДОВ XXI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

5-9 октября 2015 г.

В двух томах

Том 1

Томск 2015

УДК 62.001.001.5(063)
ББК 30.1л.0
С56

Современные техника и технологии: сборник трудов XXI Международной научной
С56 конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 488 с.

Сборник содержит научные статьи студентов, аспирантов и молодых ученых – участников
ежегодной Международной конференции «Современные техника и технологии», разделенные по научным направлениям: электроэнергетика; теплоэнергетика; приборостроение; системы и приборы медицинского назначения; материалы и технологии новых поколений; наноструктурные материалы и нанотехнологии.

Материалы сборника представляют интерес для специалистов, преподавателей, исследователей в сфере энергетики, приборостроения, медицинской техники, материаловедения, наноматериалов и нанотехнологий.

УДК 62.001.001.5 (063)
ББК 30.1л.0

Редакционная коллегия сборника

1. **Сивков А.А.,** д.т.н., профессор,
   председатель секции «Устойчивая энергетика», направление «Энергетика».
2. **Заворин А.С.**, д.т.н., профессор,
   председатель секции «Устойчивая энергетика», направление «Теплоэнергетика».
3. **Евтушенко Г.С.,** д.т.н., профессор,
   председатель секции «Электронные устройства контроля и диагностики»,
   направление «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»
4. **Баранов П.Ф.**, к.т.н.,
   председатель секции «Электронные устройства контроля и диагностики»,
   направление «Аппаратура и методы неразрушающего контроля»
5. **Панин С.В.**, д.т.н., профессор,
   председатель секции «Материалы и технологии новых поколений»,
   направление «Материаловедение»
6. **Верещагин В.И.**, д.т.н., профессор,
   председатель секции «Материалы и технологии новых поколений»,
   направление Наноструктурные материалы и нанотехнологии»)
7. **Сидорова О.В.**, эксперт ЦНК УМАД ТПУ, Ученый секретарь конференции

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

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2015
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2015

СЕКЦИЯ 1

УСТОЙЧИВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

SESSION 1

POWER INDUSTRY

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НАГРЕВАНИЯ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Абрамова А.В., Бычкова А.А.
Научный руководитель: Атрошенко Ю.К, ассистент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ava35@tpu.ru

NUMERICAL RESEARCH OF INFLUENCE OF DURATION OF HEATING OF THERMOCONVERTERS OF RESISTANCE ON THE MEASUREMENT ERROR

Abramova AV, Bychkova AA
Scientific Supervisor: Assistant cafes. ATP ENIN Atroshenko Yu.K.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: ava35@tpu.ru

Abstract: *The numerical study of the integral characteristics of heat transfer process in three types RTD at measurement high temperatures was done. As a result of numerical study the heat transfer model in the sensing element of RTD was developed. These have been shown that measurement error depends inversely and nonlinearly from heating duration of RTD. The theoretical dependences of relative error of RTD from time required for heating sensitive element were determined.*

Температура – физическая величина, характеризующая термодинамическую систему и количественно выражающая понятие о различной степени нагретости тел, один из важнейших контролируемых параметров технологических процессов во многих отраслях промышленности [1-4]. При измерении температуры важной задачей является обеспечение точности измерения. Погрешность измерения определяется большим количеством факторов, в том числе продолжительностью проведения измерений [1,2].

Необходимую продолжительность выполнения измерения в пределах допускаемой погрешности возможно определить для каждого типа термопреобразователя с помощью прогностической модели. Так, одним из методов оценки погрешности является численное моделирование чувствительного элемента термопреобразователя [1,2].

Целью настоящего исследования является определение влияния длительности нагревания чувствительного элемента на погрешность измерений для различных типов ТПС.

При построении модели рассматривается задача теплопроводности для области, представляющей неоднородную систему, включающую чувствительный элемент термопреобразователя сопротивления (ТПС), защитный чехол (металлическая оболочка) и область между ними, заполняемую порошком оксида алюминия Al_2O_3 (рис.1).

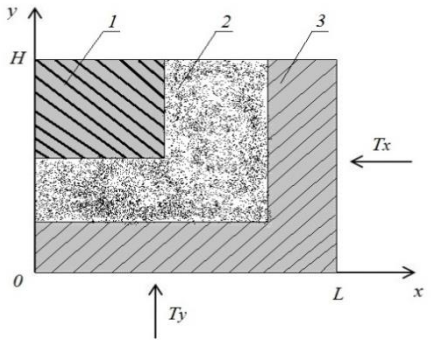


Рис. 1. Схема области решения задачи: 1 – чувствительный элемент; 2 – изоляционный порошок (Al_2O_3); 3 – металлическая оболочка (сталь); H – высота участка чувствительного элемента ТПС по оси Y, L – радиус чувствительного элемента ТПС по оси R

Нестационарный процесс переноса тепла в чувствительном элементе ТПС описывается системой дифференциальных уравнений [2]:

$$c_1 \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right), \; 0<r<r_1, \; z_2<z<H; \tag{1}$$

$$c_2 \cdot \rho_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right), \; 0<r<r_2, \; z_1<z< z_2; \; r_1<r< r_2, \; z_2<z<H; \tag{2}$$

$$c_3 \cdot \rho_3 \cdot \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_3}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} \right), \; 0<r<r_3, \; 0<z< z_1; \; r_2<r< r_3, \; z_1<z<H; \tag{3}$$

где ρ_i – плотность материала, c_i – удельная теплоемкость материала, λ_i – коэффициент теплопроводности материала.

Математическая модель включает следующие граничные условия:

Граница «Чувствительный элемент – порошок Al_2O_3» ($r=r_1, \; z=z_2$), $T_1(r_1,z)=T_2(r_1,z)$, $T_1(r,z_2)=T_2(r,z_2)$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r}\bigg|_{r=r_1} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}\bigg|_{r=r_1} ; (z_2<z<H);$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z}\bigg|_{z=z_2} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z}\bigg|_{z=z_2} ; (0<r<r_1);$$

Граница «порошок Al_2O_3 – защитный чехол» ($r=r_2, \; z=z_1$), $T_2(r_2,z)= T_3(r_2,z)$, $T_2(r,z_1)= T_3(r,z_1)$

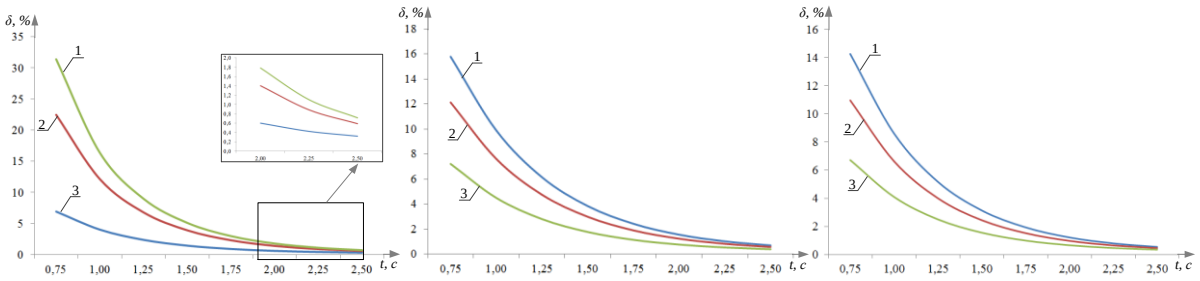
$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}\bigg|_{r=r_2} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}\bigg|_{r=r_2} ; (z_1<z<H);$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z}\bigg|_{z=z_1} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial z}\bigg|_{z=z_1} ; (0<r<r_2).$$

Для решения дифференциальных уравнений в частных производных используется метод конечных разностей на основе четырехточечной неявной разностной схемы. Область решения задачи разбита на равномерную конечно-разностную сетку 200×200 узлов с шагом по координатам: h=2,5·10^{-2} мм, шаг по времени t = 0,001 с [5].

При решении задачи теплопроводности приняты следующие теплофизические характеристики элементов области (рис. 1). Элемент № 1: платина (λ_1=70 Вт/(м·К); c_1=134 Дж/(кг·К); ρ_1=21500 кг/м^3); медь (λ_1=390 Вт/(м·К); c_1=385 Дж/(кг·К); ρ_1=8890 кг/м^3); никель (λ_1=92 Вт/(м·К); c_1=500 Дж/(кг·К); ρ_1=8900 кг/м^3). Элемент № 2: порошок Al_2O_3 (λ_2=6,57 Вт/(м·К); c_2=850 Дж/(кг·К); ρ_2=1520 кг/м^3). Элемент № 3: сталь (λ_3=47 Вт/(м·К); c_3=460 Дж/(кг·К); ρ_3=7800 кг/м^3) [6,7].

Искомые зависимости, полученные для режимов работы ТПС, в которых температура измеряемой среды составляет 350 К, 550 К, 750 К, для ТПС типов ТСП (платиновыйй ЧЭ), ТСМ (медный ЧЭ), ТСН (никелевые ЧЭ) приведены на рис. 2.



а) *б*) *в*)

Рис. 2. Зависимости погрешности измерений от времени нагревания чувствительного элемента: а – платиновый ТПС; б – медный ТПС; в – никелевый ТПС

Из рис. 2 видно, что наибольшая погрешность измерения при равном времени нагревания получена для платиновых термопреобразователей, наименьшая – для медных термопребразователей. При этом, погрешность измерения с помощью платиновых ТПС превышает погрешности измерения медными и никелевыми ТПС, в среднем, в 1,3–1,7 раза. Такое соотношение объясняется различиями теплофизических характеристик материалов. Из рис. 2 следует, что погрешность измерения температуры с помощью ТПС может быть снижена путем увеличения длительности нагревания.

При выполнении численного исследования разработана модель теплопереноса в чувствительном элементе термопреобрзователя сопротивления. Показано, что погрешность измерения находится в обратной нелинейной зависимости от длительности нагревания ТПС. Определены теоретические зависимости относительной погрешности ТПС от времени нагревания чувствительного элемента. Определено, что для получения удовлетворительной погрешности для платиновых ТПС требуется большее время нагревания чувствительного элемента (в среднем, в 1,5–1,7 раза). Разработанная модель может быть использована при планировании экспериментов, связанных с измерением температуры, а также в промышленных измерениях.

Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» №13.1339.2014/К (шифр федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Атрошенко Ю.К., Озерова И.П., Стрижак П.А. Влияние теплового контакта на результаты измерений поверхностных термоэлектрических преобразователей. – Научно-технические ведомости СПбГПУ, № 1 (214), 2015. – С. 97–105;
2. Yu.K. Atroshenko, P.A. Strizhak, O.S. Yashutina Detemination on necessary time of measurements of surface thermocouples depending on conditions of technological processes. – EPJ Web of Conferences 82, 01061 (2015);
3. Min-ling Zhu A thermometer based on diverse types thermocouples and resistance temperature detectors. – J Shanghai Jiaotong University (Science), vol. 20, Is. 1, 2015. – pp.93–100;
4. Panhui Chen; Lifeng Guo; Gubing Lu; Chuanxi Jin A Precision Resistance Generator for the Calibration of RTD-based Temperature Instruments. Applied Mechanics & Materials, vol. 721, pp. 513–516;
5. A.A. Samarskii, The Theory of Difference Schemes, Marcel Dekker Inc., USA, 2001;
6. N.B. Vargaftik, Reference Book on Thermophysical Properties of Gases and Liquids, Stars, Moscow [in Russian], 2006.
7. R. Hultgren Selected Values of the Thermodynamic Properties of Binary Alloys, USA, American Society for Metals, 1973.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Андреев И.В., Павлов С.А..
Научные руководители: Долгих А.Ю., ст. преп.; Крайнов А.В.. доцент, к.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: shurad@tpu.ru

THERMODYNAMIC PARAMETERS OF BASIC MINERAL COMPOUNDS INTERACTION OF SOLID FUEL

Andreev I.V., Pavlov C.A.
Scientific Supervisor: senior lecturer Dolgih A.Yu.; PhD in technical science, docent Kraynov A.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: shurad@tpu.ru

The calculation of the thermodynamic characteristics of the main substances mineral solid fuel using model approximating dependencies whose coefficients are functions of temperature. The analysis of approximations in a wide range of temperatures. The influence of the parameters of the model equations for the approximation error of the thermodynamic functions. Presents a graphic interpretation of the tabulated and calculated values of functions at given temperatures.

Введение.

Решение насущных проблем загрязнения (шлакования) поверхностей нагрева топочной части котельного оборудования при сжигании твердого топлива, должна основываться только на знаниях полученных при исследовании термодинамических свойств минеральной части входящих в состав различных углей. При этом должна учитываться следующая важная особенность, температуры плавления негорючей части твердых топлив до настоящего времени определяются только экспериментальным путем. Математическое прогнозирование поведения таких многокомпонентных систем как минеральная часть углей сложная задача, так как она состоят из совокупности соединений, у которых свои индивидуальные термодинамические свойства [1]. Данная работа базируется на математическом моделировании вязких несжимаемых жидкостей как база для инженерного расчета температур плавления и кристаллизации. Знание поведение жидкости при различных температурах способствует, для примера из параллельной области применения данной работы, оценке и выбору режимов работы теплового оборудования, в частности реактора, АЭС. Определение свойства используемых материалов и соединений возникает при оценке аварийности ситуации ТВЭЛ ядерных реакторов. Недостоверность расчетов может привести к неправильной оценке состояния элементов реактора и как следствие неадекватному принятию мер. Полученные прогнозируемые данные в свою очередь будут способствовать выбору режима работы различных энергетических комплексов, котельного оборудования и т.д., удовлетворяющие требованиям надежности и долговечности.

Описание программы для определения термодинамических свойств минеральной части твердого топлива.

Для построения аппроксимирующих зависимостей термодинамических характеристик основных веществ таких как MgO, SiO_2, Na_2O, TiO_2,Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, K_2O, $CaCO_3$, FeS, Na_2SO_4, K_2SO_4использовались справочныеданные свойств индивидуальных веществ [2-5]. Программа выводит

термодинамические характеристики в зависимости от температуры такие как удельную теплоемкость Ср, энтропию S, энтальпию H, энергию Гиббса G* .Для достижения большей точности расчетов справочный шаг Т в 50 К разбивался на более узкие диапазоны.

Уравнение для расчета термодинамических характеристик соединения (1).

$$a*\ln(T) - b = (1).$$

a, b- являются коэффициентами уравнения (1) которые зависят от соединения, искомой характеристики которые в свою очередь зависят от температуры. Т- температура искомого соединения К. В таблице 1 представлены коэффициенты определения удельной теплоемкости для карбонат кальция в зависимости от температурного диапазона.

Таблица 1

Коэффициенты удельной теплоемкости для $CaCO_3$.

Температурный диапазон	**a**	**b**
290-1600	32,042	95,899
1600-1620	1,0015	17,662
1620-2000	1,00164	17,653

Нахождение погрешности при аппроксимации уравнений.

Расчетные величиныотличаются от табличных на значение аппроксимации. При графическом отображении в узком температурном диапазоне этоотличие может показаться значительным. Анализ погрешностирасчетов позволит можно судить о достоверности полученных данных.

Анализпогрешности будетпроизведен на участке (298,15-2200 К), данный температурный диапазонявляется рабочим для котельной техники и необходим дляпроведение пепловых расчетов. Результаты оценки относительной погрешности, на двух произвольно выбранных участках представлены в таблице 2. Полученные результаты, для наглядности, представлены в графическом виде рис 2.

Таблица 2

Погрешность при расчете теплоемкости для $CaCO_3$.

Температура К.	Ср табличная Дж/моль К	Ср расчетная Дж/моль К	Погрешность, %
300	83,972	86,861	3,4
360	92,74	92,703	0,03
400	96,982	96,076	0,9
460	101,88	100,557	1,29
500	104,52	103,229	1,23
540	106,83	105,695	1,06
1300	133,55	133,84	0,2
1360	135,29	135,29	0,0007
1400	136,44	136,22	0,16
1460	138,16	137,56	0,43
1500	139,3	138,43	0,62

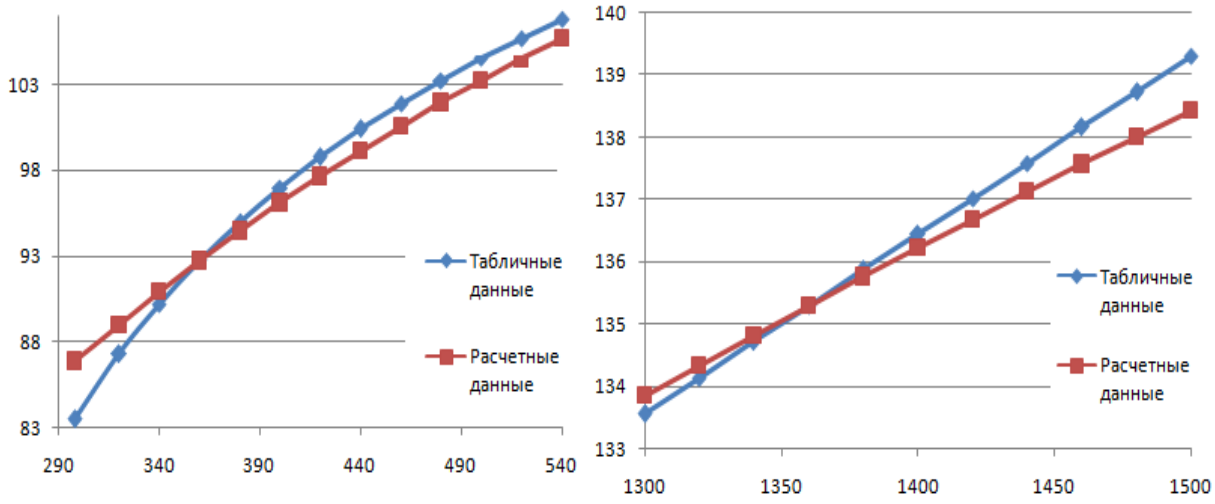


Рисунок 2 – Расхождения показателя удельной теплоемкости для$CaCO_3$
а - в диапазоне 300-540 К, б- в диапазоне 1300-1500.

Вывод.

Метод наименьших квадратов использовался в данной программе при аппроксимации. Проанализировав полученные данные можно сделать вывод, что программа считает с относительной погрешностью до 2 %. Следовательно, данныйалгоритм для расчета термодинамических характеристик минеральной части твердых топлив можно использовать в дальнейших расчетах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алехнович А.Н. Шлакование пылеугольных энергетических котлов. М.: НТФ «Энергопрогресс», Москва 2013г- 112с.: ил. [Библиотека электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып.8(176)].
2. Richard A. Robie «Thermodynamic properties of selected minerals and oxides at high temperatures» USA 1959.
3. Гурвич Л.В., Вейц И.В., Медведев В.А. и др. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание: В 4-х т./. - 3-е изд., перераб. и расширен. - Т. I. - М.: Наука, 1978. - 328 с.
4. Краткий справочник физико-химических величин. 12-е издание/ Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой.- М.: ООО «ТИД «АРИС». 2010. - 240 с., ил.
5. Верятин У.Д., Маширев В.П., Рябцев Н.Г., Тарасов В.И., Рогозин Б.Д., Коробов И.В., Термодинамические свойства неорганических веществ. Справочник .1965 г Москва.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

Анисимов Т. С.
Научный руководитель: Петухов Р. А., ст. преподаватель
Сибирский федеральный университет,
Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, 660041
E-mail: anisimovt1994@gmail.com

SIMULATION OF THE SYSTEM OF VOLTAGE REGULATION BASED ON FUZZY LOGIC

Anisimov T. S.
Scientific Supervisor: Senior Lecturer, Petukhov R. A.
Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny pr., 660041
E-mail: anisimovt1994@gmail.com

In this article proposed a system of voltage control in distribution networks based on fuzzy logic. Fuzzy regulator controls the operation of the power transformer tap changer and is responsible for connection or disconnection of capacitor banks, depending on the voltage level of the consumer.

В ныне существующих распределительных сетях часто встаёт проблема несоответствия критериев качества электрической энергии нормам, которые установлены ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Наиболее часто потребители сталкиваются с проблемой низкого уровня напряжения, что приводит к уменьшению производительности исполнительных механизмов, снижению светового потока осветительных установок, а в ряде случаев возможно нарушение технологического процесса со значительным экономическим ущербом.

Традиционные способы поддержания напряжения в допустимых пределах подробно рассмотрены в работе [1]. Наиболее распространенным способом регулирования напряжения на распределительных линиях, отходящих от центра питания, является применение трансформаторов с регулированием под нагрузкой (РПН). В распределительных сетях наблюдается высокое потребление реактивной мощности, что еще сильнее снижает уровень установившегося напряжения. В этом случае регулирование напряжения трансформатором с РПН может оказаться малоэффективным. Для повышения коэффициента мощности в распределительных сетях применяются, как правило, батареи статических конденсаторов (БСК), которые помимо компенсации реактивной мощности позволяют повысить уровень напряжения при низком коэффициенте мощности.

Для регулирования напряжения было принято решение о создании алгоритма на основе нечёткой логики, который будет отвечать за управление устройством РПН и принимать решение о включении или отключении БСК. В основе алгоритма используется теория нечётких множеств, преимущества которой, по сравнению с другими системами управления, доказаны в работе [2].

Для создания компьютерной модели распределительной сети, регулирование напряжения в которой осуществляется с помощью нечёткого алгоритма, реализованного в виде микроконтроллера, была выбрана прикладная библиотека SimPowerSystems пакета Simulink в составе системы MatLab, а для создания нечёткого алгоритма регулирования был использован встроенный в MatLab пакет Fuzzy Logic.

Для работы контроллера был выбран нечёткий алгоритм Мамдани, т.к. он более понятен для программирования, а также ему не столь важна точность вывода, сколько наглядность всех составляющих алгоритма.

Входными переменными для контроллера наглядно представлены представлены на рис. 1.



Рис. 1. Входные и выходные данные контроллера

В качестве входных данных использовались треугольные нечёткие функции принадлежности:

- напряжение – 5 функций (очень низкое, низкое, нормальное, высокое, очень высокое);
- положение отпайки РПН - 5 функций (очень низкое, низкое, нормальное, высокое, очень высокое);
- количество включенных БСК – 4 функции (0, 1, 2, 3).

С выхода контроллера снимались треугольные функции принадлежности:

- управление РПН – 3 функции (вниз, не менять, вверх);
- управление БСК – 3 функции (отключить, не подключать, подключить).

Выбор в пользу треугольных функций принадлежности объясняется ступенчатым регулированием. После выбора функций принадлежности была создана база из 163 продукционных правил для управления выходными переменными величинами. Правила создавались по следующим принципам:

- если напряжение у потребителя очень низкое или низкое, то положение отпайки РПН должно перемещаться вниз и/или должна быть подключена БСК;
- если напряжение у потребителя очень высокое или высокое, то положение отпайки РПН должно перемещаться вверх и/или должна быть отключена БСК.

После создания базы правил были получены поверхности отклика по анализу которых можно сделать вывод, что контроллер принимает адекватное решение об управление РПН трансформатора. В области низких напряжений (меньше 10 кВ) принимается решение о перемещении отпайки РПН вниз, что в данной модели приведёт к увеличению напряжению на шинах потребителя. И наоборот, в случае превышения напряжения выше номинального алгоритм принимает решение о переключении отпайки РПН в сторону понижения напряжения. Аналогичная поверхность отклика была получена и для решений контроллера о включении, либо отключении БСК. При снижении напряжения алгоритм принимает решение о включении БСК и, наоборот.

На следующем этапе была создана модель распределительной сети, состоящая из внешней энергосистемы класса напряжения 110 кВ, трансформатора ТДН 63000/110, блока активно-индуктивной нагрузки, блоков БСК. Упрощённая схема модели представлена на рис. 2.

Регулирование напряжения осуществляется путем подачи на вход контроллера следующих данных: напряжение у потребителя (через блок ТН 10), положение отпайки РПН трансформатора (через вывод m) и количестве включенных БСК (через счётный механизм). После получения данных осуществляется их фаззификация, принятие решения о мерах по улучшению напряжения у потребителя, нечёткий вывод, дефаззификация решения и подача управляющего сигнала на РПН трансформатора или выключатель БСК.

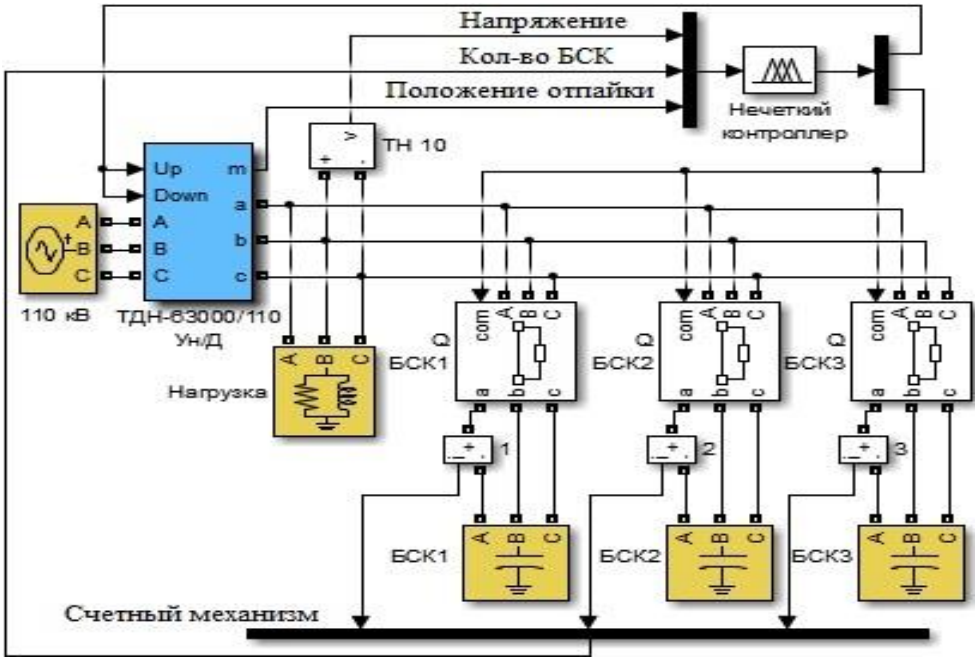


Рис. 2. Упрощённая модель системы электроснабжения с нечетким алгоритмом регулирования напряжения

Решение контроллера об изменении отпайки РПН выдается в виде числа от -1 до 1. В случае если число превышает 0.5, то подается управляющий сигнал о необходимости перемещения отпайки на 1 положение вверх и наоборот, если значение меньше -0.5, то отпайка РПН должна переместиться на 1 положение вниз. В аналогичном виде выдается решение контроллера о подключении/ отключении БСК. Если контроллер выдает число, которое превышает 0.5, то подается управляющий сигнал о необходимости подключении БСК и наоборот, если значение меньше -0.5, то БСК отключается.

Таким образом, созданная модель позволяет сделать следующие вывод о том, что контроллер принимает адекватные решения о поведении энергосистемы на изменение напряжения при изменении нагрузки, а также полученная система регулирования, основанная на принципах нечёткой логики, позволяет поддерживать напряжение на зажимах потребителя в нормируемых пределах, используя одновременно возможности трансформатора с РПН и БСК для регулирования напряжения в сети электроснабжения общего назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Идельчик В. И., Электрические системы и сети: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.: ил.

2. Жмак Е.И., Манусов В.З, Обоснование принципа нечеткого регулирования напряжения с помощью РПН трансформаторов// Электроэнергетика: Сб. науч. тр. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.

3. Жмак Е.И. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах на основе нечеткой логики: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.14.02./ Науч. рук. В.З. Манусов.- Новосибирск, 2004.- 117 с.

4. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ КАПЕЛЬ ВОДЫ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ПОТОКЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВ

Антонов Д. В., Волков Р. С., Стрижак П.А.
Научный руководитель: Стрижак П.А., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dva14@tpu.ru

EXPERIMENTAL RESEARCH OF MUTUAL INFLUENCE OF SEVERAL CONSECUTIVE WATER DROPLETS ON REGULARITIES OF THEIR MOVEMENT THROUGH HIGH-TEMPERATURE GASES

Antonov D. V., Volkov R. S., Strizhak P.A.
Scientific Supervisor: Prof., Strizhak P.A.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: dva14@tpu.ru

Annotation. *Experimental research of main integral characteristic of several water droplets at their movement through high-temperature gases (1100K) was carried out. Features of water droplets movement in a high-temperature gas stream are established. Characteristics of droplets movement at a variation of their initial parameters in a wide range was established with using high-speed video registration preservers «Phantom» and software packages «Tema Automotive» and «Phantom Camera Control». The main integral characteristic of several water droplets in the different distance between them were installed.*

Введение. В настоящее время перспективными являются несколько вопросов, связанных с исследованием процессов движения капель воды в области высокотемпературных газовых сред. Эти вопросы актуальны для таких сфер и отраслей промышленности, как напыление и покраска сложных конструкций газопарокапельными смесями; размораживание сыпучих сред и сушка пищевых продуктов газопарокапельными потоками; термическая или огневая очистка воды, эмульсий и суспензий на ее основе; полидисперсное пожаротушение специализированными смесями и аэрозолями [1, 2]. Однако, часть из перечисленных направлений не получили должного развития и широкого распространения. Все это связано с отсутствием до недавнего времени подходов и методов для достоверных экспериментальных исследований комплекса взаимосвязанных протекающих процессов тепломассопереноса, фазовых превращений и химического реагирования для газопарокапельных систем.

На сегодняшний день с использованием современных панорамно-оптических методов, кросскорреляционных комплексов, систем высокоскоростной фото – и видеорегистрации можно получить уникальные экспериментальные результаты и расширить представления в области большой группы газожидкостных систем [1-4].

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование взаимного влияния нескольких последовательно движущихся капель воды на закономерности их перемещения и интегральные характеристики испарения при движении в потоке высокотемпературных газов.

Методика экспериментальных исследований. При проведении исследований использовался экспериментальный стенд, по основным своим элементам аналогичный применяемому в работе [3]. Схема данного стенда представлена на рис. 1. В отличие от работы [3] стенд использовался для регистрации движения нескольких последовательных капель воды, для чего он был снабжен рядом дополнительных устройств.

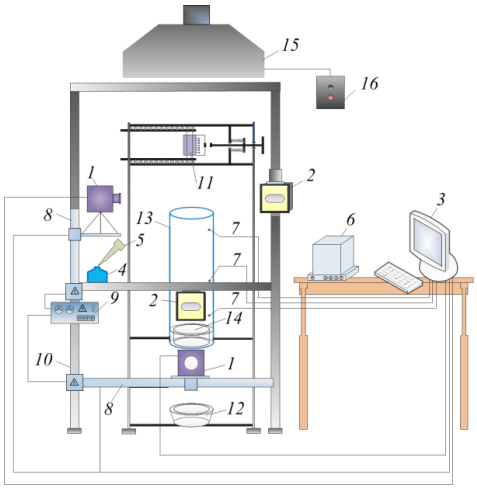
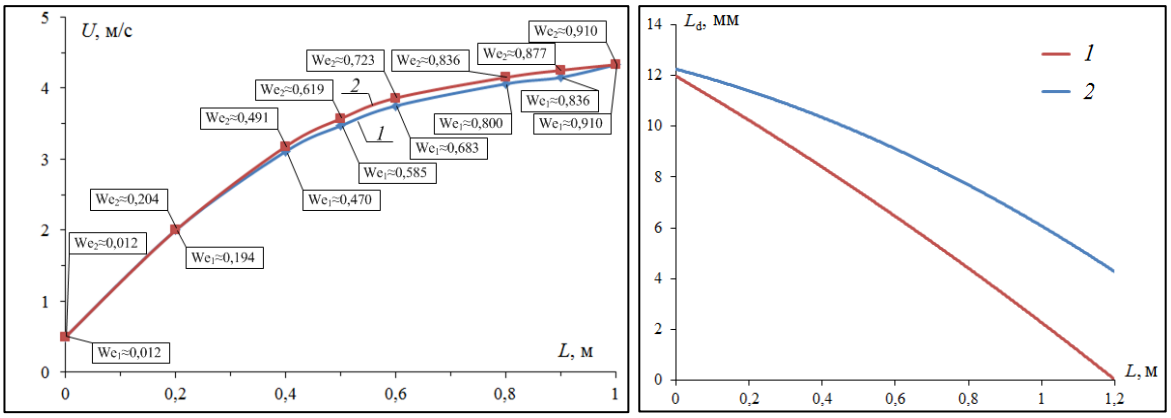


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 – высокоскоростные видеокамеры; 2 – осветительные прожекторы; 3 – персональный компьютер (ПК); 4 – емкость с водой; 5 – дозирующее устройство; 6 – микровесы; 7 – термопары; 8 – моторизированные координатные устройства (МКУ); 9 – блок питания МКУ; 10 – алюминиевая стойка; 11 – устройство последовательной подачи капель; 12 – уловитель капель; 13 – цилиндр из кварцевого стекла; 14 – полый цилиндр с горючей жидкостью; 15 – нагнетательная система; 16 – пульт включения/отключения нагнетательной системы

Стенд представлял собой регистрационный комплекс на базе высокоскоростных видеокамер *1* «Phantom V411» и «Phantom Miro M310» (частота съемки – до $6 \cdot 10^5$ кадров в секунду). Для генерации идентичных друг другу последовательных капель воды использовалось специально сконструированное для этих целей устройство последовательной подачи капель *11*. Разработанное устройство позволяли получать начальные значения скоростей движения капель около 0,2 м/с. Размеры (радиусы) генерируемых капель варьировались в диапазоне 1-2 мм. Для формирования высокотемпературной газовой среды использовался вертикальный цилиндрический канал *13* из кварцевого стекла и полый цилиндр *14*, в межстеночное пространство которого заливалось жидкое топливо – керосин, который в последствие зажигался. Температура продуктов сгорания T_g составляла около 1100 К.

Методика экспериментов заключалась в осуществлении подачи последовательных капель воды устройством *11* в высокотемпературную газовую среду. Одновременно с этим выполнялась процедура видеорегистрации перемещающихся капель в высокотемпературной газовой среде высокоскоростными камерами *1* на разных по высоте точках. Дальнейшая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием программного комплекса «Tema Automotive» и «Phantom Camera Control».

Результаты. В ходе данного исследования были установлены особенности процесса последовательного движения капель воды через высокотемпературные газы. Измерения скоростей движения двух последовательно идущих капель показали (рис. 2*а*), что они существенно нелинейно изменяются не только для капель разных размеров R_d и с разными начальными значениями U_d. Впереди идущие капли довольно существенно влияют на скорости перемещения последующих (для них скорости значительно ниже, чем для впереди идущих). Также установлено (рис. 2*б*), что чем меньше начальное расстояние между каплями L_d, тем устойчивее реализуется процесс их сближения (и последующего слияния). Реализуется механизм, по которому капля, движущаяся второй, догоняет первую, и происходит их коагуляция. Из рис. 2*б* видно, что в пламени процесс слияния двух капель воды происходит быстрее, чем в воздухе, при прохождении расстояния L=1,2 м.



а *б*

Рис. 2. а – изменение скоростей движения двух капель при движении в высокотемпературных газах при (1, 2 – первая и вторая капли); б – изменение расстояния L_d между каплями от пройденного расстояния L после прохождения зоны воздуха 1 и высокотемпературных газов 2

Скорости испарения капель воды в потоке высокотемпературных газов выше, чем в воздухе. При этом происходит значительное испарение первой капли воды по сравнению со второй. В результате этого испарения масса и скорость движения первой капли снижается. Масса же второй капли изменяется существенно меньше. Поэтому она разгоняется за счет работы массовых сил и догоняет первую. Происходит слияние двух последовательных капель воды в потоке высокотемпературных газов.

Проведенные эксперименты показали, что чем меньше начальное расстояние между двумя последовательными каплями, тем значительнее возрастает разница между скоростями этих капель (ускоряется процесс коагуляции). Эта закономерность обосновывает гипотезу о доминирующем влиянии спереди идущих капель в высокотемпературной газовой среде на условия и характеристики процесса движения последующих капель.

Заключение. В результате проведенных исследований была обоснована гипотеза о значительном влиянии впереди идущих капель воды на условия перемещения последующих. Каждая последующая капля движется быстрее по сравнению с впереди идущими. Данные закономерности свидетельствуют о целесообразности учета основных характеристик движения при формулировании математических выражений для последовательных капель воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 15-33-5008515).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Терехов В.И., Пахомов М.А. Тепломассоперенос и гидродинамика в газокапельных потоках. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2009. –284 с.

2. Алеханов Ю.В., Близнецов М.В., Власов Ю.А. Метод исследования взаимодействия диспергированной воды с пламенем // Письма в ЖТФ. –2003. – Т. 29. –№ 6. –С. 1–6.

3. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Влияние начальных параметров распыленной воды на характеристики ее движения через встречный поток высокотемпературных газов // ЖТФ. –2014. – Т. 84. –№ 7. –С. 15–23.

4. Терехов В.И., Терехов В.В., Шишкин Н.Е, Би К.Ч. Экспериментальное и численное исследования нестационарного испарения капель жидкости // Инженерно-физический журнал, –2010. –Т. 83. –№ 5. –С. 829–836.

МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 кВ

Вагапов Г.В., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В.
Научный руководитель Федотов А.И., профессор, д.т.н.
Казанский государственный энергетический университет
Россия, г. Казань, ул.Красносельская, 51, 420066
E-mail: ahmetshin.ar@mail.ru

METHODS OF MATHEMATICAL MODELING OF THE HIGHER HARMONICS IN ELECTRICAL NETWORKS 0,4 KV

Vagapov G.V., Akhmetshin A.R., Chernova N.V.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Fedotov A.I.
Kazan State Power Engineering University
Russia, Kazan, St. Krasnoselskaya, 51, 420066
E-mail: ahmetshin.ar@mail.ru

Известные в технической литературе приемы расчета состава гармоник в системах электроснабжения основаны на априорном положении, что состав гармоник в токе каждого преобразователя не зависит от состава гармоник питающего напряжения [1]. Они вводятся в схему замещения задающими токами, полученными в предположении синусоидальной формы кривой питающего напряжения. Ниже показана ошибочность такого подхода.

Рассмотрим схему, представленную на рис. 1, с источником *e*, нагруженным через питающую линию с индуктивным и активным сопротивлениями r_f, x_f на вентильный преобразователь *VD* с активно – индуктивной нагрузкой r_d, x_d. Отсчет времени на каждом интервале производим от нулевого значения ЭДС при ее переходе из отрицательной области значений в положительную. Запишем дифференциальные уравнения для произвольно выделенного интервала работы схемы. На интервале переключения вентилей γ происходит короткое замыкание цепей переменного тока и выпрямительной нагрузки через преобразователь *VD*.

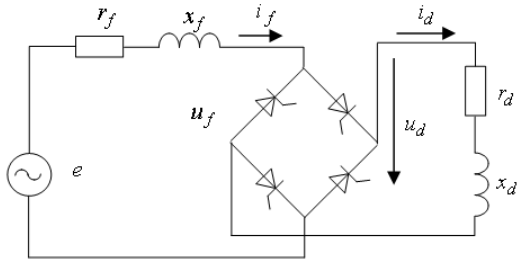


Рис. 1. Принципиальная схема системы электроснабжения

Началу коммутации соответствует условие $\omega t = \theta = \alpha$, концу коммутации $-i_d = |i_f|$, $u_f \equiv u_d \equiv 0, \quad \theta \in [\alpha; \alpha + \gamma]$.

Напряжения на преобразователе *VD* стороны переменного u_f и выпрямленного тока u_d связаны между собой следующими соотношениями

$$u_f = \begin{cases} u_d, \theta \in [\alpha; \alpha + \pi], \\ -u_d, \in [\alpha + \pi; \alpha + 2\pi]. \end{cases} \quad (1)$$

Для связи фазного тока i_f и тока выпрямительной нагрузки i_d на всем рассматриваемом интервале $[\alpha; \alpha + 2\pi]$ используются выражения:

$$i_f = \begin{cases} i_d + i_{\gamma 1} \cdot \Delta K_1, \ i_{\gamma 1} = i_f - i_d, \\ \Delta K_1 = K(\theta - \alpha) - K(\theta - \alpha - \gamma); \\ -i_d + i_{\gamma 2} \cdot \Delta K_2, \ i_{\gamma 2} = i_f + i_d, \\ \Delta K_2 = K(\theta - \alpha - \pi) - K(\theta - \alpha - \pi - \gamma). \end{cases} \quad (2)$$

здесь ΔK_i – коммутационные функции.

В свою очередь, $K(\theta - \beta)$ – единичные функции, т.е.

$$K(\theta - \beta) = \begin{cases} 0, \theta < \beta; \\ 1, \theta \geq \beta; \end{cases} \beta = \alpha; \alpha + \gamma; \alpha + \pi; \alpha + \gamma + \pi. \quad (3)$$

Для коммутационных токов $i_{\gamma 1}$ и $i_{\gamma 2}$ имеем:

$$\left.\begin{array}{l} i_{\gamma 1}(\alpha) = i_f(\alpha) - i_d(\alpha) = -2i_d(\alpha), \quad i_{\gamma 1}(\alpha + \gamma) = 0; \\ i_{\gamma 2}(\alpha + \pi) = i_f(\alpha + \pi) + i_d(\alpha + \pi) = 2i_d(\alpha + \pi), \quad i_{\gamma 2}(\alpha + \gamma + \pi) = 0. \end{array}\right\} \quad (4)$$

Уравнение баланса напряжений со стороны переменного тока:

$$\left.\begin{array}{l} u_f = e - r_f i_f - x_f \dfrac{di_f}{d\theta}, \\ u_d = r_d i_d + x_d \dfrac{di_d}{d\theta}. \end{array}\right\} \quad (5)$$

Объединяя уравнения (1), (2) и (5), получаем

$$u_f = r_d i_f + x_d \frac{di_f}{d\theta} - r_d i_{\gamma 1} \Delta K_1 - x_d \frac{di_{\gamma 1}}{d\theta} \Delta K_1 - \\ - r_d i_{\gamma 2} \Delta K_2 - x_d \frac{di_{\gamma 2}}{d\theta} \Delta K_2. \quad (6)$$

Для перехода от дифференциального уравнения (6) к уравнению относительно гармоник тока и напряжения используем локальное преобразование Фурье (ЛПФ), которое на локальном отрезке mв границах $[\alpha; \alpha + h]$ сопоставляет функции $f(\theta)$ ее изображение $\dot{F}(m,k)$ [2]:

$$\dot{F}(m,k) = \frac{2}{h} \int_{\alpha}^{\alpha + h} f(\theta) e^{-jk(\theta - \alpha)} d\theta, \ k = \frac{2\pi n}{h}, \ n = 0; \pm 1; \pm 2; \cdots. \quad (7)$$

Для рассматриваемой схемы $h = 2\pi$, следовательно, k=n.

Применяя ЛПФ к уравнению (8), в установившемся режиме имеем:

$$\dot{U}_f(k) = (r_d + jkx_d)\dot{I}_f(k) - (r_d + jkx_d)\dot{I}_\gamma(k) - \frac{x_d}{\pi}\left[i_{\gamma 1}(\alpha+\gamma)e^{-jk\gamma} - \right.$$
$$\left. - i_{\gamma 1}(\alpha) + i_{\gamma 2}(\alpha+\pi+\gamma)e^{-jk(\gamma+\pi)} - i_{\gamma 2}(\alpha+\pi)e^{-jk\pi}\right] \qquad (8)$$

В уравнении (8) принято обозначение

$$\dot{I}_\gamma(k) = \frac{1}{\pi}\left[\int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} i_{\gamma 1}(\theta)e^{-jk(\theta-\alpha)}d\theta + \int_{\alpha+\pi}^{\alpha+\pi+\gamma} i_{\gamma 2}(\theta)e^{-jk(\theta-\alpha)}d\theta\right].$$

Применим ЛПФ к уравнению (6):

$$\dot{E}(k) = (r_s + jkx_s)\dot{I}_f(k) - (r_d + jkx_d)\dot{I}_\gamma(k) - \frac{4x_d}{\pi}i_d(\alpha), \qquad (9)$$

где $r_s = r_f + r_d$, $x_s = x_f + x_d$.

Анализ уравнения (9) показывает, что в гармоническом составе токов и напряжений отсутствуют четные гармоники (общеизвестный факт). Однако новым является сочетание источника тока и источника напряжения, что демонстрирует расчетная схема замещения, рис. 2.

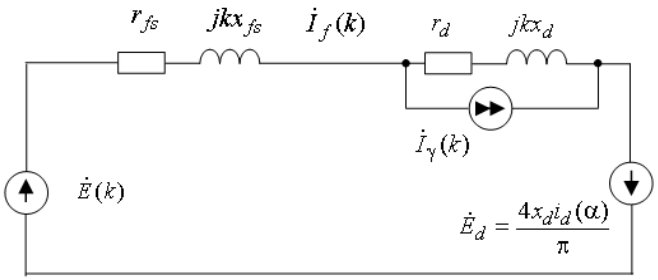


Рис. 2. Схема замещения электрической сети для k-ой гармоники.

Расчеты показывают, что при полигармоническом питающем напряжении для правильного определения гармонического состава токов искажающих нагрузок необходимо учитывать изменение закона коммутации токов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гармоники в электрических системах / Пер. с англ. Дж. Аррилага и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

2. Федотов А.И., Каримов Р.Р., Федотов Е.А., Абдуллазянов Э.Ю. Теоретические основы дискретного моделирования электромашинно-вентильных систем. – Казань: Изд-во КГЭУ, 2003. – 118 с.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ

Биятто Е.В., Привалихина К.К.
Научный руководитель: Долгопол Т.Л., доцент
ФБГОУ ВПО Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
Россия, г.Кемерово, ул.Весенняя-28 , 650000
E-mail: helen10101994@yandex.ru

MEASURES TO INCREASE THE RELIABILITY AND ENERGY EFFICIENCY OF GRID COMPANY

Biyatto E.V., Privalihina K.K.
Scientific Supervisor: Dolgopol T.L., professor
Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev
Russia, Kemerovo, Spring str.-28, 650000
E-mail: helen10101994@yandex.ru

Annotation: Discusses measures to improve the reliability and energy efficiency of network organizations, we consider a variant of the reconstruction of the substation with the replacement of old equipment by new, and reconstruction of power lines.

Достичь снижения уровня расходов сетевых организаций возможно за счет реализации мероприятий, снижающих потери электрической энергии в электрооборудовании подстанций и в линиях электропередач.

Одной из причин высоких потерь электроэнергии является высокая степень износа и низкие показатели энергоэффективности оборудования, а именно силовых трансформаторов, трансформаторов собственных нужд, коммутационного оборудования и ЛЭП.

В статье рассмотрен вариант реконструкции одной из подстанций филиала «МРСК Сибири» - «Кузбассэнерго-РЭС» 110/35/10 кВ. Данная подстанция была введена в эксплуатацию в 1975 году и с тех пор не реконструировалась. Практически всё оборудование подстанции физически и морально устарело.

Соотношение потерь электроэнергии в силовых трансформаторах и трансформаторах собственных нужд до и после реконструкции представлено на рис.1. При этом используемый в настоящее время трансформатор марки ТДТН предлагается заменить на трансформатор с аморфным сердечником со сниженными потерями холостого хода.

Как следует из рис.1, потери электроэнергии в «аморфном» трансформаторе в 2-2,5 раза меньше.

Добиться еще большего снижения потерь электроэнергии возможно, заменив устаревшее коммутационное оборудование на современное. На рис.2. представлено соотношение потерь электроэнергии при замене масляных выключателей на вакуумные для всех классов напряжения, используемых на подстанции. При этом потери электроэнергии в коммутационном электрооборудовании также уменьшатся в 2,5-3 раза.

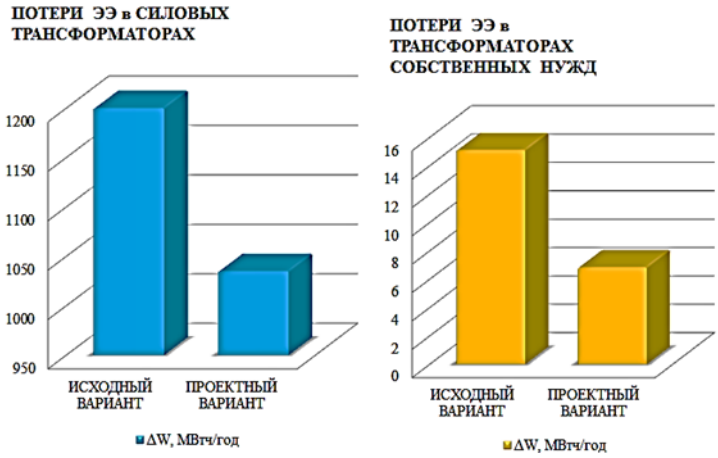


Рис. 1. Соотношение потерь электроэнергии в исходном и предлагаемом вариантах.

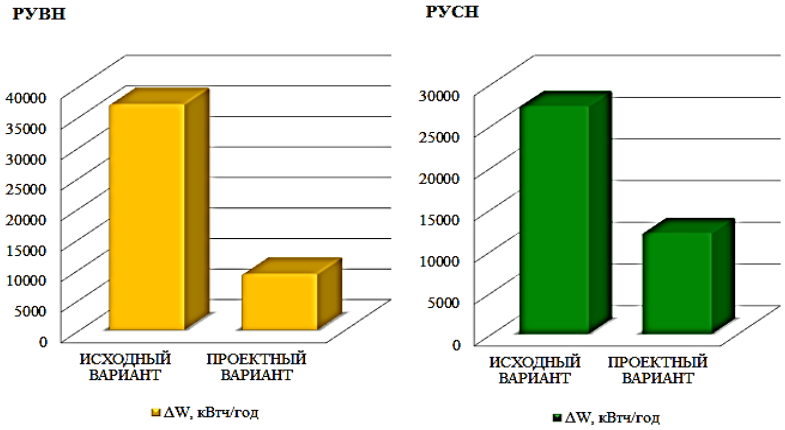


Рис.2. Соотношение потерь электроэнергии в выключателях в исходном и предлагаемом варианте.

Еще более эффективной будет являться замена масляных выключателей на новый коммутационный аппарат, сочетающий в себе функции выключателя и разъединителя – выключатель-разъединитель (ВР) марки LTB. Потенциал энергосбережения за счет замены масляных выключателей и разъединителей на данный аппарат представлен в таб.1.

Таблица 1

Потенциал энергосбережения за счет замены масляных выключателей и разъединителей на ВР

Коммутационные аппараты	Потребление электроэнергии	Эквивалент выброса CO_2
	МВтч	Тонны
Масляный выключатель и разъединители	1217	762
ВР	120	75

Использование современных проводов для воздушных линий электропередач также является одним из мероприятий по повышению надежности и энергоэффективности сетевых компаний. Рассмотрим использование провода марки ACCR, который кроме большей пропускной способности обладает более высокой прочностью и устойчивостью к провисанию, а также меньшей массой по сравнению с существующими аналогами проводов. Для сравнения были взяты аналогичные по пропускной способности провода марок АС-400/64 и ACCR сечением 150 мм^2. Расчеты потерь электроэнергии в линиях за год производились для неизменной нагрузки, результаты показаны на рис.3.

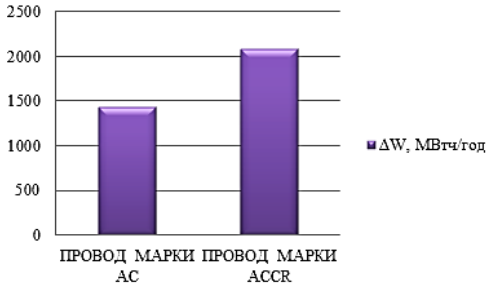


Рис.3. Сравнение потерь электроэнергии в линиях в проводах АС и ACCR.

Из сравнительного анализа следует, что при применении провода ACCR вместо АС, при аналогичной пропускной способности, наблюдаются увеличение технических потерь и замена считается нецелесообразной с точки зрения энергоэффективности. В то же время, использование данного провода положительно сказывается на надежности электроснабжения. Целесообразным будет применение провода ACCR при реконструкции ВЛЭП для повышения их пропускной способности, при необходимости сохранения существующих опор и габаритов.

Рассмотрим также замену голых проводов на СИП. На рис.4 представлены результаты расчета удельных потерь электроэнергии на один км линии, выполненной голым проводом марки АС-50 и СИП-2.

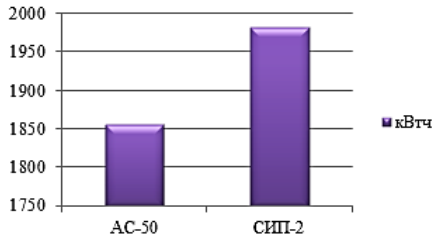


Рис.4. Сравнение потерь электроэнергии в линиях в проводах АС и СИП-2

Технические потери в линии с СИП-2 выше, вследствие того, что сопротивление изолированного провода немного больше, чем у голого провода. Хотя сокращение технических потерь, вследствие применения СИП и не прослеживается, но применять их целесообразно из-за существенного снижения коммерческих потерь.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что лишь проводя комплексные мероприятия, направленные как на снижение потерь электроэнергии, так и на повышение надежности сетевых компаний, будет достигнут наилучший результат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Износ оборудования – системная проблема всей электроэнергетической отрасли. [Электронный ресурс].-Режим доступа: http://market.elec.ru/nomer/36/iznos-oborudovaniya-sistemnaya-problema-vsej-elekt/

2. Композитный провод ACCR. [Электронный ресурс].-Режим доступа: http://www.3m.com/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?lmd=1291095688000&locale=ru_RU&assetType=MMM_Image&assetId=1273672433383&blobAttribute=ImageFile

3. Преимущества и недостатки СИП. [Электронный ресурс].-Режим доступа: http://www.likeproject.ru/article.php?cont=long&id=7

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ОТ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ СПОСОБА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ИХ ПИТАНИЯ

Булдаков Е.С.
Научный руководитель: Сумарокова Л.П. к.т.н. доцент
Томский политехнический университет, 634041, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aczxcdacxcd@mail.ru

In this article seeks to examine the improvement of LED lights on the example of changing the system to power the lamps. As a result of analysis the author shows that the change in the way power LED lamps have a positive impact on the LEDs, saving material resources in maintenance and material costs. The model the lighting system can be used in everyday life: offices, public spaces.

Светодиодные источники света одно из самых перспективных направлений развития систем искусственного освещения. На сегодняшний день эти светильники широко используются как в производстве, так и в быту. У них впечатляющие характеристики: светоотдача более 120 Лм/Вт, потребляемая мощность минимум в 3 раза меньше мощности люминесцентных ламп, срок службы, находящийся в пределах от 50000 до 100000 часов, в зависимости от производителя светодиодных ламп. При этом фактический срок службы таких светильников не всегда соответствует заявлениям производителей и может резко сократиться из-за выхода из строя встраиваемого импульсного блока питания. Это «Ахиллесова пята» светодиодных светильников. Сами светодиоды могут работать до 50000-100000 часов, но блоки питания – нет. Чаще всего производители делают эти блоки питания из деталей не высокого качества, которые очень чувствительны к различным изменениям напряжения в сети (например, колебаниям напряжения). Подобные изменения выводят блоки питания из строя. И когда, например, в квартире перегорает светодиодная лампа, люди выбрасывают её, думая, что сгорела вся лампа. А перегорает лишь блок питания, при этом сама светодиодная матрица остается в целостности. Стоимость блока составляет половину стоимости светильника, а их надежность оставляет желать лучшего.

Решением данной проблемы может стать использование одного общего источника питания, как более надежного. Это дает ряд преимуществ:

- данный блок питания выдерживает перепады напряжения от 160В до 260В;
- встраиваемая защита от КЗ и перенапряжений;
- способность регулировать освещенность, ±10% от выходного напряжения (48В);
- способность программировать ИПБ и управлять им с помощью микроконтроллера;
- низкая рабочая температура как самого блока (40-50^{o}C), так и светодиодных светильников (t<40^{o}C);
- безопасность в эксплуатации и в обслуживании светильников, т.к. они буду работать постоянно от напряжения 48В;
- нагружая блок питания до 80-90% от номинальной мощности, тем самым увеличивается срок службы не только блока, но и самих светильников, что позволит реально приблизиться к сроку службы самих светодиодов;
- дешевизна блока питания, стоимость составляет: 2 000 – 3 000 р.

Например, установив ИПБ и микроконтроллер в местах, общего пользования можно

запрограммировать блок питания по часовому поясу, чтобы он включал систему освещения по часам, дням, временам года, т.е. летом он будет включаться в 20 часов, а зимой в 16 часов. Так же с помощью различных датчиков можно запускать систему освещения от изменения погоды, например, от датчика света.

Монтаж и оценка эффективности данной системы проводится в следующем порядке:

Провод, для обеспечения электроэнергией осветительное оборудование, оставляем тот же. Питание нескольких светодиодных светильников производим путем установки на них общего блока питания с более высокими показателями надежности. Блок питания включаем последовательно, вблизи выключателя.

Производители выпускают светодиоды на конвейерах, благодаря чему, одинаковые с виду полупроводники будут иметь разброс в характеристиках до 20%. Это означает, что при протекании тока через последовательно соединенные светодиоды, например в светодиодной ленте, некоторые полупроводники могут выйти из строя. Это уже будет вопрос времени. Чтобы этого не допустить, перед тем, как запитать от имеющегося кабеля светодиодный светильник (который уже без блока питания), между проводкой и самим светильником последовательно устанавливаем сопротивление.

В момент запуска светодиодного осветительного оборудования ток имеет одно значение, а затем, когда светильник проработает некоторое время, его температура увеличивается, соответственно и увеличится сопротивление, а с ним и ток.

Все полупроводники, а особенно светодиоды, боятся токов. Это все связано с тем, что удельное сопротивление полупроводников зависит от температуры. С повышением температуры сопротивление полупроводника уменьшается и может возникнуть лавинный процесс увеличения тока, произойдет пробой, и светодиод сгорит.

Дополнительное сопротивление будет служить как балластное сопротивление для стабилизации тока и позволит:

- сдерживать ток, не давая ему увеличиваться, т.к. падение напряжение будет расти;
- уменьшить выходное напряжение блока питания до нужного напряжения для светодиодного светильника. Даже если уставить на блоке питания максимальное выходное напряжение (48В + 10%), то сопротивление все равно уменьшит напряжение до нужного значения.

Балластное сопротивление рассчитываем используя закон Ома:

$$Rбл = (Umax - Uсв)/I \text{ ,Ом}$$

где Umax – максимальное напряжение, выдаваемое блоком питания: $48 + 10\% = 48 + 4{,}8 = 52{,}8$В; 48+10%=48+4,8= 52,8В; Uсв – номинальное напряжение светодиодного светильника; I – ток, протекающий через светодиодный светильник; ($Umax - U$св)– необходимое падение напряжения.

Есть еще один путь уменьшения рабочей температуры – это правильный и добросовестный монтаж радиатора. Например, можно взять светодиодный светильник типа «Армстронг». Радиатором здесь будет служить сам корпус светильника. Установка в нем светодиодных линеек будет производиться следующем образом:

1. нанести на поверхность светодиодной линейки термопасту, которая даст больший отвод тепла от корпуса светильника;
2. крепление светодиодной линейки должно осуществляться в 5 местах, для более плотного

прилегания.

Как показала практика: 3 точки крепления – мало.

Температура на корпусе светильника, как и на самих светодиодных лентах не будет достигать и 40^{o}C.

Благодаря соблюдениям всех этих мероприятий можно добиться от светодиодного светильника максимального срока службы.

В качестве оценки эффективности и надежности данного способа подключения светодиодных источников была проведена замена светильника «Армстронг» (с люминесцентными лампами типа ЛВО-4 Х 18) установленной мощностью 72 кВт на светодиодный светильник «Армстронг» установленной мощностью 30 Вт и напряжением питания 24 В с управляемым блоком питания – HTS-200-24 mini HAITAIK. В качестве преимуществ светодиодной системы такого исполнения можно отметить следующие достоинства:

- Регулирование освещенности с помощью программируемого таймера, который подключен к блоку питания;
- Низкая рабочая температура светильников;
- Безопасность в эксплуатации и в обслуживании, т. к. светильники питаются стабилизированным постоянным напряжением 24В;
- Коэффициент цветопередачи светодиодного светильника Ra > 80. Комфортное для человеческого глаза значение от 80 - 100 Ra;
- Срок службы светильников увеличивается до 95% от заданного значения.

Сравнительный анализ расходов по данным вариантам показал следующее (табл.1):

Таблица 1

Сравнительный анализ использования люминесцентных и светодиодных ламп подключенных по предложенной методике

Наименование	Люминесцентный «Армстронг»	Светодиодный «Армстронг»
Потребление электрической энергии за 1 год:	11 664, 0 кВт·ч	3 628, 8кВт·ч
Оплата за электрическую энергию за 1 год:	22 045, 0руб.	6 858, 4руб.
Затраты на замену ламп за 1 год:	2 000 руб.	0 руб.
Затраты на обслуживание за 1 год:	25 000 руб.	0 руб.

Данная система светодиодного освещения может широко применяться во взрывоопасных средах, где нужна высокая надежность, бесперебойность и низкая рабочая температура осветительного оборудования.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА НАГРЕВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ТИПИЧНЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Бычкова А.А., Абрамова А.В.
Научный руководитель: Атрошенко Ю.К , ассистент
Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: b_alena_93@mail.ru

NUMERICAL RESEARCH OF INTEGRATED CHARACTERISTICS OF PROCESS OF HEATING OF THE SENSITIVE ELEMENT OF TYPICAL RESISTANCE THERMOCONVERTERS

Bychkova A.A., Abramova A.V.
Scientific Supervisor: Assistant cafes. ATP ENIN Atroshenko Yu.K.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: b_alena_93@mail.ru

Numerical research of integrated characteristics of process of heating of the sensitive elements of resistance thermoconverters like types Pt, Cu and Ni was executed. The theoretical dependences of sufficient duration of heating of RTD on the taken temperature were received. It is shown that platinum RTD require less time of heating for obtaining satisfactory accuracy of measurements.

Температура является одним из наиболее часто измеряемых параметров технологических процессов в промышленности. В большинстве систем управления и контроля для измерения температуры используются преобразователи температуры – термоэлектрические преобразователи (ТЭП) и термометры сопротивления (ТПС). Часто температура является не только показателем качества протекания технологического процесса, но и критерием безопасности. Поэтому достоверность измерения температуры является важнейшей характеристикой датчиков температуры [1–4].

На погрешность измерения температуры контактными средствами измерения оказывает влияние ряд факторов, в том числе, длительность выполнения измерений. Оценить требуемую длительность выполнения измерения для различных типов преобразователей температуры возможно с помощью прогностической модели [2,3].

Целью настоящей работы является разработка прогностической модели термопреобразователя сопротивления для определения интегральных характеристик (длительность нагревания, температурное поле) процесса теплопереноса в чувствительном элементе ТПС.

Область решения задачи представляет неоднородную систему, состоящую из металлического чувствительного элемента (медь, платина или никель), порошка окиси алюминия и защитного чехла (рис. 1).

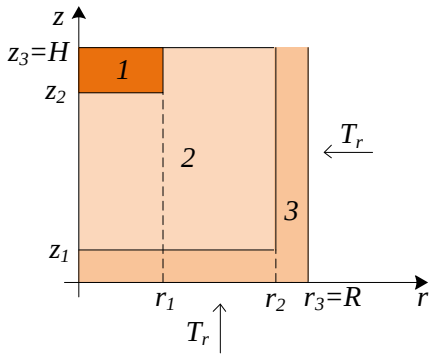


Рис. 1. Схема области решения задачи: 1 – чувствительный элемент; 2 – порошок Al_2O_3; 3 – защитный чехол.

Нестационарный процесс переноса тепла описывается системой дифференциальных уравнений теплопроводности для каждого слоя (1) – (3) и соответствующими граничными условиями:

$$c_1 \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right); \; 0 < r < r_1, \; z_2 < z < H; \tag{1}$$

$$c_2 \cdot \rho_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right); \; 0 < r < r_2, \; z_1 < z < z_2, r_1 < r < r_2, \; z_2 < z < H; \tag{2}$$

$$c_3 \cdot \rho_3 \cdot \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_3}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} \right); \; 0 < r < r_3, \; 0 < z < z_1, r_2 < r < r_3, \; z_1 < z < H. \tag{3}$$

где ρ – плотность, м^3/ч; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); индексы: 1 – чувствительный элемент ТПС, 2 – порошок окиси алюминия, 3 – защитный чехол.

Граничные условия для границы «Чувствительный элемент – порошок Al_2O_3» ($r=r_1$, $z=z_2$):

$T_1(r_1,z) = T_2(r_1,z)$ $\quad (z_2<z<H);$ $\qquad$ $T_1(r,z_2) = T_2(r,z_2)$ $\quad (0<r<r_1);$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r}\bigg|_{r=r_1} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}\bigg|_{r=r_1} \qquad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z}\bigg|_{z=z_2} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z}\bigg|_{z=z_2}$$

«Порошок Al_2O_3 – защитный чехол» ($r=r_2$, $z=z_1$):

$T_2(r_2,z) = T_3(r_2,z)$ $\quad (z_1<z<H);$ $\qquad$ $T_2(r,z_1) = T_3(r,z_1)$ $\quad (0<r<r_2).$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}\bigg|_{r=r_2} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}\bigg|_{r=r_2} \qquad -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z}\bigg|_{z=z_1} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial z}\bigg|_{z=z_1}$$

Начальные и краевые условия: $t = 0; \; T = T_0;$

$$r = 0; \; \frac{\partial T}{\partial r} = 0; \; r = R; \; T = T_r;$$

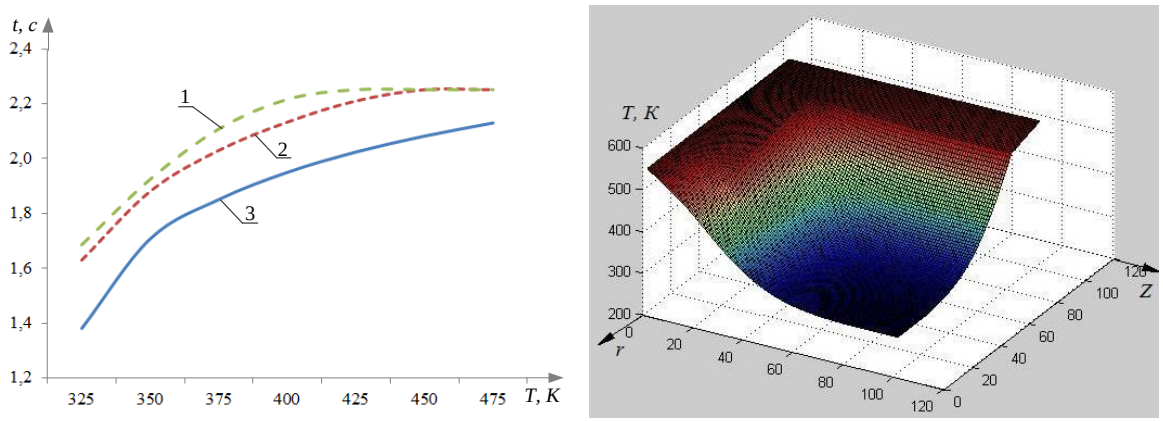
$$z = 0; \; T = T_r; \; z = H; \; \frac{\partial T}{\partial t} = 0.$$

Математическое моделирование выполнено с учетом теплофизических характеристик [5,6]: чувствительный элемент ТПС (тип *Pt*): λ_1=70 Вт/(м·К); C_1=134 Дж/(кг·К); ρ_1=21500 кг/м^3; чувствительный элемент ТПС (тип *Cu*): λ_1=390 Вт/(м·К); C_1=385 Дж/(кг·К); ρ_1=8890 кг/м^3; чувствительный элемент ТПС (тип *Ni*): λ_1=92 Вт/(м·К); C_1=500 Дж/(кг·К); ρ_1=8900 кг/м^3; порошок Al_2O_3: λ_2=6,57 Вт/(м·К); C_2=850 Дж/(кг·К); ρ_2=1520 кг/м^3; металлический чехол: λ_3=47 Вт/(м·К); C_3=460 Дж/(кг·К); ρ_3=7800 кг/м^3.

Решение задачи выполнено методом конечных разностей на основе четырехточечной неявной разностной схемы. Область решения задачи представляет сетку 200×200 узлов с шагами $2{,}5 \cdot 10^{-2}$ мм по осевой и радиальной координатам, шаг по времени t = 0,001 с [7].

В качестве показателя окончания процесса нагревания выбран момент достижения чувствительным элементом температуры, отличной от температуры на границе области решения на величину, не превышающую допускаемую погрешность измерения. Для платиновых ТПС предел допускаемого отклонения от НСХ составляет (± (0,6+0,008·| T_r – 273|)) К (класс допуска С); для медных ТПС – (± (0,5+0,0065·| T_r – 273|)) К (класс допуска В); для никелевых – (± (0,3+0,008·| T_r – 273|)) К (класс допуска С) [8].

Полученные зависимости для длительности нагревания ТПС до температуры в диапазоне от 325 К до 475 К показаны на рис. 2, а.



а) б)

Рис. 2. Результаты численного исследования: а – зависимость достаточного времени нагревания чувствительного элемента ТПС от измеряемой температуры; б – Распределение температуры в чувствительном элементе ТПС (НСХ 100Pt); 1 – ТПС типа Ni; 2 – ТПС типа Cu; 3 – ТПС типа Pt

Из рис. 2, *а* видно, что зависимость между временем нагревания для исследуемых термометров сопротивления носит нелинейный характер и стремится к постоянному значению в области температур, которым соответствует непостоянное значение допускаемого отклонения от номинальной статической характеристики. Для платиновых ТПС требуется меньшее время нагревания, чем для медных и никелевых термометров.

На рис. 2,*б* показано распределение температуры в чувствительном элементе термоэлектрического преобразователя типа 100*Pt* при нагреве до температуры 600 К после окончания процесса нагревания. Видно, что в первоначальный момент времени происходит интенсивное нагревание защитного чехла за счет поддержания постоянной температуры на границах $z = 0$ и $r = R$ (рис. 1).

В работе дано описание модели термопреобразователей сопротивления, позволяющей выполнять прогностическую оценку длительности нагревания ТПС для получения требуемых погрешностей. Получены теоретические зависимости длительности нагревания ТПС от измеряемой температуры.

Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» №13.1339.2014/К (шифр федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. By Cao, Tao-Feng Modeling the temperature distribution and performance of a PEM fuel cell with thermal contact resistance. International Journal of Heat and Mass Transfer, **87**, 2015. – pp. 544-556.
2. Атрошенко Ю.К., Озерова И.П., Стрижак П.А. Влияние теплового контакта на результаты измерений поверхностных термоэлектрических преобразователей. – Научно-технические ведомости СПбГПУ, № 1 (214), 2015. – С. 97–105;
3. Атрошенко Ю.К. Численное исследование интегральных характеристик теплопереноса в типичных термоэлектрических преобразователях. – СТТ-2014: сборник трудов конференции в 3 т. – Томск: ТПУ, 2014 – Т. 3 – С. 127–128;
4. Hayes A. RTDs vs. Thermocouples. – Flow Control, vol. 20, Is. 8, 2014. – pp.34–36;
5. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов: справочное руководство. – М.: Государственно издательство физико-математической литературы, 1959. – 357 с.
6. Григорьев И.С., Мейлихов Е.З. Физические величины: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
7. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. – М.: Наука, 1978. – 532 с.
8. ГОСТ 6651–2009 Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний, М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОР», 2009. – 31 с.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Вершинина К.Ю.
Научный руководитель: Глушков Д.О., к.ф.-м.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dmitriyog@tpu.ru

INFLUENCE OF HEAT TRANSFER CONDITIONS ON IGNITION CHARACTERISTICS OF COAL DUST

Vershinina K.Yu.
Scientific Supervisor: Glushkov D.O., Candidate of Physico-mathematical Sciences
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: dmitriyog@tpu.ru

The experimental research was carried out to define ignition characteristics for brown coal dust particles with sizes of 80 microns. The research was executed in conditions of conductive and convective methods of energy supply. Ignition delay times were determined in the temperature range from 670 K to 870 K. The experimental results can be used to develop predictive models of fire hazard for technological processes using pulverized coal.

Использование угольной пыли в качестве топлива на ТЭС для производства электрической и тепловой энергии связано с риском возникновения очагов нерегламентированных возгораний и взрывов [1, 2]. При свободном доступе воздуха и повышенных температурах создаются условия для возможного выполнения критериев зажигания угольной пыли. На ТЭС подобные условия могут выполняться в системах топливоподготовки, а также при контакте частиц угольной пыли с недостаточно изолированными нагретыми поверхностями технологического оборудования. В связи с этим интерес представляет исследование физико-химических процессов, протекающих при нагревании частиц угольной пыли конвективным (потоком разогретого воздуха) и кондуктивным (при контакте с разогретой поверхностью) способами.

Целью работы является экспериментальное исследование характеристик зажигания угольной пыли при кондуктивном и конвективном нагреве. В качестве объекта исследования выбран бурый уголь Таловского месторождения. Размер частиц угля в полидисперсной смеси образца не превышал 80 мкм.

На рис. 1 приведена схема стенда №1, используемого для реализации кондуктивного способа нагрева. При проведении экспериментов образцы угольной пыли помещались на поверхность металлической пластины (сталь) (рис. 2а), для нагрева которой использовалась система индукционного нагрева *1* и *2*. Для водяного охлаждения силовых элементов генератора и индукционной катушки, изготовленной из медной трубки, служит чиллер *3*. Измерение и поддержание заданной температуры поверхности стальной пластины осуществлялось при помощи инфракрасного пирометра *4*. Видеофиксация быстропротекающих процессов в окрестности поверхности пластины в течение индукционного периода осуществлялась высокоскоростной видеокамерой *5*. Сохранение и обработка видеозаписи при помощи специализированного программного обеспечения «Phantom Camera Control» выполнялась на персональном компьютере *6*. Время задержки зажигания t_d определялось по видеозаписи и отсчитывалось до появления пламени.

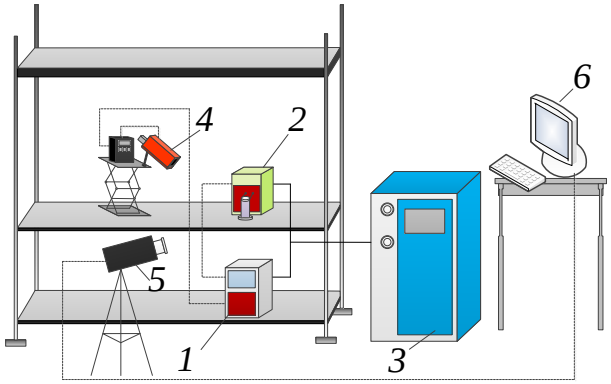
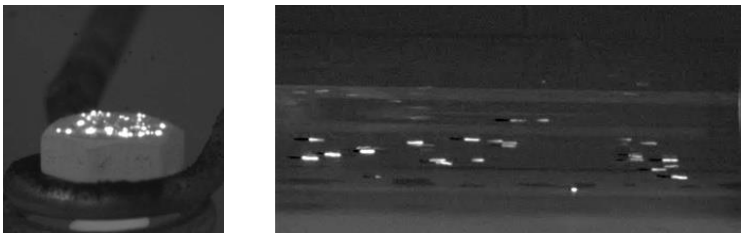


Рис. 1. Схема стенда №1: 1 – генератор; 2 – индукционный нагреватель; 3 – чиллер; 4 – инфракрасный пирометр; 5 – высокоскоростная видеокамера; 6 – персональный компьютер.



а *б*

Рис. 2. Зажигание угольной пыли при кондуктивном (а) и конвективном нагреве (б)

Для исследования процесса зажигания угольной пыли при конвективном нагреве использовался стенд №2 (рис. 3).

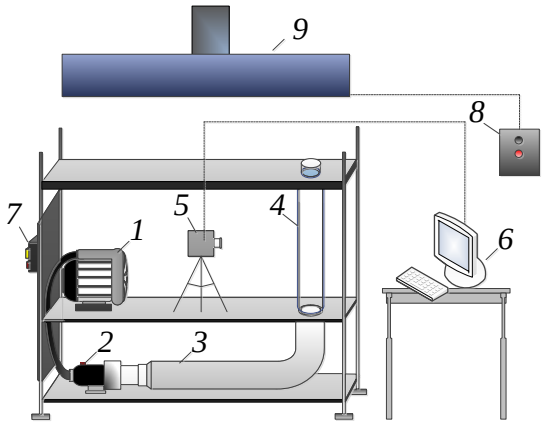


Рис. 3. Схема стенда №2: 1 – вентилятор высокого давления; 2 – воздухонагреватель; 3 – канал подачи прогретого воздуха; 4 – полый стеклянный цилиндр; 5 – высокоскоростная видеокамера; 6 – персональный компьютер; 7 – пульт управления нагревательной установкой; 8 – пульт управления вытяжной вентиляцией; 9 – вытяжная вентиляция.

В ходе эксперимента вентилятор высокого давления *1* нагнетал воздух с температурой окружающей среды на вход воздухонагревателя *2*. Затем нагретый воздух проходил через канал *3* с тепловой изоляцией и подавался в полый стеклянный цилиндр *4*, куда помещались образцы исследуемого топлива (рис. 2б). Видеофиксация быстропротекающих процессов внутри цилиндра *4* осуществлялась высокоскоростной видеокамерой *5*. Сохранение и обработка видеозаписи при помощи специализированного программного обеспечения «Phantom Camera Control» выполнялась на персональном компьютере *6*. После стабилизации температуры в канале *3* частицы угольной пыли помещались в полость стеклянного цилиндра *4*. В момент ввода образца в газовый поток начиналась

видеофиксация процесса. Время задержки зажигания t_d определялось по видеозаписи и отсчитывалось до появления пламени.

Результаты экспериментов по зажиганию частиц пыли бурого угля представлены рис. 4 в виде зависимости времен задержки зажигания от температуры в условиях кондуктивного и конвективного нагрева в диапазоне температур от 670 К до 870 К.

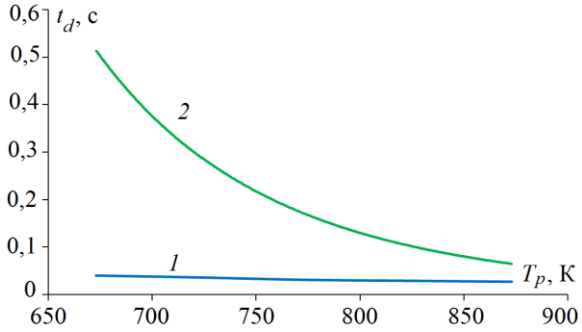


Рис. 4. Зависимости времен задержки зажигания частиц бурого угля от температуры пластины (1) и воздуха (2)

Видно, что зажигание частиц угля на поверхности пластины (рис. 4, кривая 1) характеризуется малым индукционным периодом – воспламенение частиц во всём рассматриваемом температурном диапазоне происходило за короткий промежуток времени, не превышающий 0,04 с.

При нагреве потоком воздуха (рис. 4, кривая 2) наблюдался более длительный процесс воспламенения частиц угольной пыли (по сравнению с нагревом на горячей пластине), что особенно выражено при температурах воздуха не более 750 К. В этом случае времена задержки зажигания превысили 0,25 с.

Экспериментальные исследования позволили установить, что процессы теплообмена протекают более интенсивно при кондуктивном нагреве частиц угольной пыли. Несмотря на это, оба способа подвода тепла привели к быстрому воспламенению частиц (t_d не более 0,6 с в диапазоне температур от 670 К до 870 К). Полученные данные о временах задержки зажигания частиц бурого угля могут быть использованы при оценке потенциальной опасности процесса нагрева угольной пыли в условиях реального технологического процесса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-03-31304 мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Захматов В.Д. Угроза государственной программе по энергетической независимости Украины – переводу газовых электростанций на угольную пыль // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22. – № 8. – С. 63–69.
2. R.C. Carini, K.R. Hules. Prevention, Detection, and Control of Coal Pulverizer Fires and Explosions. – Electric Power Research Institute, 2000. – 284 p.

АНАЛИЗ КОММУТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ В СИЛОВЫХ КЛЮЧАХ ИНВЕРТОРА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Волков А.В., Попов А.А., Белкина Е.Н.
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

ANALYSIS SWITCHING LOSSES IN THE POWER SWITCHES INVERTER REGULATED ELECTRIC DRIVE

Volkov A.V., Popov A.A., Belkina E.N.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Gulyaev I.V.
Mordovia State University, Russia, Saransk, B. Khmelnitsky str., 39, 430000
E-mail: elsoldador@rambler.ru

Abstract. The results of theoretical asynchronies engine valve on the basis of voltage inverter implemented using the power switches IGBT modules. In particular, given the calculation of losses in the power switches and provides a series of recommendations to reduce them.

Сегодня регулируемый электропривод (РЭП) переменного тока является самым надежным и экономически целесообразным способом преобразования электрической энергии в механическую. Применение теории векторного управления в силовой преобразовательной технике создает предпосылки для разработок как частично, так и полностью управляемых электромеханических систем, функционирующих в соответствии с заданными законами. В лаборатории вентильных электрических машин НИ МГУ им Н.П. Огарева ведутся исследования нового типа контактного и бесконтактного вентильного двигателя (ВД) на базе машины двойного питания, получившего название «асинхронизированный вентильный двигатель» (АВД), а также электропривода на его основе [1, 2].

АВД является аналогом двигателя постоянного тока (ДПТ) независимого возбуждения с жесткими скоростными и механическими характеристиками [1, 2, 3]. Данный тип электропривода представляет собой электромашинно-вентильный комплекс (рис.1), состоящий из асинхронного двигателя с фазным ротором (АДФР) и двух преобразователей частоты (ПЧ). Обмотка статора – якорь АВД – питается от ПЧs, инвертор тока (напряжения) которого управляется по фазе напряжения (тока) якоря, обмотка ротора – обмотка возбуждения – подключена к собственному преобразователю частоты ПЧr с низкой фиксированной частотой в режиме пуска.

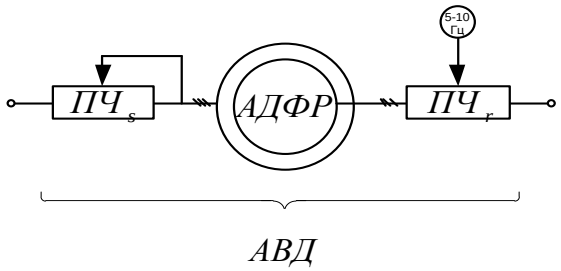


Рис. 1 Функциональная схема АВД

Важным вопросом при реализации энергоэффективных законов управления ЭП является их влияние на энергетические показатели ПЧ. Коммутационные потери в силовых ключах являются одной из основных составляющих общих потерь в ЭП. Особенно актуально это для привода на основе АВД, поскольку применение двух ПЧ может свести на нет все усилия по реализации энергоэффективных законов управления. Поэтому следует учесть потери в IGBT-транзисторах, которые чаще всего применяются для построения ПЧ.

Определим активные потери в элементах силовой части ПЧ, где в качестве нагрузки выбран АД с фазным ротором 4АК160М4УЗ мощностью 14 кВт. Структура силовых ПЧ двухзвенная с промежуточным звеном постоянного тока. Входное напряжение инвертора примем $U_d = 537B$, а максимальный фазный ток $I_{\max} = 39,47A$.

Для расчета потерь активной мощности от протекания прямых токов в транзисторах и диодах инвертора необходимо знание средних и действующих значений этих токов [4].

Простые расчетные соотношения для средних и действующих значений токов транзисторов и диодов инвертора с синусоидальной ШИМ можно получить, если сделать допущение о пределе кратности отношения частот коммутации (частоты тактов при ШИМ) к выходной частоте инвертора. Тогда импульсы тока в вентиле можно аппроксимировать непрерывной функцией, равной на каждом такте среднему значению исходной импульсной функции анодного тока. Реальные импульсы тока вентиля подвержены двойной модуляции: амплитудной по закону модуля синусоиды выходного тока инвертора и широтно-импульсной по закону синусоидального модулирующего сигнала, формирующего синусоидальную ШИМ в инверторе. Тогда среднее значение тока транзистора за период выходной частоты инвертора можно получить усреднением указанной аппроксимирующей непрерывной функции текущих средних значений по тактам тока вентиля:

$$I_T = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \vartheta_{И.Т} I_{T\max} \sin \omega t d\vartheta; \qquad (1)$$

где $\vartheta_{И.Т} = \frac{1}{2}\left[1 + M\sin(\omega t + \varphi)\right] = \frac{t_{И.Т}}{T_T}$ – текущее значение относительной длительности импульса тока вентиля (в интервале такта T_T); φ – фаза выходного тока инвертора относительно первой гармоники выходного напряжения инвертора; M – глубина широтно-импульсной модуляции, задаваемая отношением амплитуды модулирующего сигнала к амплитуде симметричного треугольного опорного сигнала; $I_{T\max}$ – амплитуда синусоиды выходного тока инвертора. В нашем случае $M = \frac{U_d}{U_t} = \frac{537}{15} \approx 35$, где U_t – амплитуде симметричного треугольного сигнала.

После вычисления интеграла (1) получим:

$$I_T = \frac{I_{\max}}{2\pi}\left(1 + \frac{M\pi}{4}\cos\varphi\right) = \frac{39,47}{2\pi}\left(1 + \frac{35\pi}{4}0,95\right) = 170,5A \qquad (2)$$

Среднее значение тока обратных вентилей инвертора определяется как разница средних значений полуволны выходного тока инвертора и тока транзистора (2):

$$I_Д = \frac{1}{\pi}I_{\max} - I_T = \frac{I_{\max}}{2\pi}\left(1 - \frac{M\pi}{4}\cos\varphi\right) = \frac{39,47}{2\pi}\left(1 - \frac{35\pi}{4}0,95\right) = 157,9A \qquad (3)$$

На основе выражения (2) вычисляется действующее значение тока транзистора:

$$I_{Т.Д} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \vartheta_{И.Т} I_{T\max}^2 \sin^2 \omega t d\vartheta} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{1}{4} + \frac{2M}{3\pi}\cos\varphi} = \frac{39,47}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{1}{4} + \frac{2M}{3\pi}\cdot 0,95} = 76,1A$$

В соответствии с отмеченным рассмотрением тока диода (3) дополняющего в нулевые паузы ток транзистора до полуволны синусоиды действующее значение тока диода будет очевидно равно:

$$I_{Д.Д} = \sqrt{\left(\frac{I_{\max}}{2}\right) - I_{Т.Д}^2} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{1}{4} - \frac{2M}{3\pi}\cos\varphi} = \frac{39,47}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{1}{4} - \frac{2M}{3\pi}\cdot 0,95} = 74,6\,A$$

Действующее значение входного тока инвертора при симметричных фазах нагрузки:

$$I_{ВХ.Д} = I_{\max}\frac{\sqrt{6}}{8}\sqrt{4-M^2+4M^2\cos^2\varphi} = 39,47\cdot\frac{\sqrt{6}}{8}\sqrt{4-M^2+4M^2\cos^2\varphi} = 67,8A$$

Коэффициент гармоник входного тока инвертора, определяющий степень загрузки токами высших гармоник конденсатора фильтра в звене постоянного напряжения инвертора, будет равен:

$$K_{Г.Т.ВХ} = \frac{\sqrt{I^2_{ВХ.Д} - I^2_{ВХ.СР}}}{I_{ВХ.СР}} = \sqrt{\frac{4-M^2+4M^2\cos^2\varphi}{6M^2\cos^2\varphi}-1} = 0,7$$

Электрические потери в силовых ключах трехфазного АИН, выполненного по мостовой схеме:

$$P_n = 6\cdot P_k, \quad (4)$$

где $P_к$ — мощность потерь энергии в силовом ключе.

Мощность потерь в силовом ключе инвертора определяется следующим выражением:

$$P_k = I_{Т.Д}\cdot U_{gr} + I^2_{Д.Д}\cdot R_{dif} \quad (5)$$

Подставляя выражение (5) в (4) получим:

$$P_n = 6\cdot(I_{Т.Д}\cdot U_{gr} + I^2_{Д.Д}\cdot R_{dif}), \quad (6)$$

где U_{gr} – граничное падение напряжения при прямом и обратном токах; R_{dif} – дифференциальные сопротивления при прямом и обратном токах. Значение U_{gr} и R_{dif} определяются из паспортных данных на конкретный модуль (в нашем случае значение $U_{gr} = 1,8B$, $R_{dif} = 0,0080\ Ом$). Подставляем значения в (6) получим :

$$P_n = 6\cdot(I_{Т.Д}\cdot U_{gr} + I^2_{Д.Д}\cdot R_{dif}) = 6\cdot(76,1\cdot 1,8 + 74,6^2\cdot 0,0080) \approx 1089Bm$$

Полученные значения мощности потерь в силовых ключах инвертора соответствуют рекомендациям, данным в [5]. Специальный подбор силовых ключей в ПЧ по минимуму коммутационных потерь не осуществлялся.

Проведенные исследования позволяют дать ряд рекомендаций для снижения коммутационных потерь в преобразователях частоты в системе электропривода на базе АВД:

– подбор ключей по основным электрическим параметрам,

– выбор оптимального способа ШИМ,

– применение специальных энергоэффективных алгоритмов управления, предложенных в статье [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ботвинник М.М. Управляемая машина переменного тока / М.М. Ботвинник, Ю.Г. Шакарян. – М.: Наука, 1969. – 142 с.

2. Тутаев Г.М. Асинхронизированный вентильный двигатель как многоканальный объект управления / Г.М. Тутаев // Электричество. – 2013. – № 10. – С. 48-51.

3. Гуляев И.В. Электропривод на базе асинхронизированного вентильного двигателя / И.В. Гуляев, А.В. Волков, А.А. Попов и др. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 1. – С. 70-73.

4. Зиновьев Г.С. Силовая электроника : учебное пособие для бакалавров / Г.С. Зиновьев. – 5-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2015. – 667 с.

5. Семенов Б.Ю. Силовая электроника : профессиональные решения / Б.Ю. Семенов. – М. : Издательство Солон-Пресс, 2011, – 416 с.

6. Тутаев Г.М. Анализ потерь в электроприводе с асинхронизированным вентильным двигателем / Г.М. Тутаев, Е.Н. Белкина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 2. – С. 206-209.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Воробьева Д.Ю., Глушкова А.И.
Научный руководитель: Долгопол Т.Л., доцент
Кузбасский государственный технический университет
Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя,28, 650000
E-mail: DashaV07@gmail.com

INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF POWER SUPPLY SYSTEMS OF RURAL CONSUMERS

Vorobeva D.Y., Glushkova A.I.
Scientific Supervisor: Dolgopol T.L., docent
Kuzbass State Technical University, Russia, Kemerovo,Vesennyaya str.,28, 650000
E-mail: DashaV07@gmail.com

The quality of electricity is an important indicator of energy efficiency of power supply to consumers. Deviation power quality causes additional losses of electricity during its transmission to population, this has a negative impact on the quality of electric energy. The article presents measures to increase the energy efficiency of power supply systems of rural consumers.

Качество электроэнергии является важным аспектом энергосбережения, так как отклонения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) от требований нормативных документов могут привести к значительному увеличению потерь электрической энергии.

Нормальное функционирование электроприемников, используемых в быту и различных технологических процессах предприятий, а также расход электроэнергии во многом зависят от показателей качества электроэнергии. В связи с этим, оценка влияния качества электроэнергии на энергоэффективность систем электроснабжения различных объектов является весьма актуальной.

Проблемами систем электроснабжения (СЭС) в сельской местности являются: обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей, повышение энергоэффективности систем электроснабжения, т.е. передача электроэнергии конечным потребителям с минимально возможными потерями.

Основными преградами на пути повышения надежности передачи электрической энергии является неравномерность графиков нагрузки в сельской местности и большая протяженность линий электропередач. Добиться повышения надежности и экономичности систем электроснабжения в сельской местности возможно, если будут приняты меры по реконструкции электрических сетей и проведены мероприятия по сокращению потерь электроэнергии при ее передаче.

В данной работе были проанализированы однолинейные схемы электроснабжения, данные по объемам электропотребления, а также показатели качества электроэнергии (ПКЭ) поселков Кемеровского района.

Потребители в сельской местности часто обращаются к гарантирующим поставщикам с жалобами на низкий уровень качества электроэнергии. Чтобы решить данную проблему, сетевым компаниям необходимо работать над обеспечением требуемого уровня ПКЭ, которые, в свою очередь, приведут к повышению энергоэффективности СЭС бытовых потребителей.

Одной из основных проблем в сельских сетях являются значительные значения медленных отклонений напряжения, существенно превышающие нормативные показатели. В связи с этим, в работе проанализировали различные мероприятия по снижению потерь напряжения в СЭС бытовых

потребителей.

Еще одним проблемным ПКЭ для систем электроснабжения бытовых потребителей является коэффициент несимметрии из-за преобладающего количества однофазных электроприемников и случайного характера нагрузки, даже равномерно распределенной по фазам. Расчеты ПКЭ для СЭС поселка Журавлев показали, что коэффициент несимметрии по нулевой последовательности превышает норму практически для 50% потребителей.

Для обеспечения сельских потребителей электрической энергией надлежащего качества и повышения энергоэффективности систем электроснабжения были предложены и произведена оценка нескольких мероприятий по повышению качества электроэнергии.

В настоящее время, достаточно активно происходит реконструкция сельских распределительных сетей с заменой, ранее применяемых, неизолированных алюминиевых проводов на СИП. Это дает возможность скорректировать сечения линий, выбрать рациональное регулировочное ответвление силового трансформатора, т.е. выбрать параметры электрической сети адекватные фактической нагрузке, чтобы нивелировать потери напряжения в электрической сети и обеспечить требуемый стандартами уровень напряжения.

Кроме увеличения сечений магистральных воздушных линий в целом или на отдельных участках, можно повлиять на отклонения напряжения, сокращая длину линий. Как известно, оптимальная длина линий электропередач обеспечивается при размещении трансформаторных подстанций в центре электрических нагрузок. Данное мероприятие было рассмотрено на примере схемы электроснабжения пос. Журавлево. Перенос существующей подстанции обеспечил у наиболее удаленных потребителей требуемые уровни отклонения напряжения.

При несимметрии нагрузки фаз не только появляются дополнительные потери электроэнергии от уравнительных токов, но их протекание вызывает также увеличение потерь напряжения. Как выяснилось, простым перераспределением нагрузки по фазам удалось снизить максимальные потери напряжения в 2 раза в СЭС поселка Елыкаево и выровнять их по фазам. Эффективность проведения данного мероприятия представлена в табл. 1.

Таблица 1

Потери напряжения при перераспределении нагрузки по фазам

Показатель	Неравномерность моментов нагрузки	ΔU_A, %	ΔU_B, %	ΔU_C, %
До симметрирования	159,92 %	22,13	12,30	-3,06
После симметрирования	6,75 %	11,08	9,90	10,45

Децентрализация систем электроснабжения потребителей в сельской местности также позволяет повлиять как на показатели качества электроэнергии, так и на ее потери. Данное мероприятие условно можно разделить на два варианта: выбор оптимального количества ТП для питания обособленных групп потребителей и использование индивидуальных ТП.

Увеличение количества ИП для рассматриваемого множества потребителей позволяет сократить общую протяженность низковольтной распределительной сети, расстояние до наиболее удаленного потребителя и снизить нагрузку на участках сети. Данные факторы позволяют уменьшить потери напряжения.

Еще одним мероприятием по повышению КЭ является установка вольтодобавочного трансформатора (ВДТ), который обеспечит допустимый уровень отклонения напряжения в часы максимума электропотребления у конечного потребителя без изменения параметров распределительной сети.

В табл. 2 приведено сравнение пяти различных способов сокращения потерь напряжения для сельской сети п. Барановка Кемеровского района. Реализация каждого из этих мероприятий позволяет обеспечить приемлемый уровень отклонений напряжения у потребителей в данной сети, критерием их эффективности является минимум приведенных затрат.

Таблица 2

Приведенные затраты при реализации различных вариантов мероприятий при полной и частичной реконструкции

Мероприятие	Приведенные затраты при полной реконструкции, руб.	Приведенные затраты при частичной реконструкции, руб.
Увеличение сечений в исходной схеме	486 774,61	130 484,94
Увеличение сечений при переносе КТП в ЦЭН	464 095,65	-
Увеличение количества КТП до 3-х	560 523,93	280 668,54
Использование индивидуальных КТП	1 485 884,03	-
Использование ВДТ	996 089,96	607 392,06

Согласно рассчитанным значениям, при полной реконструкции сети наиболее целесообразным является увеличение сечений ЛЭП при расположении КТП в ЦЭН, наиболее дорогостоящим является вариант использования индивидуальных КТП. По данным табл. 2 видно, что варианты с увеличением числа КТП и применением ВДТ имеют большие затраты вследствие дороговизны КТП и трансформаторов, уменьшение затрат на провода, опоры или потери электроэнергии не компенсирует увеличение финансовых вложений на КТП (ВДТ). При частичной реконструкции исходной сети наименьшие приведенные затраты имеет вариант с увеличением сечений ЛЭП.

Для достижения требуемого КЭ необходимо применять комплекс мероприятий по увеличению энегоэффективности СЭС сельских потребителей. Так помимо снижения потерь напряжения в сети, необходимо выполнять симметрирование нагрузки, а также выбирать оптимальное положение регулировочных ответвлений в силовом трансформаторе. В противном случае, мероприятия будут малоэффективны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**:**

1. Чернов Д. В. Исследование влияния надежности системы электроснабжения на качество электроэнергии на шинах сельских потребителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tekhnosfera.com - 05.14.02.

2. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения – М.: Издательство, 2013.

3. Жежеленко, И.В. Влияние качества электроэнергии на сокращение срока службы и снижение надежности электрооборудования. – 2008. - №3

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ КОТЛА БЛОКА 500 МВТ ПРИ СЖИГАНИИ НАЗАРОВСКОГО УГЛЯ

[1]Гергелижиу П.С., [2]Щербакова К.Ю.,
Научный руководитель: [3]Лебедев Б.В., к.т.н., доцент
1, 3-Томский политехнический университет
2-ООО «Инженерный центр «Теплоуниверсал»
Email: offix@bk.ru

NUMERICAL SIMULATION OF AEROTHERMAL PROCESSES IN 500 MW BLOCK BOILER FURNACE WITH NAZAROVSKIY COAL AS A PRIMARY FUEL

[1]Gergelizhiu P. S., [2]Shcherbakova K.Y.
Scientific Supervisor : [3]Lebedev B.V., PhD
1-3 Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Leninn Avenue, 30, 634050
2 Engineering Center «Teplouniversal» LLC, Tomsk, Lenin Avenue, 30a, 364050
E-mail : offix @bk.ru

Abstract. *Low-temperature vortex combustion technology was researched. FIRE-3D software package was used for combustion simulation in P-49 boiler of Nazarovo power plant with excess air ratio α=1,072 and fuel rate Bp=39,444 kg/s. Aerodynamics, oxygen concentration and temperature fields were calculated and represented in graphical form. Obtained results show necessity of follow up research of combustion technology.*

Низкотемпературное вихревое сжигание (НТВ-сжигание) обладает рядом преимуществ перед обычными технологиями сжигания твердого топлива, однако является все еще малоизученной технологией.НТВ технология обладает следующими преимуществами: стабилизация воспламенения и горения, повышения коэффициента тепловой эффективности, снижение шлакования и загрязнения рабочих поверхностей нагрева, снижение выбросов оксидов азота и серы.

На сегодняшний день исследования в сфере повышения эффективности такого энергетического оборудования как энергетических котлов, парогенераторов, турбин и т.д. приобрели большую значимость в виду стремления к экономичности и эффективности работы оборудования.Исследование технологии НТВ-сжигания не исключение.

Основной целью данной работы является: исследование аэродинамики и тепломассообмена в НТВ-топке. За основу для настоящего исследования взят котел П-49 с НТВ-топкойНазаровской ГРЭС. В качестве топлива используется бурый уголь Назаровского месторождения.

Основными задачами являются создание математической модели исследуемого котла, адаптация исходных данных ианализ влияния исходных параметров на процессы в топочной камере.

Для создания математической модели использовался пакет прикладных программ FIRE-3D, который позволяет оперативно оценить влияние исходных данных на процессы в топке [1].

В программу расчета введены теплотехнические характеристики сжигаемого угля, температура сушильного агента, дисперсность частиц, а так же их процентное соотношение в зависимости от размера фракции, путем конвертации в требуемый формат. Задана сетка котла, которая соответствует реальным геометрическим характеристикам котла П-49 Назаровской ГРЭС, а также введены координаты горелок, нижнего и третичного дутья.

Произведены расчеты на модели НТВ-топки при α=1,072, B_p=39,444 кг/с и заданном воздушном режиме (таблица 1).

На рисунке 1, где А – горелки, Б – нижнее дутье, B_1, B_2 – третичное дутье, показана аэродинамика топки в сечении по седьмой горелке. В нижней части топки образуется вихревое движение за счет взаимодействия горячих струй и нижнего и третичного дутья.

В области задней стенки в средней и верхней частях топки имеет место равномерный восходящий поток вдоль со скоростью 15-20 м/с.

Вдоль фронтового экрана и под подгорелочным козырьком осуществляется подъемное движение со скоростями 5-10 м/с.

Струя выходящая из горелочных устройств уверенно движется к тыльному экрану, взаимодействуя с нижним ярусом третичного дутья, переходит в восходящий поток. Скорость потока, как видно из диаграммы распределения скоростей, увеличивается с 5 до 25 м/с.

Таблица 1

Воздушный режим котла П-49

№ п/п	Наименование	Значение скорости, м/с
1	поток первичного воздуха на выходе из горелки	49
2	поток вторичного воздуха на выходе из горелки	54
3	поток на выходе из отвеивающих сопел системы нижнегодутья	37
4	поток на выходе из основных сопел системы нижнего дутья	30
5	поток на выходе из сопел нижнего яруса третичного дутья	35
6	поток на выходе из сопел среднего яруса третичного дутья	36

На формирование аэродинамической структуры в нижней части топкибольшое влияниеоказывает нижний ярус третичного дутья, усиливая сепарацию частиц к заднему скату тыльного экрана.

В нижней части топки сформировалось низкотемпературное ядро горения с максимальной температурой 1400 °С (рисунок 2).

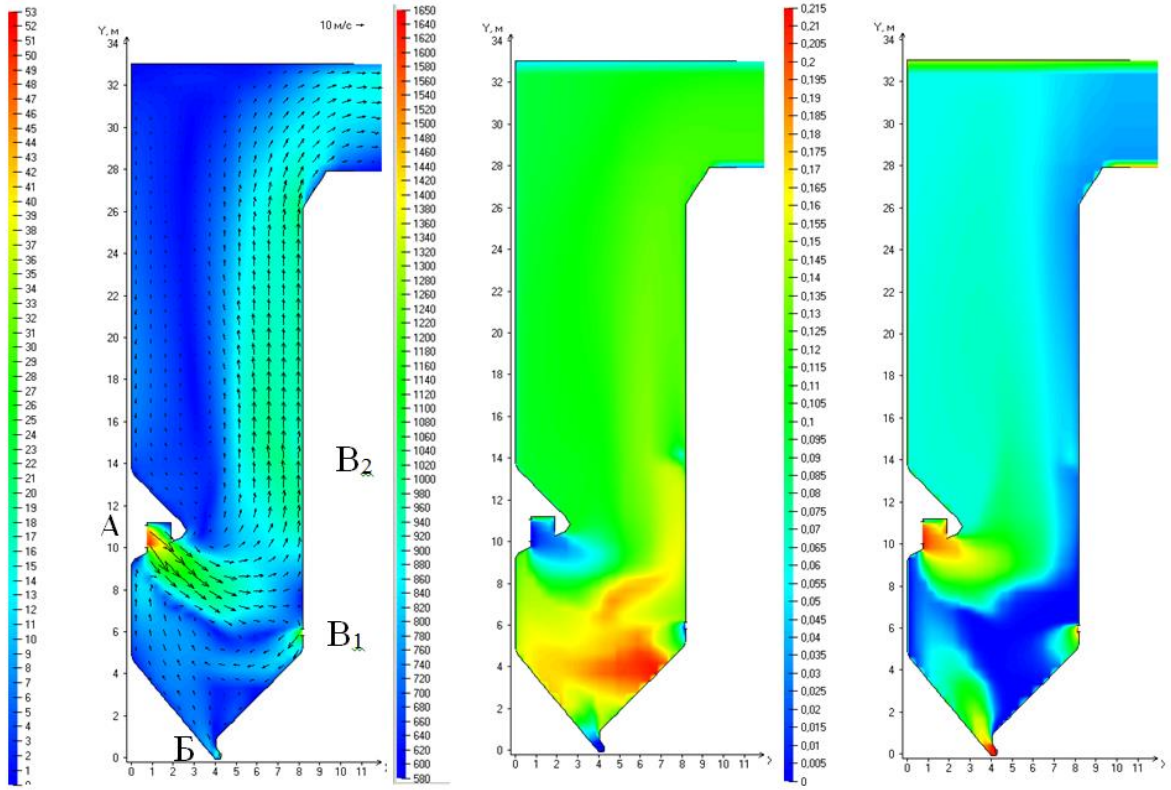


Рис. 1. Распределение скоростей Рис. 2. Распределение температур Рис. 3. Концентрация кислорода

Температура

Зона повышенных температур показывает места горения тех или иных фракций в топочной камере. Мелкая фракция выгорает в объеме от горелок до задней стены, а затем поднимается вдоль нее (T=130-1400 °C). Относительно крупная фракция (> 200 мкм) уходит в нижний вихрь и, подхваченная нижним дутьем,выгорает на вертикальном участке фронтового экрана. Температура в нижней части определяется вихревым движением дисперсных угольных частиц.

Концентрация кислорода

Охарактеризовать горение так же позволяет концентрация кислорода, так как при окислении топлива концентрации окислителя снижается практически до нуля. На рисунке 3 видно, что количество кислорода близкое к нулю находится в нижней части топки. По минимальным показателям концентрации кислорода можно оценить траектории выгорания угольных частиц. Исходя из этого, можно предположить, что, зона, расположенная наднадгорелочным козырьком и до потолка топки, является слабововлеченной в вихревую структуру. Это ограничивает подвод топлива в данную часть топки. Соответственно, высокая концентрация кислорода в этой зоне позволяет сделать вывод об отсутствие там горения. В свою очередь, максимальная концентрация кислорода наблюдается в местах ввода струи в топку, причем она определяется долей подаваемых окислителей.

Выводы:

1 Создана математическая модель котла П-49 Назаровской ГРЭС;

2 Выполнена адаптация исходных данных котла исследуемого котла НГРЭС для использования в пакете прикладных программ FIRE-3D

3 Выполнен анализ влияния исходных данных на аэротермохимические процессы в исследуемой математической модели.

4 Получены поля скоростей, температур и концентрации кислорода в сечении по горелке.

Заключение

Математическая модель показала свою пригодность для её использования с целью оценки уровня скоростей, температур и других параметров. Образование вихря в нижней части топки и диаграммы концентрации кислорода и распределения температур подтверждают, что данная модель соответствует НТВ технологии. Тем не менее полученный избыток воздуха немного меньше необходимого значения (α=1.071,<1.2), а значит модель нуждается в дальнейших исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бубенчиков А.М. Численные модели динамики и горения аэродисперсных смесей в каналах / А.М. Бубенчиков, А. В. Старченко; Томский государственный университет. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 1998. — 236 с. : ил. — Библиогр.: с. 221-234. — ISBN 5-7511-1004-8.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В НТВ-ТОПКЕ С УЧЕТОМ ДИАПАЗОНА ИЗМЕНЕНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Гергелижиу П.С
Научный руководитель: Лебедев Б.В., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
Email: offix@bk.ru

RESEARCH OF THE COAL DUST SIZE RANGE INFLUENCE ON LOW-TEMPERATURE VORTEX COMBUSTION BASED ON NUMERICAL SIMULATION

Gergelizhiu P.S.,
Scientific Supervisor : Lebedev B.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Leninn str., 30, 634050
E-mail : offix @bk.ru

Abstract. *Low-temperature vortex combustion numerical simulation was performed using FIRE-3D software. Low-temperature vortex combustion aerodynamic and heat-and- mass transfer versus coal dust size range characteristic were analysed. The results are presented in graphical form. P-49 Nazarovo station steam generator model was created. The results of the numerical modelling are suitable for coal dust size range effect on low- temperature vortex combustion analysis.*

Численное моделирование является эффективным инструментом для исследования процессов горения в топочной камере с минимальными затратами. Оно позволяет оценить влияние исходных данных на конечный результат расчета. Одним из таких параметров является фракционный состав угольной пыли.

Влияния размера частиц на аэродинамику и тепломассообмен является актуальной проблемой, т.к. имеет решающее значение в обеспечении стабильного процесса горения в такой энергетически-эффективной технологии, как низкотемпературное (НТВ) сжигание.

Целью данной работы является исследование процессов, протекающих в НТВ-топке при сжигании бурого угля Назаровского месторождения. Численное моделирование проводилось на модели котла П-49 с НТВ-топкой Назаровской ГРЭС с помощью пакета прикладных программ FIRE-3D [1].

При проведении численного моделирования процессов горения в котле П-49выполнен анализ влияния степени дисперсности топлива на процессы в топке.

Исходными начальными характеристиками состава топлива условно выбраны две фракции: грубая и мелкая. Результаты посевов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Фракционный состав топлива

Размер частиц, мкм	Содержание частиц, %	
	Мелкая фракция	Крупная фракция
70	29	26
150	19	19
350	30	16
750	15	20
1000	7	19

Расчеты проводились расчеты на модели НТВ-топки при α=1,072, B_p=39,444 кг/с и заданном воздушном режиме (таблица 2).

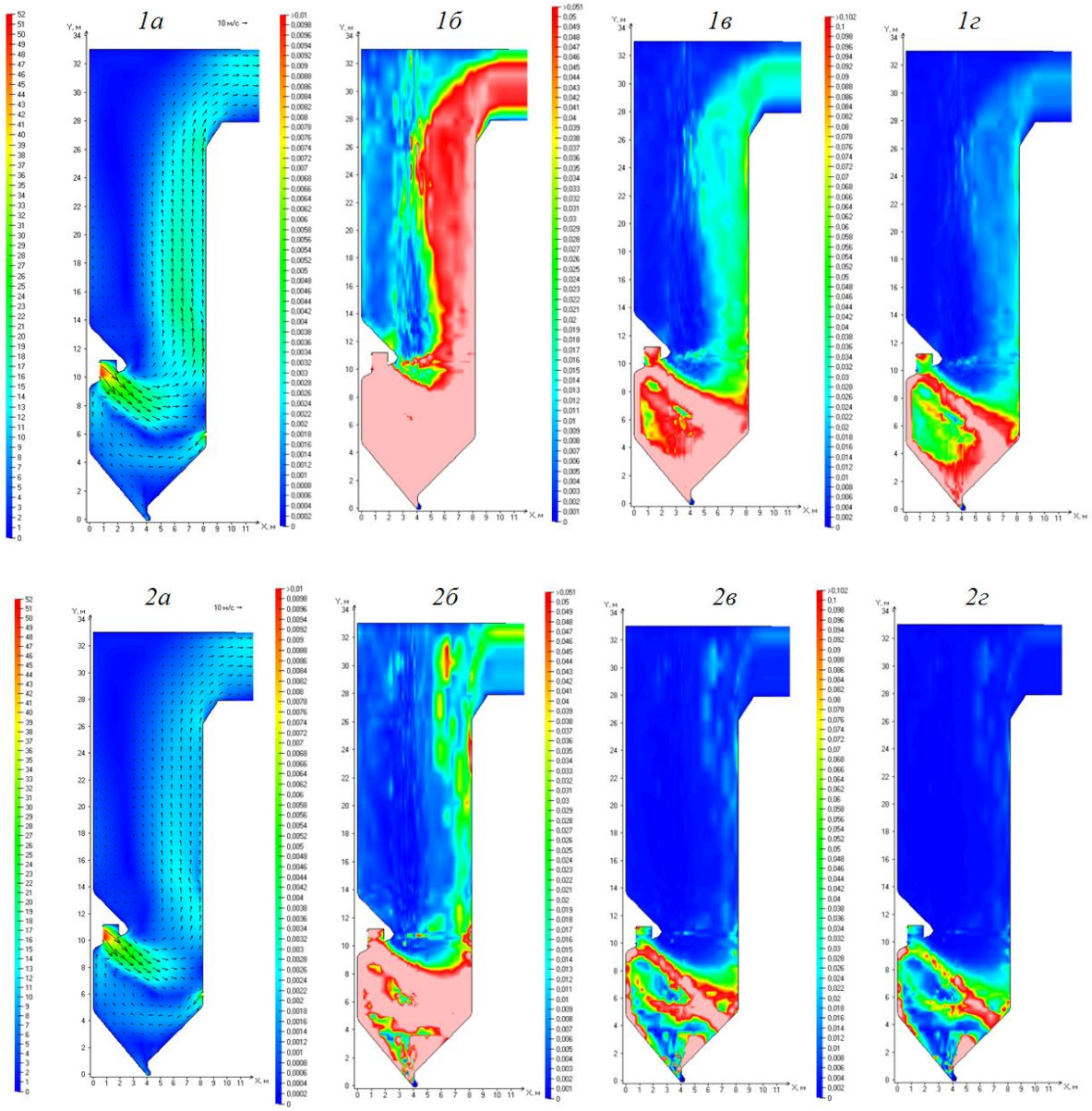


Рис. 1. Результаты численного моделирования

1а – аэродинамика;

1б,1в,1г – распределение частиц в топочной камере при значениях верхнего предела 0,01, 0,05, 0,1 соответственно, кг/кг, для мелкой фракции;

2а, 2б, 2в, 2г – тоже для крупной фракции

Таблица 2

Воздушный режим котла П-49

№ п/п	Наименование	Значение скорости, м/с
1	Поток первичного воздуха на выходе из горелки	49
2	Поток вторичного воздуха на выходе из горелки	54
3	Поток из отвеивающих сопел нижнего дутья	37
4	Поток из основных сопел нижнего дутья	30
5	Поток из сопел нижнего яруса третичного дутья	35
6	Поток из сопел среднего яруса третичного дутья	36

На рисунке 1 представлены результаты численного моделирования. Проведен анализ полученных данных, который показал, что большее количество частиц мелкой фракции уносится с потоком в верхнюю часть топочного объема выше уровня горелок (Y=10 м). В нижней части топочной камеры (Y= 0–10 м) наблюдается равномерное заполнение всего пространства. Основная часть топливо-золового потока с преобладающим содержанием крупной фракцией находится в нижней части топки, чего и следовало ожидать при НТВ-сжигании. Меньшая доля потока уносится в верхнюю часть топки: выше отметки подгорелочного козырька (Y=11 м). На рисунках 1б–1г и 2б–2г показано сжигание мелкой и крупной фракций, соответственно, где наблюдается вынос большей части не выгоревшего топлива мелкой фракции по сравнению с крупной. Такое поведение потока пылеугольной смеси будет способствовать увеличению механического недожога при использовании мелкофракционного топлива.

Аэродинамика модели при сжигании мелкой и крупной фракций (рисунок 1а и 2а) остается практически без изменений. В обоих случаях в средней и верхней части топки имеет место равномерный восходящий поток вдоль тыльного экрана топочной камерысо скоростью 15-20 м/с, а также равномерное подъемное движение со скоростью 10-15 м/с под подгорелочным козырьком. Горелочная струя направляет поток к тыльному экрану, где он взаимодействует с нижним ярусом третичного дутья и переходит в восходящий поток, при этом скорость потока увеличивается с 5 до 25 м/с. Нижний ярус третичного также не вносит значительных различий в формирование аэродинамической структуры рассматриваемых вариантов математической модели.

Заключение

Проведенное численное моделирование позволило оценить степень влияния дисперсности угля на процессы горения в НТВ-топке. С точки зрения организации вихревой аэродинамики, уголь грубого помола является более подходящим видом топлива. Однако в данной модели проведено сравнение только двух фракций: крупной и мелкой. Для определения оптимальной зерновой характеристики топлива при НТВ-сжигании требуются дальнейшие исследования с рассмотрением большего количества вариаций топливного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**:**

1. Бубенчиков А.М. Численные модели динамики и горения аэродисперсных смесей в каналах / А.М. Бубенчиков, А.В. Старченко; Томский государственный университет. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 1998. — 236 с. : ил. — Библиогр.: с. 221-234. — ISBN 5-7511-1004-8.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТАРИФОВ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ

Глушкова А.И., Воробьева Д.Ю.,
Научный руководитель: Долгопол Т.Л., доцент
ФБГОУ ВПО Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя,28, 650000
E-mail: Alisena94@mail.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ELECTRICITY TARIFFS FOR THE POPULATION

Glushkova A.I., Vorobeva D.Y.,
Scientific Supervisor: Dolgopol T.L., docent
Kuzbass State Technical University, Russia, Kemerovo,Vesennyaya str.,28, 650000
E-mail: Alisena94@mail.ru

Electricity tariffs in different countries is a hot topic. The motivation for save energy it is the optimal tariff for electricity for domestic consumers. This article presents an analysis of tariffs for electricity for the population of various subjects of the Russian Federation and the factors that affect the cost of electricity.

Направлениями энергетической стратегии России на период до 2030 года является обеспечение надежного энергоснабжения населения страны по социально доступным ценам и мотивация населения к энергосбережению. По решению Правительства РФ, чтобы разгрузить энергосистему в часы максимума нагрузки, на территории России действуют дифференцированные тарифы на электроэнергию для населения по двум зонам суток (день и ночь) и по трем зонам суток (пик, полупик, ночь). Появление новых тарифов дало возможность потребителю выбирать наиболее выгодный из них в зависимости от объемов электропотребления в разное время суток.

В современной электроэнергетике постоянно увеличиваются нагрузки на электростанции. При этом в последние годы в стране параллельно с увеличением потребления электроэнергии происходит стремительный рост цен на нее и топливо для электростанций.

В работе проанализирован рост тарифов на электроэнергию для населения Кузбасса. На рис. 1 представлена динамика роста одноставочного тарифа и дифференцированного по двум зонам суток для квартир с электроплитами с 2012 по 2015 год в Кемеровской области.

К концу 2015 года для одноставочного тарифа стоимость кВт·ч электрической энергии увеличится на 33%, дифференцированного по двум зонам суток в дневной зоне – на 18%, в ночной – на 26% по сравнению с 2012 годом. Очевидно, что рост одноставочного тариф значительно превышает увеличение тарифа дифференцированного.

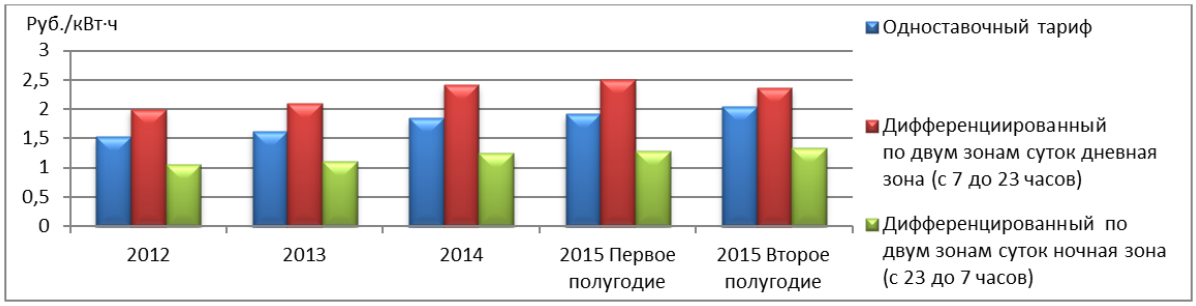


Рис. 1. Динамика изменения тарифов для населения в домах, оборудованных в стационарном порядке электроплитами

Также проанализирована динамика изменения дифференцированного тарифа по трем зонам суток в Кузбассе за 4 года. Таким образом, в 1 июля 2015 году тариф на электроэнергию для пиковой зоны увеличится на 13%, для полупиковой на 37%, а для ночной на 33% по сравнению с 2012 г.

Очевидно, что самым простым решением для населения Кемеровской области является оплата потребленной электроэнергии по одноставочному тарифу, что дает возможность региональным властям весьма существенно повышать данный тариф с целью уменьшения объемов перекрестного субсидирования. В то же время, появление альтернативы в выборе тарифа на электроэнергию подразумевало, что население в различных регионах страны должно иметь возможность экономить на оплате электроэнергии, переходя на дифференцированные тарифы и что это послужит одной из мотиваций к энергосбережению в быту.

Тарифы на электроэнергию утверждаются региональными энергетическими комиссиями и значительно разнятся для регионов России. В связи с этим, была проанализирована стоимость электроэнергии при использовании разных тарифов для нескольких регионов России (рис.2). Для расчета использовались данные о соотношении электроэнергии, потребленной в разные временные зоны (20% – ночная зона, 30% – пиковая зона и 50% – полупиковая), и среднемесячный объем электропотребления за 2014 год одним из многоквартирных домов, который составил 50 854,25 кВт·ч.

Как следует из гистограммы, жителям Кемеровской, Новосибирской областей не стоит выбирать дифференцированные тарифы при существующем соотношении цен на электроэнергию. Для жителей г. Москвы дифференцированный по трем зонам суток тариф на 20% выгоднее одноставочного тарифа, для населения Омской области – на 16%. В среднем, эти тарифы выгоднее одноставочного на 7,5%.

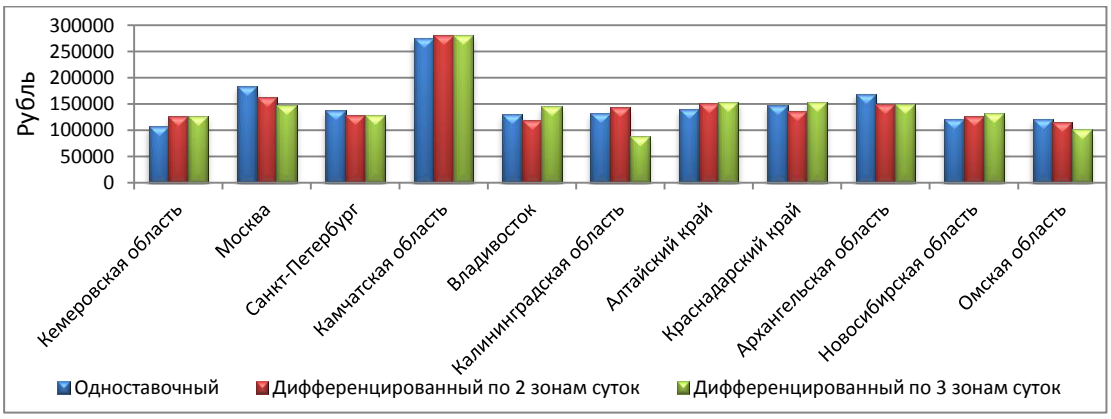


Рис. 2. Стоимость электроэнергии по разным тарифам для населения разных регионов России за январь 2015 года

Таким образом, даже предполагаемое снижение тарифа на электроэнергию в Кузбассе в пиковой зоне во втором полугодии 2015 году не делает дифференцированный тариф более выгодным, чем одноставочный.

Так как московские дифференцированные тарифы оказались выгоднее одноставочного, следовательно, процентное соотношение стоимости электроэнергии в разные зоны суток в данном регионе является оптимальным. Для сравнения было определено процентное соотношение дифференцированных и одноставочного тарифа в Кемеровской области и в г. Москва (рис.3).

Наглядно видно, что в Кемеровской области процент в пиковой зоне дифференцированного по трем зонам суток тарифа превышает почти на 80% тариф г. Москвы в этой же временной зоне, на 40% в ночной

зоне и около 15% превысил дневную (полупиковую зону).

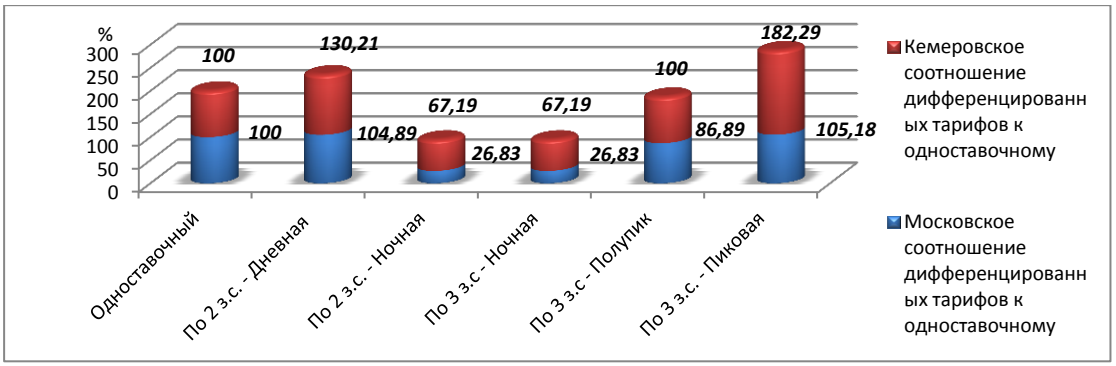


Рис. 3. Процентное соотношение дифференцированных тарифов к одноставочному для разных регионов РФ

Используя соотношение дифференцированных тарифов и одноставочного для г. Москва, была определена стоимость электрической энергии для населения Кузбасса при том же существующем сегодня одноставочном тарифе и корректировке дифференцированных тарифов в Кемеровской области (рис. 4).

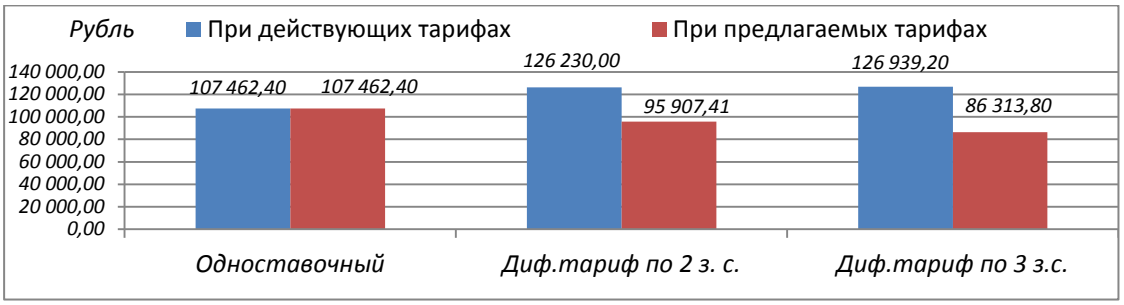


Рис. 4. Стоимость потребленной электроэнергии действительное и при рациональном соотношение между тарифами в Кузбассе в 2015 г.

Как следует из гистограммы, при новом соотношении тарифов стоимость потребленной электроэнергии при выборе дифференцированных тарифов стала меньше, чем при одноставочном, что говорит о правильном соотношении цен тарифов на электрическую энергию в г. Москва. Исходя из произведенного анализа тарифов на электроэнергию для жителей разных регионов, процентное соотношение г. Москвы составлено наиболее оптимально. Тогда с уверенностью можно сказать, что, если Региональные энергетические комиссии всех регионов страны возьмут за эталон московское соотношение тарифов, то дифференцированные тарифы на электрическую энергию для населения будут востребованы в каждом регионе России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**:**

1. Тарифы на электроэнергию на 2015 год [Электронный ресурс]/ Режим доступа: http://www.energo-consultant.ru.

2. Анализ электропотребления и тарифов для бытовых потребителей / В.С. Орлов, Б.В. Папков, Е.П. Ершов, Л.Н. Копалов // Промышленная энергетика. - 1997. - №6. - С.8-10.

ЗАЖИГАНИЕ ТВЕРДОГО КОНДЕНСИРОВАННОГО ВЕЩЕСТВА ЛОКАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ НЕИДЕАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТАКТА

Глушков Д.О.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dmitriyog@tpu.ru

SOLID CONDENSED SUBSTANCE IGNITION BY LOCAL HEAT SOURCES UNDER CONDITIONS OF NONIDEAL THERMAL CONTACT

Glushkov D.O.
Tomsk Polytechnic University,
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: dmitriyog@tpu.ru

Разработана математическая модель твердофазного зажигания конденсированного вещества горячей металлической частицей в форме диска при учете неидеального теплового контакта на границе «частица – топливо» вследствие естественной шероховатости поверхности последнего. Установлены диапазоны изменения начальной температуры источника энергии и параметра, характеризующего шероховатость поверхности топлива, при которых лучистый теплообмен в области газового зазора между частицей и топливом влияет на времена задержки зажигания.

Mathematical model of a solid-phase condensed substance ignition by a hot metal particle in disk-shape is executed in conditions of imperfect thermal contact on the particle – composite propellant border, caused by a natural roughness of a composite propellant surface. Ranges of local heat source initial temperature and parameter characterizing a roughness of composite propellant surface are established at which radiative heat transfer in the field of a gas gap between a particle and a solid propellant influences on ignition time delay.

Численное исследование интегральных характеристик зажигания высокоэнергетического материала (перхлорат аммония + 14 % бутилкаучук + 6 % хиноловый эфир) выполнено на примере системы «горячая частица – смесевое топливо – инертный газ». В качестве локального источника ограниченной энергоемкости рассматривалась нагретая до высоких температур (T_p=800÷1500 К) стальная частица в форме диска.

Принята следующая модель процесса. В начальный момент времени (t=0) горячая частица находится на поверхности топлива с температурой $T_0 << T_p$ (рис. 1). Условия теплового контакта на границе «частица – топливо» неидеальны. По результатам экспериментальных исследований [1] установлено, что из-за естественной шероховатости поверхности всех смесевых твердых топлив (гранулы окислителя, например, перхлората аммония выступают над границей раздела «топливо – окружающая среда») образуется газовый зазор толщиной несколько микрон (или даже несколько десятков микрон) между источником нагрева и конденсированным веществом.

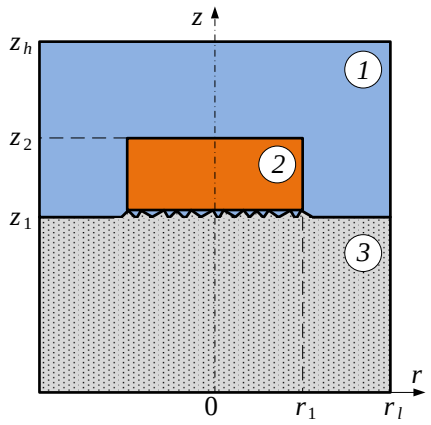


Рис. 1. Схема области решения задачи зажигания: 1 – инертный газ, 2 – горячая частица, 3 – смесевое твердое топливо

За счет теплопроводности и излучения теплота горячей частицы отводится в смесевое топливо и инертный газ. В результате теплопереноса в рассматриваемой системе (рис. 1) перераспределяется энергия между источником нагрева и «холодными» в начальный момент времени компонентами (топливо и газ). Из-за относительно низкой температуропроводности смесевого топлива (a_3=1,9·10^{-7} м^2/с) его приповерхностный слой аккумулирует теплоту преимущественно в непосредственной близости от границы нагрева. Рост температуры топлива инициирует экзотермический процесс взаимодействия горючего компонента (бутилкаучук) и окислителя (перхлорат аммония). Его скорость экспоненциально возрастает по аррениусовской зависимости [2]. Зажигание смесевого твердого топлива происходит при достижении предельных условий, соответствующих критериям зажигания [2]:

1. Скорость теплоприхода в системе (рис. 1) за счет экзотермической реакции, протекающей в приповерхностном слое конденсированного вещества, превосходит скорость теплоотвода от горячей частицы в топливо.

2. Температура в зоне локализации ведущей реакции окисления превышает температуру источника энергии.

Для численного решения задачи зажигания смесевого твердого топлива локальным источником нагрева (рис. 1) разработана математическая модель (аналогично [3]), учитывающая взаимосвязанные физико-химические процессы теплопроводности в горячей частице, топливе и газе, кондуктивно-лучистого теплообмена на границе источника энергии с внешней средой, а также экзотермического реагирования в приповерхностном слое конденсированного вещества.

Численные исследования выполнены при следующих параметрах: начальная температура смесевого топлива и инертного газа T_0=293 К, стальной частицы T_p=800÷1500 К; размеры частицы r_p=3·10^{-3} м, z_p=3·10^{-3} м; размеры области решения r_l=0,01 м, z_h=0,01 м; степень черноты частицы ε=0,55; параметр, учитывающий шероховатость поверхности топлива φ=0,1÷1 (при $\varphi\to1$ условия теплового контакта на границе «частица – топливо» близки к идеальным).

Теплофизические характеристики веществ (рис. 1):

λ_1=0,026 Вт/(м·К); ρ_1=1,161 кг/м^3; C_1=1190 Дж/(кг·К);

λ_2=49 Вт/(м·К); ρ_2=7831 кг/м^3; C_2=470 Дж/(кг·К);

λ_3=0,418 Вт/(м·К); ρ_3=1750 кг/м^3; C_3=1260 Дж/(кг·К).

Кинетические параметры экзотермического процесса E_3=50·10^3 Дж/моль, $Q_3k_3^0$=0,88·10^9

Дж/(кг·с).

В табл. 1 приведены зависимости времени задержки зажигания (t_d) смесевого топлива от безразмерного параметра (φ) при начальной температуре горячей частицы T_p=800 К.

Таблица 1

Времена задержки зажигания в зависимости от безразмерного параметра, характеризующего степень шероховатости поверхности топлива, при T_p=800 К

φ	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
t_d^*, с	11,374	8,296	6,552	5,526	4,867	4,428	4,071
t_d^{**}, с	9,948	7,461	5,965	5,079	4,532	4,166	3,879

t_d^* – времена задержки зажигания при кондуктивном теплообмене на границе «частица – топливо»;

t_d^{**} – времена задержки зажигания при радиационно-кондуктивном теплообмене на границе «частица – топливо».

В условиях идеального контакта источника энергии и конденсированного вещества теплота поступает в зону экзотермической реакции только за счет теплопроводности. Уменьшение площади контакта частицы и топлива ($0<\varphi<1$) вследствие естественной шероховатости его поверхности (из-за частиц перхлората аммония) ведет к изменению условий теплообмена и значений основной интегральной характеристики процесса – времени задержки зажигания по сравнению со случаем идеального теплового контакта. Часть теплоты передается от источника в топливо теплопроводностью, а часть – за счет излучения (в областях газового зазора толщиной в единицы или десятки микрон). Видно (табл. 1), что лучистый теплообмен на поверхности источника влияет на интенсивность процесса теплопередачи в зону экзотермической реакции. Времена задержки зажигания (t_d^{**}) имеют меньшие значения (при φ=const и T_p=const) по сравнению с аналогичной величиной (t_d^*). Более интенсивный радиационно-кондуктивный теплообмен ведет к снижению длительности индукционного периода ($t_d^{**}<t_d^*$). Установленная особенность, характеризуемая величиной γ ($\gamma=(t_d^*-t_d^{**})/t_d^*\cdot 100$ %), явно выражена (γ=5÷25 %) при параметрах φ и T_p близких к предельным условиям зажигания смесевого топлива В области относительно высоких начальных температур источника T_p=1300÷1500 К при φ>0,2 отклонения времен задержки зажигания γ не превышают 2 %.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-2391.2014.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**:**

1. Захаревич А.В., Кузнецов Г.В., Максимов В.И. Зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной, нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. – 2008. – Т. 44. – № 5. – С. 54–57.

2. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука, 1987.

3. Глушков Д.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Об устойчивости зажигания смесевого твердого топлива локальным источником ограниченной энергоемкости // Физика горения и взрыва. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 54–60.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Гончар Л. А., Шарманова Г. Ю.
Научный руководитель: Долгопол Т. Л., доцент
ФБГОУ ВПО Кузбасский Государственный Технический Университет им. Т. Ф. Горбачева,
Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, 650000
E-mail: lada-gonchar@yandex.ru

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF POWER SUPPLY SYSTEMS OF URBAN CONSUMER

Gonchar L. A., Sharmanova G. Y.
Scientific Supervisor: Dolgopol T. L.
Kuzbass State Technical University T. F. Gorbachev,
Russia, Kemerovo, Vesenny str., 28, 650000
E-mail: lada-gonchar@yandex.ru

ABSTRACT: *This article describes the measures to improve energy efficiency of equipment urban consumers , since they need an efficient and reliable power supply. An example of energy efficiency for urban consumers by deep input voltage. Get practical results after the settlement .*

С каждым годом население нашей страны увеличивается и около половины вырабатываемой электрической энергии передается через системы электроснабжения (СЭС) городов. В связи с этим, построение рациональных городских электрических сетей с использованием энергоэффективного оборудования является весьма актуальным аспектом в повышении энергоэффективности СЭС городских потребителей.

Одним из мероприятий по повышению энергоэффективности СЭС городов являются использование глубокого ввода. Глубокий ввод высокого напряжения – система электроснабжения, которая позволяет максимально приблизить питающую сеть высокого напряжения к потребителю, которая достаточно широко используется в СЭС предприятий. При использовании глубокого ввода значительно уменьшается число ступеней трансформации электрической энергии, что приводит к значительному снижению потерь электроэнергии в распределительной сети городов.

В представленной работе рассматривается использование глубокого ввода в системах электроснабжения городских потребителей на примере микрорайона № 15 А г. Кемерово. На территории данного микрорайона согласно проекта будут расположены различные объекты жилой инфраструктуры.

Был произведен расчет потерь мощности в распределительной сети микрорайона при использовании традиционного уровня напряжения – 10 кВ. Затем были выбраны сечения кабельных линий распределительной сети на напряжение 20 кВ и определены потери мощности в линиях.

Результаты расчетов показали, что потери мощности в линиях напряжением 20 кВ оказались в 2 раза меньше, несмотря на то, что сечения кабельных линий на данный уровень напряжения составили 50 мм^2 вместо 120 мм^2 при использовании напряжения 10 кВ (рис.1).



Рис1. Гистограмма потерь мощности в линиях распределительной сети микрорайона

Другим направлением повышения энергоэффективности СЭС потребителей является замена старых трансформаторов, выработавших свой ресурс, на энергоэффективные.

Большинство используемого энергетического оборудования в нашей стране морально и физически устарело, поэтому необходимо использовать энергоэффективные трансформаторы, которые за счет применения новых технологий в трансформаторостроении имеют значительно меньшие потери холостого хода и короткого замыкания. Зачастую такие трансформаторы снабжены симметрирующим устройством, которое позволяет выравнивать нессиметричную нагрузку бытовых потребителей, и снизить дополнительные потери электроэнергии, обусловленные неравномерностью загрузки фаз. За счет использования в таких трансформаторах шихтовки магнитопровода по методу «STEP LAP» значительно снижается уровень шума, создаваемого трансформатором в процессе работы, что позволяет максимально приблизить подстанции к потребителю и уменьшить длину линий низкого напряжения.

На рис. 2 приведены результаты расчета потерь мощности в трансформаторах ТМ - 1000/10/0,4 и ТМГ – 1000/20/0,4.

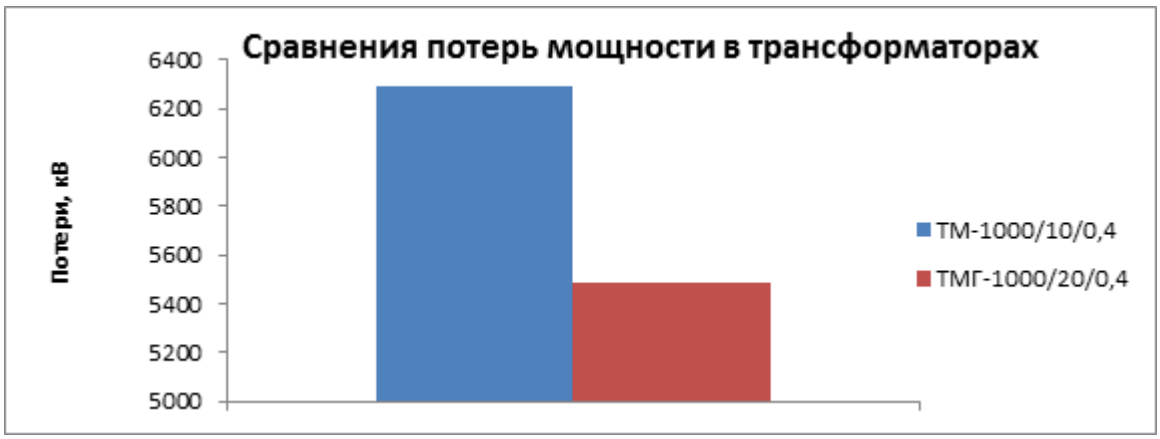


Рис2. Гистограмма потерь мощности в трансформаторах распределительной сети микрорайона

Как следует из гистограммы потери мощности в трансформаторе на 20 кВ практически в 2 раза меньше, чем в трансформаторе на 10 кВ.

Таблица 1

Характеристики трансформаторов

Тип трансформатора	Потери ХХ, $\Delta P_{хх}$, кВт	Потери КЗ, $\Delta P_{кз}$, кВт	Ток ХХ, $I_{хх}$, %	Напряжение КЗ $U_{кз}$, %	Номинальная мощность, кВА
ТМ - 1000/10/0,4	1,9	12,2	1,7	5,5	1000
ТМГ – 1000/20/0,4	1,6	10,8	1,7	5,5	1000

Использование глубокого ввода в системах электроснабжения бытовых потребителей не только позволит снизить потери электрической энергии, но и обеспечить требуемое качество электрической энергии, так как одной из самых острых проблем в системах электроснабжения бытовых потребителей является значительные отклонения напряжения у потребителей от требуемого уровня.

Показанный метод – глубокий ввод, наглядно демонстрирует уменьшение потерь в городских электрических сетях. Однако глубокий ввод не ограничевается только напряжением 20 к В, так же существуют способы по замене сетей и трансформаторов на более высокий уровень напряжения (35 кВ). Благодаря этому методу в СЭС городов возможно применять трансформаторы, которые позволяют понизить напряжение сразу с 35 кВ до 0,4, минуя среднее значение 6 или 10 кВ. Использование глубокого ввода позволяет повысить энергоэффективность, улучшить надежность электроснабжения и доставить электроэнергию в требуемом качестве и количестве для городских сетей.

Сооружение глубокого ввода в мире, где нарастающее потребление электроэнергии в сочетании с ростом числа мегаполисов является принципиально необходимым и перспективными направлением развития систем электроснабжения крупных городов, входящих в состав региональных объединенных электроэнергетических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**:**

1. Мусин А. Х. Системы электроснабжения городов: Технология ресурсосберегающего обслуживания по реальной потребности./ А.Х.Мусин. АлтГТУ, Барнаул, 1999.

2. Федеральный закон РФ от 23.11.2009г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

3. БирЗСТ. Каталог продукции «Силовые распределительные трансформаторы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://трансформер.рф/upload/iblock/e64/transformator_special.pdf

4. Б. В. Семкин, А. Х. Мусин. Системы электроснабжения городов: технология ресурсосберегающего оборудования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pa2000_3/pages/27/pap_27.html

5. Шарманова Г.Ю., Гончар Л.А. Использование глубокого ввода в городских электрических сетях// Инновации в технологиях и образовании: Сборник статей VII Международной научно – практической конференции.-Белово, Велико- тырново, 2014.-Ч.1-С. 230-233.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Губанова А.Р.
Научный руководитель: Теслева Е.П., доцент, к.ф.-м.н.
Юргинский технологический институт Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: Kuklyaha0107@mail.ru

THE ANALYSIS OF THE POSSIBLE USE OF PHOTOVOLTAIC CELLS IN THE TOMSK REGION

Gubanova A. R.
Scientific Supervisor: Tesleva P. E., associate Professor
Yurga technological Institute
652055, Kemerovo region, Yurga, Leningradskaya str., 26
E-mail: Kuklyaha0107@mail.ru

The article presents the results of the analysis of efficiency of use of photovoltaic cells to provide electricity to rural homes in Siberia.

Энергетические проблемы в мире породили ускоренное развитие альтернативных решений проблемы снабжения населения и промышленных предприятий дешевой электроэнергией. Солнечная энергетика – направление альтернативной энергетики, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Она использует возобновляемые источники энергии и является «экологически чистой». Во многих странах солнечная энергетика получила активную государственную поддержку и стремительно развивается. В 2012 году во всем мире суммарная мощность солнечных электростанций превысила 100 гигаватт! Они производят столько же электричества, что и 16 крупных угольных или атомных электростанций. И этот показатель удваивается каждые три года [1]. По оценкам специалистов к 2100 году солнце станет доминирующим источником энергии на планете [2]. В данное время мировым лидером в производстве солнечной электроэнергии является Германия, не отличающаяся благоприятным и солнечным климатом, совокупный объем мощностей солнечных электростанций которой составляет по данным статистики на 2012 год 32 ГВт.

В России с её климатом до последнего времени использование альтернативных источников не рассматривалось. Для обширных регионов Сибири не редки перебои в электроснабжении из-за несовершенства передающих линий, значительных расстояний, плохих погодных условий. При этом передача энергии происходит с огромными потерями. Эти факторы повлияли на развитие отрасли использующей энергию солнца. Так в 4 сентября 2014 года в Республике Алтай пущена в эксплуатацию Кош-Агачская солнечная электростанция мощностью 5 МВт, а в 2015 г. в Хакасии будет введена в строй Абаканская солнечная ЭС на 5,198 МВт [3].

Солнечная батарея – это несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) – полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток. Солнечная батарея состоит из отдельных солнечных элементов. Сборка фотоэлементов покрывается защитными слоями из пластика, стекла, полимерных пленок. Кремний является основных материалом для производства фотоэлементов. Это второй по распространенности элемент на Земле, запасы его огромны. Однако процесс производства чистого кремния очень трудоемкий и затратный, поэтому чистый кремний стоит дорого. Сейчас ведется поиск аналогов, которые бы не уступали кремнию по КПД.

Принцип работы фотоэлектрических преобразователей основан на фотоэлектрическом эффекте. Фотоэлемент на основе полупроводников состоит из двух слоев с разной проводимостью. К слоям с разных сторон подпаиваются контакты, которые используются для подключения к внешней цепи. Роль катода играет слой с n-проводимостью (электронная проводимость), роль анода – p-слой (дырочная проводимость). Когда лучи света попадают на n-слой, за счет фотоэффекта образуются свободные электроны. Кроме этого, они получают дополнительную энергию и способны «перепрыгнуть» через потенциальный барьер p-n-перехода. Концентрация электронов и дырок изменяется и образуется разность потенциалов. Если замкнуть внешнюю цепь через нее начнет течь ток.

Солнечные батареи могут быть следующих основных видов:

Монокристаллические батареи. КПД таких батарей выше, чем у других видов, но при этом они стоят несколько дороже. Их чаще всего можно увидеть на крышах загородных домов, промышленных предприятий, это наиболее популярный вид солнечных батарей. Коэффициент полезного действия таких батарей примерно 20-25%.

Поликристаллические батареи. Их светопоглощение несколько ниже, чем у моноячеек, поскольку неравномерная поверхность отражает часть лучей. Применяются также как и монокристаллические, КПД у них несколько ниже и не превышает 20%, но и стоимость их, обычно, ниже чем у монокристаллических солнечных батарей.

Тонкопленочные батареи. Принцип работы таких солнечных батарей аналогичен кристаллическим. Но выпускаются они в виде гибких ячеек, которые можно устанавливать на криволинейных поверхностях. Эти батареи дешевы в производстве, и довольно эффективны, но для бытовых целей применяются редко, поскольку по сравнению с кристаллическими занимают большую площадь (примерно в 2,5раза) на единицу мощности, а КПД – около 10% [4].

Лидерами в производстве кремния для солнечных батарей считаются: Китай, Норвегия, Испания, Германия, Бразилия, США. В России существует шесть крупных предприятий, занимающихся производством солнечных батарей [5].

Стоимость солнечных батарей сегодня достаточно высока. А с учетом небольшого значения КПД панелей, вопрос их окупаемости очень актуален. Срок службы солнечных панелей составляет порядка 25 и более лет. На срок окупаемости влияют: тип выбранного оборудования, географическое положение, стоимость оборудования, стоимость энергоресурсов в регионе.

Для обеспечения потребностей загородного дома необходимо приобрести следующий комплект оборудования: солнечной батареи (генератора постоянного тока), аккумулятора с устройством контроля заряда и инвертора, который преобразует постоянный ток в переменный.

Для обеспечения энергией дачного домика производители предлагают использовать солнечные батареи суммарной мощностью 300 Вт. Стоимость такой солнечной электростанции варьируется от 70000 до 165000 рублей. Ее можно использовать в качестве основного источника электропитания в условиях отсутствия централизованной сети. В качестве системы резервного электроснабжения на случаи отключения света длительностью один-два дня достаточно солнечных батарей суммарной мощностью 200 Вт. Стоимость такой комплектации находится в пределах от 48000 до 73000 рублей.

Средняя продолжительность солнечного сияния в Томской области составляет менее 1700 часов в год. Однако, по данным климатологов, за 30 последних лет количество солнечных дней в Сибири

сократилось почти в 2 раза (в Кемеровской Новосибирской и Томской и областях с 130 дней до 70). Уменьшение количества солнечных дней в году объясняется глобальным потеплением [6, 7].

Средние цифры срока окупаемости солнечных батарей для стран Южной Европы составляют 1,5-2 года, для стран Средней Европы – 2,5-3,5 года, в Центральной России срок окупаемости равен примерно 2-5 годам. Высокая стоимость оборудования и небольшое количество солнечных дней увеличивает срок окупаемости солнечных станций в Томской области до 15 и более лет.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

1. Оптимальным соотношением цена-качество обладают поликристаллические батареи.

2. Экономически обосновано в условиях данного региона использование солнечных батарей при невозможности подключения к электросетям, т.к. стоимость подключения составляет десятки и даже сотни тысяч рублей.

3. Солнечные батареи можно использовать в качестве системы резервного электроснабжения на случаи отключения света.

4. Возможно использование комбинированных установок (солнечные батареи и ветрогенераторы) для обеспечения потребности в электроэнергии.

В заключении хотелось бы отметить, что за последние годы цены на фотоэлектрические панели упали в десятки раз, и продолжают снижаться. В ближайшем будущем эффективность солнечных батарей значительно увеличится из-за совершенствования технологий, увеличения КПД и снижения стоимости панелей. Это связано с разработкой более совершенных технологий, позволяющих увеличивать КПД и снижать себестоимость панелей, а как следствие уменьшится и срок, в течение которого система энергообеспечения на солнечной энергии окупит себя. Все это говорит о больших перспективах использования солнечных батарей в Томской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**:**

1. Мировая солнечная энергетика: переломный год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.advis.ru/php/print_news.php?id=A4874E3E-5CE0-244E-A6BB-9CF6F8530077 – 30.05.13.

2. Солнечная энергетика: перспективы в мире и состояние в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.energy-fresh.ru/analitics/?id=4883 – 27.09.11.

3. Солнечная перспектива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kommersant.ru/doc/2634026 – 17.12.14.

4. Китайские солнечные батареи. Реально ли у нас? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ysob.ru/articles/s/vse_stati/kommynikacei/kitajskie_solnechnye_batarei.html

5. Производители солнечных элементов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://.ru/solnechnye-batarei/proizvoditeli-solnechnyx-batarej

6. Экодом в Сибири [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pandia.org/text/77/363/84638.php

7. Количество солнечных дней в Томске уменьшилось вдвое [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ngs70.ru/news/1299828/view/ - 02.08.13.

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Егоров Д. Э., Чернышов М. О., Буянкин П. Д.
Научный руководитель: Довгун В. П., д.т.н., профессор
Институт космических и информационных технологий Сибирского федерального университета
E-mail: denis.egorov.90@bk.ru

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF HYBRID POWER FILTERS

Egorov D. E., Chernyshov M. O., Buyankin P. D.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Dovgun V. P.
Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University
E-mail: denis.egorov.90@bk.ru

Analysis and optimization of hybrid power filters, based on performance optimization in the space of parameters passive and active power filters is considered. The filter designed with the help of proposed method satisfies requirements of reactive power compensation and harmonic filtering. The design example illustrating the proposed approach, is given.

Широкое применение устройств с нелинейными вольтамперными характеристиками приводит к увеличению уровня высших гармоник токов и напряжений в электрических сетях. Для уменьшения уровня высших гармоник в сетях электроснабжения целесообразно использовать пассивные и активные силовые фильтры (АФ). АФ представляет коммутируемое устройство, характеристики которого формируются с помощью специального закона управления. Однако широкое применение АФ ограничивается их сложностью и высокой стоимостью. Наиболее перспективным направлением является разработка гибридных фильтрокомпенсирующих устройств, представляющих сочетание пассивного и активного фильтров. Гибридные ФКУ позволяют значительно уменьшить мощность активного фильтра и за счет этого снизить стоимость всего устройства. Важное достоинство гибридных фильтров заключается в том, что их можно использовать в сетях, где уже установлены пассивные ФКУ.

Существуют различные конфигурации гибридных фильтрокомпенсирующих устройств, отличающихся способом включения активной и пассивной частей, видом управляющей переменной [1, 2]. В докладе рассмотрено ФКУ, образованное параллельным соединением пассивного и активного фильтров.

Эквивалентная схема фильтра на частоте *k*-й гармоники показана на рис. 1. Здесь $Z_{\text{с}}$ – сопротивление внешней сети. Управляющий параметр активного фильтра $G_{\text{аф}}$ имеет размерность проводимости. Нелинейная нагрузка моделируется источником тока J_k. Источник напряжения E_k учитывает гармоническую составляющую, генерируемую внешней сетью. Здесь и далее в качестве тока $I_{\text{с}}$ будем рассматривать *k*-ю гармонику тока сети, а в качестве напряжения $U_{\text{топ}}$ – *k*-ю гармонику напряжения в точке общего присоединения сети и нелинейной нагрузки. Активный фильтр представлен в схеме источником тока, управляемым напряжением $U_{\text{топ}}$. Активный фильтр генерирует ток, спектр которого повторяет спектр напряжения, т.е. $I_{\text{аф}} = G_{\text{аф}} U_{\text{топ}}$.

Для описания схемы гибридного фильтра на рис. 1 используем уравнения четырехполюсника в гибридных параметрах:

$$\begin{bmatrix} I_c \\ U_{\text{топ}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_k \\ J_k \end{bmatrix}.$$

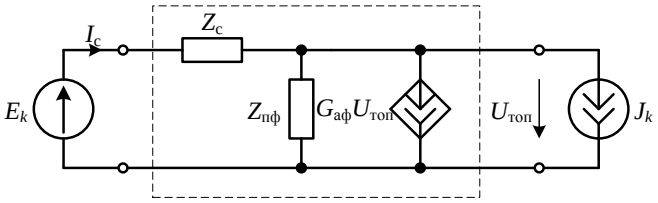


Рис. 1. Модель системы «гибридное ФКУ – внешняя сеть»

Для схемы на рис. 1 матрица гибридных параметров

$$[F]=\begin{bmatrix} \dfrac{Y_c(Y_{nф}+G_{aф})}{Y_c+Y_{nф}+G_{aф}} & \dfrac{Y_c}{Y_c+Y_{nф}+G_{aф}} \\ \dfrac{Y_c}{Y_c+Y_{nф}+G_{aф}} & \dfrac{1}{Y_c+Y_{nф}+G_{aф}} \end{bmatrix}$$

Частотные характеристики гибридных параметров ФКУ параллельной структуры показаны на рис. 2.

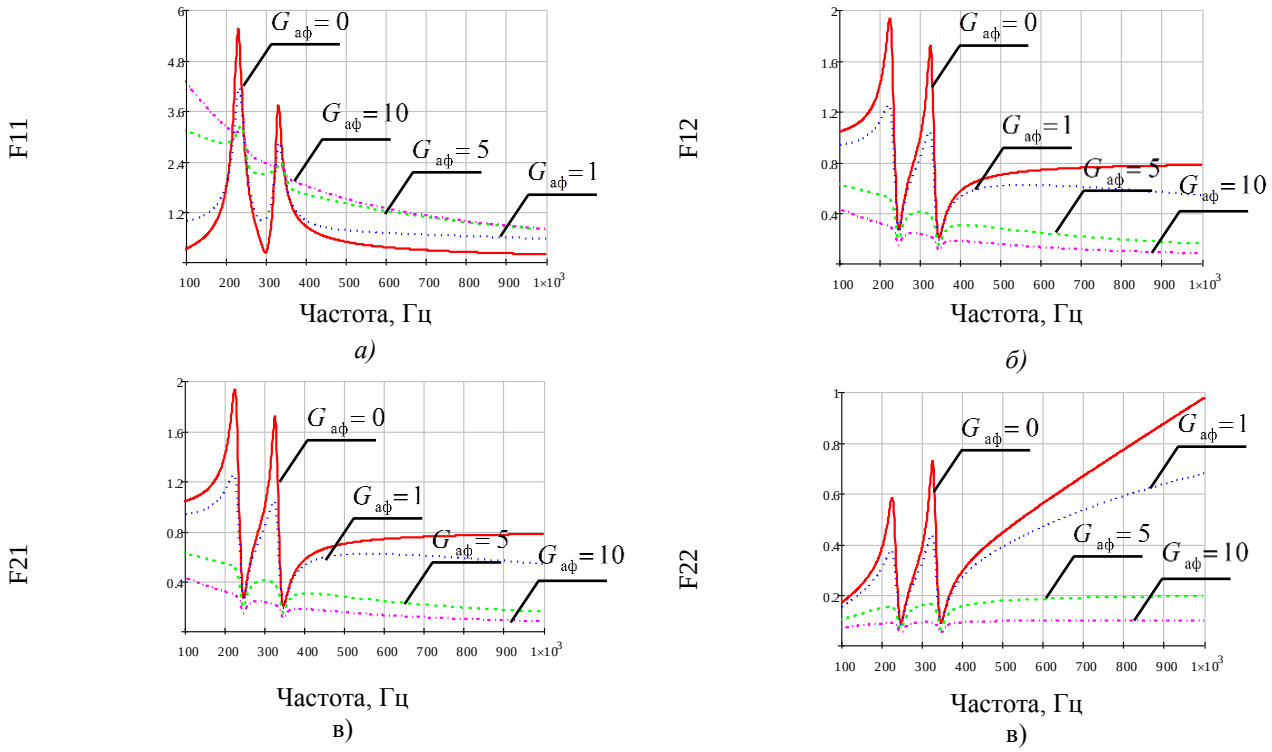


Рис. 2. Частотные характеристики гибридных параметров ФКУ параллельной структуры (рис. 1)

Анализ показывает, что зависимость компенсационных характеристик гибридных ФКУ от параметров пассивного и активного фильтров имеет нелинейный характер. Для получения требуемых характеристик необходимо использование методов оптимизации.

Задачу оптимизации характеристик гибридного ФКУ сформулируем следующим образом: необходимо найти параметры сопротивления пассивного фильтра, обеспечивающего минимум многокритериальной целевой функции

$$\Phi=\sum_{(k)} w_k \Phi_k,\ k=1,2,\ldots, \qquad (1)$$

при выполнении ограничений на параметры пассивного и активного фильтров.

Весовые коэффициенты w_k учитывают относительное значение критериев Φ_k. Критерий Φ_1 в формуле (1) определяет величину реактивной мощности, генерируемой пассивным фильтром:

$$\Phi_1 = \left(Q_0 - Q_{\text{ку}}\right)^2 \Big/ S_н^2 .$$

Здесь $Q_{\text{ку}}$ – мощность, генерируемая ФКУ на частоте основной гармоники, $S_{\text{н}}$ – полная мощность нагрузки, Q_0 – реактивная мощность, которую необходимо компенсировать в точке общего присоединения ФКУ и нелинейной нагрузки. Критерии Φ_2 и Φ_3 определяют селективные свойства проектируемого фильтра:

$$\Phi_2 = \left(k_{\text{г}U}\right)^2 = \frac{\sum_{k=3}^{N} U_k^2}{U_1^2};\ \Phi_3 = \left(k_{\text{г}I}\right)^2 = \frac{\sum_{k=3}^{N} I_k^2}{I_1^2} .$$

В целевую функцию, определяемую выражением (1), можно включить и другие критерии.

В докладе рассмотрен пример расчета гибридного ФКУ для установки на шинах трансформаторной подстанции 380 В. Нелинейной нагрузкой являются электроприводы с регулируемой скоростью вращения. Фильтр должен обеспечивать компенсацию реактивной мощности, а также подавление высших гармоник тока в питающей сети и гармоник напряжения на шинах ТП.

Оптимизация характеристик гибридного ФКУ осуществлялась в смешанном пространстве параметров пассивного и активного фильтров. В качестве варьируемых параметров использовались полюсы и нули операторного сопротивления $Z_{\text{пф}}(s)$, а также параметр активного фильтра $G_{\text{аф}}$.

Расчет гибридного ФКУ выполнялся в два этапа. На первом этапе определялись параметры пассивного и активного фильтров, обеспечивающие заданные требования к компенсационным характеристикам устройства. На втором шаге осуществлялась реализация структуры пассивного фильтра. Такой подход обеспечивает возможность выбора наиболее подходящей конфигурации пассивного фильтра.

Анализ показал, что после установки фильтра суммарный коэффициент гармоник напряжения в точке общего присоединения снизился с 9 % до 1.5 %. Суммарный коэффициент гармоник тока в сети снизился с 17,3 % до 5 %. Спроектированное ФКУ осуществляет компенсацию реактивной мощности и подавление высших гармоник тока, создаваемых нелинейной нагрузкой. Одновременно устройство ослабляет высшие гармоники напряжения в точке общего присоединения, создаваемые нелинейной нагрузкой и внешней сетью. Мощность активного фильтра составляет менее 10 % от мощности всего ФКУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Розанов Ю. К. Силовая электроника: учебник для вузов/ Ю. К. Розанов, М. В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. Изд. 2-е. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 632 с.

2. Синтез фильтрокомпенсирующих устройств для систем электроснабжения: коллективная монография / Н. П. Боярская, В. П. Довгун, Д. Э. Егоров и др.; под ред. В. П. Довгуна. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 192 с.

РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБОВ ГАШЕНИЯ ПОЛЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Ефремов И.М.
Научный руководитель: Космынина Н.М., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: efremov_uka94@mail.ru

THE PROGRAM DESIGN DEVELOPMENT FOR RESEARCH DAMPENING FIELD GENERATOR

Efremov I. M.
Scientific Supervisor: ass. prof. Kosmynina N. M.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str.,30, 634050
E-mail: kosm_nm@tpu.ru

Короткое замыкание внутри турбогенератора или на его зажимах относится к разряду самых тяжелых аварий и поэтому должно быть ликвидировано в возможно более короткий промежуток времени. Одним из способов ограничения размеров аварии является гашение поля турбогенератора, заключающееся в быстром сведении магнитного потока возбуждения электрических машин к величине, близкой к нулю.

Необходимость гашения поля часто встречается в условиях нормальной эксплуатации. Однако этот процесс приобретает особое значение при аварийных режимах, вызванных повреждениями изоляции внутри самой машины или на ее выводных зажимах. Рост мощности турбогенераторов означает значительное увеличение энергии, запасенной в магнитном поле ротора , что приводит к увеличению тока короткого замыкания, расширению размеров аварии, возможному выгоранию обмотки и активной стали машины. Размеры аварии, однако, определяются не только величиной тока, но и продолжительностью короткого замыкания. Они становятся тем меньшими, чем быстрее осуществляется гашение поля [1].

Простейшим способом гашения поля является отключение обмотки возбуждения. Однако непосредственное отключение вследствие большой индуктивности обмотки приводит к возникновению значительных перенапряжении, способных вызвать пробой изоляции. Поэтому при гашении поля прибегают к замыканию обмотки возбуждения на разрядное сопротивление или на встречно действующую электродвижущую силу (противовключение возбудителя), или на дугогасительную решетку.

На кафедре электроэнергетических систем Энергетического института Томского политехнического университета для исследования гашения поля была разработана программа в среде Mathcad (*Рис.1*).

На основе данных, введенных пользователем, выполняется расчет всех выше перечисленных способов гашения поля, включая оптимальные условия. Далее пользователь сравнивает разные способы гашения поля и делает вывод о наилучшем методе.

В современных условиях для подготовки специалистов высокой квалификации требуется усиление активной составляющей образовательного процесса.

В связи с этим была поставлена задача разработки новой программы, способствующей активному вовлечения студента – пользователя в процесс усвоения теоретического материала. В качестве программной среды выбрана среда Delphi, имеющая широкие возможности для создания удобного интерфейса [2].

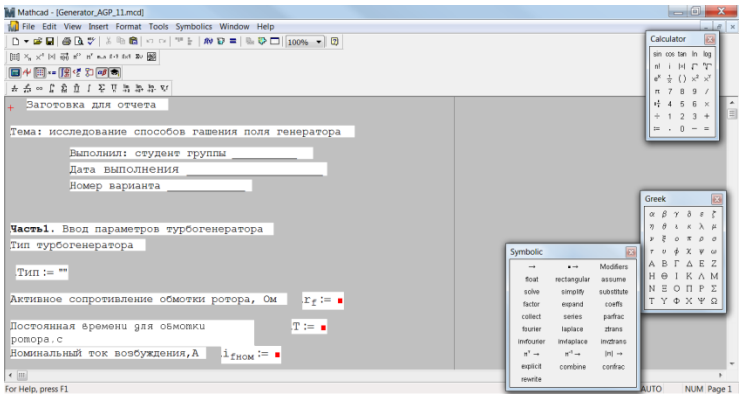


Рис. 1. Стартовая страница программы Mathcad.

Одной из особенностей новой программы является привлечение студента к самостоятельному введению расчетных выражения – окно ввода расчетного выражения представлено на *Рис.2*.



Рис. 2. Пример самостоятельного ввода расчетного выражения

После прохождения программной проверки введенного выражения возможен дальнейший этап программы.

На *Рис 3-4* представлены рабочие окна программы: проверки ошибочного ввода данных, пример построения графика.

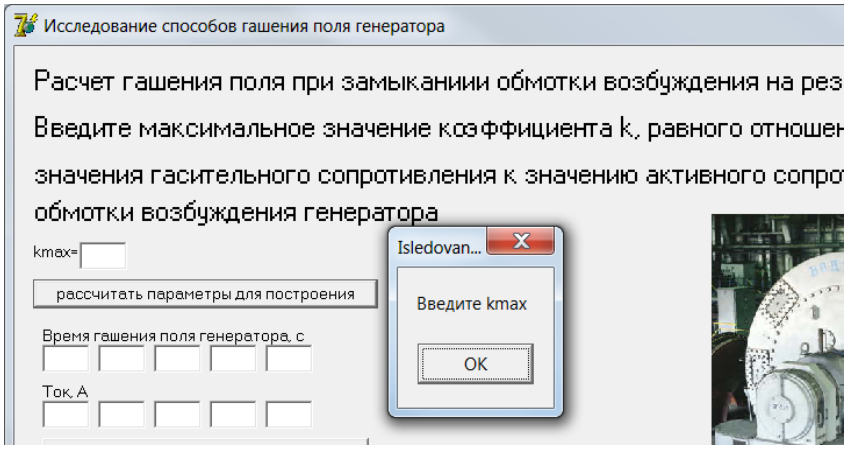


Рис. 3. Пример проверки ошибочного ввода данных.



Рис. 4. Пример построения графика при замыкании обмотки возбуждения на резистор

Для получения корректных результатов предусмотрены проверки введённых исходных данных по граничным справочным значениям для турбогенераторов типов Т, ТВС, ТВФ, ТВВ, ТГВ, ТВМ, ТВВ, Т3В, ТВС [3].

Таблица 1

Граничные условия для проверки исходных данных.

Параметр	Граничные условия
Активное сопротивление обмотки ротора, Ом при 15 градусов	0,0496-0,559
Постоянная времени для обмотки ротора , с	0,13-1,71
Номинальный ток возбуждения, А	249-7530
Номинальное напряжения возбуждения, В	140-515
Напряжение на обмотке статора до гашения поля, кВ	6,3-24

Корректность работы новой программы подтверждается сравнением полученных итоговых данных с результатами программы среды Mathcad и аналитических расчетов.

По данной теме автором были представлены и обсуждены доклады на V Международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи» [4] и на XIX Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Брон О.Б Автоматы гашения магнитного поля – М.-Л: Госэнергоиздат, 1961. – 138 с.
2. Культин Н.Б. Основы программирования в Delphi 7/Н.Б. Культин. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2007. – 594 с.: ил.
3. Неклепаев, Борис Николаевич. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учебное пособие. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2013. — 607 с.
4. Ефремов И. М. , Космынина Н. М. Разработка программы для исследования способов гашения поля генератора // Электроэнергетика глазами молодёжи: научные труды V Международной научно-технической конференции, Томск, 10-14 Ноября 2014.

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ С ПОРИСТЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ ЗОНЫ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ

Илясова А.С., Долгов С.В.
Научный руководитель: Кулеш Р.Н. к.т.н., ассистент.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: asi4@tpu.ru

STAND TESTS OF BURNERS WITH A POROUS FILLING MIXING ZONE

ILYASOVA A.S., DOLGOV S.V.
Tomsk Polytechnic University, 634050, Lenina Avenue, 30, Tomsk, Russia
E-mail: asi4@tpu.ru

Annotation: Tests of two structural models of burners with a carbon porous structure using kerosene brand - TS-1 as fuel for the first and disposal of flammable liquids for the second model of burners.

Аннотация: Проведены испытания двух конструкционных моделей горелочных устройств с углеродистой пористой структурой с использованием керосина в качестве топлива для первой и отходов легковоспламеняющихся жидкостей для второй модели горелочных устройств.

Все чаще обостряется вопрос масштабного использования низкосортного сырья в качестве энергоносителя. На этом фоне вызывает практический интерес целевое использование в качестве энергоносителей вторичных продуктов (отходов) углеводородного состава при их утилизации. Однако данное направление в энергоресурсосбережении сдерживается отсутствием эффективных способов и устройств, позволяющих сжигать такие некондиционные топлива, как попутный газ, синтез-и биогазы, конденсаты, отходы мазутных хозяйств, машинных масел и др.

Путем решения подобного рода проблемы в малой энергетике могут стать специальные горелочные устройства, разработанные в двух конструктивных вариантах [1-5]. Принцип их работы основан на обеспечении подготовки топливовоздушной смеси и активного окисления внутри пористой структуры фракций засыпки, в качестве которой выступает криптол, формируя таким образом матрицу объема активной зоны горения. Данный способ позволяет предотвратить проскок пламени и исключить возможность развития критического объема для взрыва[6], тем самым обеспечивая эффективность и безопасность при сжигании низкокалорийных и высококалорийных топлив.

В развитие преимуществ беспламенных горелок инфракрасного излучения представлены конструкции горелочных устройств для безопасного и эффективного сжигания жидких топлив [1, 2]. В качестве топлива для первой конструкции был использован керосин марки – ТС-1, для второй – отходы ЛВЖ. Состав и теплофизические характеристики используемых топлив приведены в табл.1, 2..

Испытания горелочных устройств выполнялись на специально разработанных экспериментальных стендах (рис. 1). Конструктивные особенности, принцип действия и метод испытаний горелок были описаны ранее в [3 - 5].

Таблица 1

Состав и теплофизические характеристики керосина

Элементный массовый состав топлива					Рабочие характеристики топлива			
C^r, %	H^r, %	N^r, %	O^r, %	S^r, %	Низшая теплота сгорания ($Q_н^р$), кДж/кг	Плотность (ρ), кг/м^3	Влажность (W^r), %	Зольность (A^r), %
83,50	16,40	-	0,0839	-	44835,07	780,0	0,0001	0,016

Таблица 2

Состав и теплофизические характеристики ЛВЖ

Элементный массовый состав топлива					Рабочие характеристики топлива			
C^r, %	H^r, %	N^r, %	O^r, %	S^r, %	Низшая теплота сгорания ($Q_н^p$), кДж/кг	Плотность (ρ), кг/м^3	Влажность (W^r), %	Зольность (A^r), %
79,70	13,63	6,39	0,1598	-	30236,12	884,7	0,0002	0,12

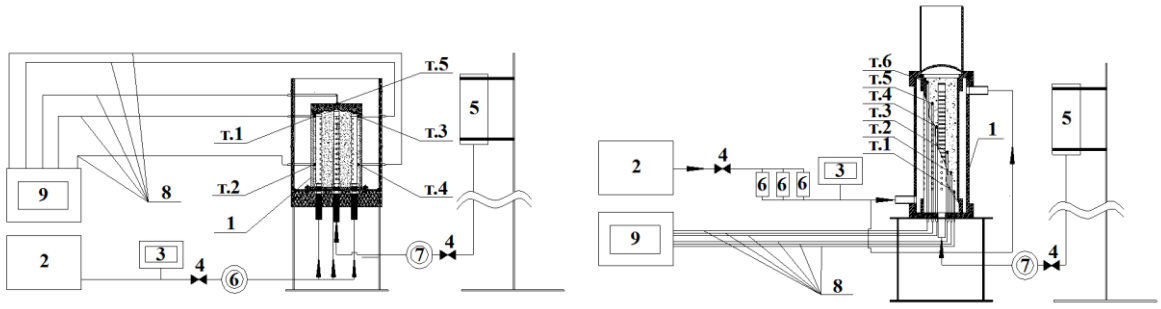


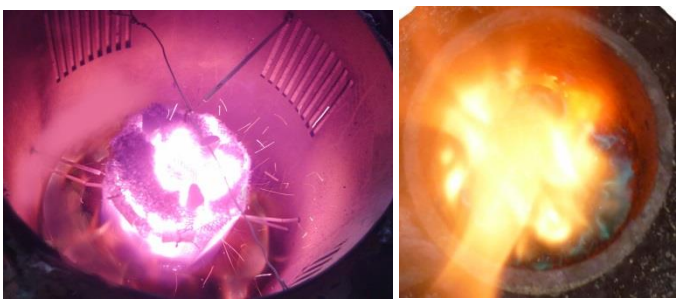
Рис.1. Схемы испытательных стендов. 1 – горелочное устройство; 2 – компрессор; 3 – напоромер; 4 – игольчатый вентиль; 5 – емкость; 6 – ротаметр (тип РП-8); 7 – ротаметр (тип РП-5); 8 – термопары (№№ 1, 2, 3, 4, 5, 6); 9 – милливольтметр

Приближенная оценка тепловой мощности горелок (Q, кВт) в условиях наладки режима горения производилась по формуле [8]:

$$Q = B \cdot Q_н^p,$$

где B – фактический расход топлива на горение, кг/с; $Q_н^p$ – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Фотографии горелочных устройств в фазе испытаний показаны на рис. 2. Основные результаты экспериментов представлены графиками зависимости тепловой мощности испытуемых горелочных устройств от расхода топлива соответственно для первой и второй модели (рис. 3).

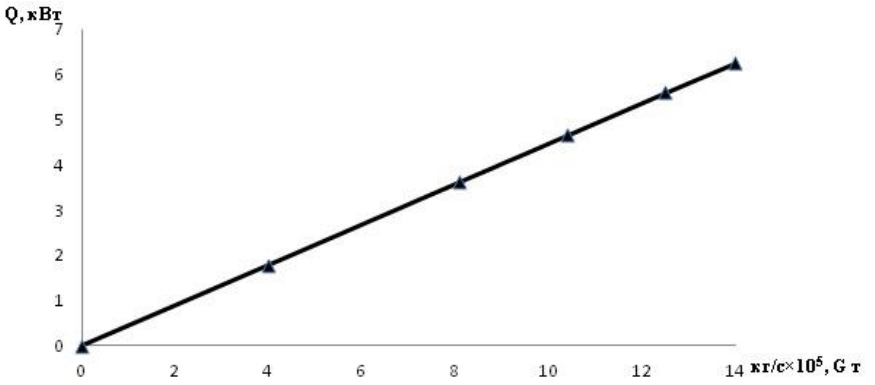


а) б)

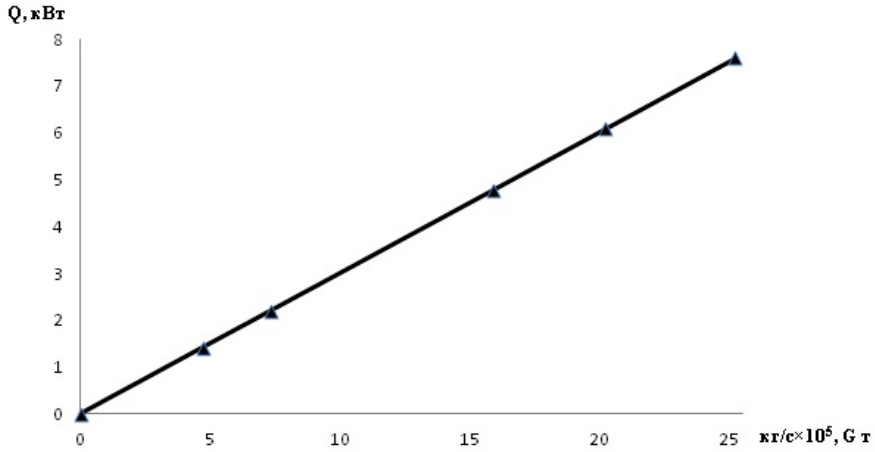
Рис. 2. Горелочные устройства в стадии испытания

а) Вид горелочного устройства первой модификации при работе на номинальной нагрузке

б) Вид на устье горелочного устройства второй модификации



а)



б)

Рис. 3. Зависимость тепловой мощности горелочного устройства от расхода топлива
а) Испытания первой модели горелочного устройства (топливо - керосин)
б) Испытания второй модели горелочного устройства (топливо - ЛВЖ)

В режиме увеличения тепловых нагрузок горелочных устройств, фиксируемые температуры рабочих зон горения варьировались в примерном диапазоне от 0 до 1000 ºС. Для первого прототипа горелочного устройства, при испытаниях максимальная тепловая нагрузка составила значение порядка 6,3 кВт, для второго прототипа, 7,6 кВт. Результатами проведенных экспериментов показано, что работа горелки первой конструкции происходит в беспламенном режиме, т.е. в инфракрасном диапазоне излучения. Горелка второй модели при испытаниях в диапазоне тепловых нагрузок до 3 кВт обеспечивает горение топлива в беспламенном режиме, когда как при нагрузках свыше 3 кВт процесс горения топлива происходит в факельном режиме.

Выводы:

1. Испытаниями на жидком топливе подтверждена работоспособность первого конструктивного решения горелочного устройства и его соответствие принципам действия горелок беспламенного горения и инфракрасного излучения. Испытаниями подтверждена работоспособность второго горелочного устройства и выявлена универсальность работы горелки с возможностью обеспечения горения в диапазоне от беспламенного до факельного режимов.

2. Полученные данные по эксплуатационным характеристикам испытанных горелочных

устройств свидетельствуют о перспективности использования криптола в качестве материала для создания пористой среды в горелках данного типа.

3. Полученные экспериментальные и расчетные данные свидетельствуют о перспективности использования разработанных горелочных устройств в утилизирующих установках для сжигания жидких отходов углеводородного состава, а также в разработке на их основе теплогенерирующих установок мобильных автономных систем теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. пол. модель 129599 РФ. №2012141632/06(067033). Горелочное устройство инфракрасного излучения // Заявл. 28.09.2012; опубл.27.06.2013, Бюл. №18. 3 с.

2. Пат. пол. модель 136875 РФ. №2013134821/06. Горелочное устройство инфракрасного излучения // Заявл. 23.07.2013; опубл. 20.01.2014, Бюл. №2. 3 с.

3. Долгов С.В., Долгих А.Ю., Макеев А.А. Испытания горелочного устройства инфракрасного излучения беспламенного горения // Теплофизические основы энергетических технологий: сборник научных трудов III Всероссийской научно-практической конференции – С.-Петербург: Изд-во Экспресс; Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – С. 150 – 154.

4. Долгов С.В., Заворин А.С., Долгих А.Ю., Субботин А.Н. Испытания горелочного устройства беспламенного горения и инфракрасного излучения // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – №4. – С. 39 – 42.

5. Долгов С.В., Клочко К.И., Табакаев Р.Б., Испытания горелочного устройства // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014 - №2. – С. 38-41.

6. Талантов А.В. Основы теории горения. Ч. 1. – Казань: КАИ им. А.Н. Туполева, 1975. – 273 с.

7. Беляев А.Ф., Боболев В.К., Коротков А.И., Сулимов А.А., Чуйко С.В. Переход горения конденсированных систем во взрыв. – М.: Наука, 1973. - 292 с.

8. Янкелевич В.И. Наладка газомазутных промышленных котельных – М.: Энергоатомиздат, 1988.– 216с.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ.

Кабак А.Л.
Научный руководитель Боярская Н. П., к.т.н., доцент
Красноярский государственный аграрный университет, Россия, г. Красноярск, пр. Мира, 90, 660049, E-mail: alkabak@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы качества электроэнергии в сетях наружного освещения, при использовании светодиодных светильников. Анализ гармонического состава токов и напряжений для различных видов осветительных приборов проводился в лабораторных условиях. Показано, что для компенсации высших гармоник, создаваемых осветительными приборами, наиболее простым решением будет использование пассивных фильтров гармоник, которые подключаются одновременно с включением нелинейной нагрузки в сеть.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY AND MODERN DEVICES FOR OUTDOOR LIGTING.

Kabak A. L.
Supervisor Boyarskaya N.P., candidate of technical sciences,
Krasnoyarsk State Agrarian University, Russia, Krasnoyarsk, Mira str., 90, 660049, E-mail: alkabak@mail.ru

In the article questions of power quality in outdoor lighting networks, when using LED lamps. Analysis of harmonic composition of currents and voltages for different types of lighting fixtures was conducted under laboratory conditions. It is shown, that to compensate for the higher harmonics created by the lighting, the most simple solution is to use a passive harmonic filters, which are connected at the same time with the inclusion of non-linear load on the network.

Одной из важнейших проблем современной электроэнергетики является проблема качества электроэнергии и более общего понятия – электромагнитной совместимости потребителей в системах электроснабжения.

Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 18.07.2011) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" стимулирует потребителей к применению энергосберегающих устройств и технологий, поэтому в ближайшем будущем можно прогнозировать только обострение проблемы качества электроэнергии. Это касается и сетей наружного освещения.

Основной причиной ухудшения качества электроэнергии является широкое распространение нелинейных нагрузок, создающих при своей работе токи несинусоидальной формы. Их можно представить в виде суммы гармонических составляющих, частоты которых кратны основной частоте питающей сети. Высшие гармоники оказывают неблагоприятное влияние на работу силового электрооборудования, устройств релейной защиты и автоматики, вызывают ускоренное старение изоляции [1, 2].

Конечно, основным источником гармонических искажений в распределительных сетях являются нелинейные нагрузки крупных промышленных потребителей (заводов, где используются мощные выпрямительные установки, мощные электроприводы с регулируемой частотой вращения, электрифицированные железнодорожные сети). Однако, в последние годы отмечается значительное

ухудшение качества электрической энергии в сетях непромышленных потребителей – торговых комплексов, наружного освещения, офисных зданий, учебных заведений, жилых зданий.

Целью настоящей статьи является анализ искажений синусоидальности, которые появляются в распределительных сетях наружного освещения. В современных электроосветительных сетях все большее распространение получают энергоэкономичные световые приборы. Для наружного освещения таковыми являются, прежде всего, светодиодные источники света. Для распределительных сетей они служат нелинейной нагрузкой, так как фактически являются однофазными выпрямительными устройствами.

Для измерения основных показателей качества электроэнергии, а также гармонических составляющих тока и напряжения использовался анализатор качества электроэнергии PM175 SATEC. Измерения проводились в соответствии с методикой, подробно изложенной в статье [3,4]. Для измерений была использована схемы трехпроводного прямого соединения без трансформаторов тока – приведена в статье [5]. Измерения гармонического состава токов и напряжений для каждого типа световых приборов проводились в течение 4-х часов.

Результаты измерений

Потребителями являлись следующие источники света:

1. Светильники светодиодные мощностью 50 Вт на фазу (СДУ-50),
2. Прожекторы светодиодные мощностью 20 Вт на фазу,
3. Прожекторы светодиодные мощностью 10 Вт на фазу,
4. Светодиодные светильники мощностью 102 Вт на фазу (DYMA-ДКУ-121-100-220),
5. Светодиодные светильники мощностью 50 Вт на фазу (DYMA-ДКУ-131-44-220),
6. Светодиодные светильники мощностью 90 Вт на фазу (Diora 90).

Источники света, которым в данном перечне присвоены номера 2 и 3 чаще всего используются в качестве точечных источников или источников подсветки архитектурных сооружений. Прочие светотехнические устройства – предлагаются к использованию для освещения автомобильных трасс и жилой застройки города. Измерения проводились в лабораторных условиях и, для получения симметричной нагрузки, в каждую фазу включалось по одному световому прибору соответствующего типа. Источники света были приобретены в розничной торговой сети, изготовлены – самыми различными производителями светотехнического оборудования. Для сравнения в сводных таблицах 1 и 2 приводятся аналогичные характеристики наиболее распространенных в настоящее время светильников с лампами ДНаТ мощностью 160 Вт на фазу. Все измерения выполнялись одними теми же измерительными приборами в одинаковых внешних условиях и в течение одинакового времени работы.

Данные, полученные в результате измерений, сведены в таблицу 1 (гармонический состав токов). Приводятся данные для нечетных гармонических составляющих.

Таблица 1.

Гармонический состав токов осветительных приборов (в % к фазному току)

№ гармон. составл.	Типы осветительных приборов						
	СДУ 50 Вт	СД 20 Вт	СД 10 Вт	DYMA-ДКУ-121-100-220	DYMA-ДКУ-131-44-220	Diora 90	ДНаТ 160
3	15,4	14,2	93	11,1	11,0	15,0	11,3
5	11,0	95	82	7,0	7,2	9,0	12,1
7	8,3	92	69,8	3,2	5,2	6,8	18,0
9	2,3	9,8	60	1,1	1,0	2,1	7,6
11	35	77	55	3,9	1,6	2,8	23,11
13	31	73	53	2,9	2,5	2,42	8,8
15	20	6,8	50,9	11	14,5	18	40
Ток фазы	0,18 А	0,04 А	0,01 А	0,36 А	0,2 А	0,32 А	0,64 А
cosφ	0,86	0,98	0,62	0,635	0,9	0,765	0,763

Относительные значения четных гармоник не превышают 1 % и поэтому не приводятся.

Как очевидно из таблицы 1, все источники света имеют в спектрах токов весьма существенную величину гармонической составляющей 3-го порядка (3-ю гармонику), а светодиодные прожекторы – вплоть до 15-й. Это не может не сказаться на появлении токов в нулевом проводе, еще раз подчеркнем, что нагрузка на фазы была полностью симметричной. Кроме того, в таблице 1 приводятся средние значения уровней гармонических составляющих за период проведения измерений. Если рассматривать мгновенные значения, то величины высших гармонических составляющих будут еще больше.

Кроме измерения величин гармонических составляющих тока, проводились измерения тока в нулевом проводе. Данные измерений, совместно с данными об уровне фазного потребляемого тока приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Уровни фазного тока и тока в нулевом проводе

Уровни токов	Типы осветительных приборов						
	СДУ 50 Вт	СД 20 Вт	СД 10 Вт	DYMA-ДКУ-121-100-220	DYMA-ДКУ-131-44-220	Diora 90	ДНаТ 160
В нулевом проводе	0,1 А	0,03 А	0,01 А	0,2 А	0,08 А	0,32 А	0,5 А
В фазном проводе	0,18 А	0,04 А	0,01 А	0,36 А	0,2 А	0,32 А	0,64 А

Данные последней таблицы позволяют сделать вывод о том, что использование маломощных светодиодных прожекторов, и светильников типа Diora 90 особенно опасно в случае старой электропроводки и, если они подключаются к сети электроснабжения в зданиях, так как уровни токов в нулевом проводе возрастают и способствуют перегоранию этого провода, и могут вызвать аварии в системах электроснабжения. А также - использование светодиодных световых приборов приводит, как показано в таблице 1, к существенному снижению коэффициента мощности.

Заключение

В сетях наружного освещения, оснащенных светодиодными источниками света, наблюдаются

значительные искажения формы кривых токов. Причиной этих искажений являются именно светодиодные светильники. Достаточно часто коэффициент искажения синусоидальности кривой тока превышает 30% даже при полностью симметричной нагрузке [4]. Это значительно увеличивает потери по сравнению с синусоидальным режимом. А появление гармоник, кратных трем приводит к существенному росту тока в нулевом проводе. Что может привести к аварии, вызванной перегоранием нулевого провода.

Поэтому необходимо в обязательном порядке предусматривать мероприятия по поддержанию качества электроэнергии и надежности систем электроснабжения. Наибольший эффект получается при использовании специальных компенсирующих устройств – активных и пассивных фильтров гармоник.

В [6] показано, что наибольшую эффективность фильтр имеет, если он включается в сеть одновременно с включением электроприемника, для которого предназначен. Возможны два варианта: 1 – установка фильтра для каждой лампы освещения, 2 - установка фильтра для сети освещения. Первый вариант был бы универсальным, но при изготовлении дросселей для такого пассивного фильтра потребуется материал с чрезвычайно высоким коэффициентом магнитной проницаемости (порядка 1000000), иначе габаритные размеры фильтра будут значительно превышать размеры источника света. Второй вариант наиболее просто выполнить, если схемой электроснабжения предусмотрен отдельный распределительный щит (щиты) для освещения. Стоимость фильтра для компенсации двух гармонических составляющих тока, в этом случае составит порядка 30-35 тыс. руб., а в результате использования таких фильтров экономия будет не менее 5% от затрат на оплату электроэнергии [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Куско, А. Качество энергии в электрических сетях / Куско А., Томпсон М.: пер. с англ. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 336 с.
2. Akagi H. Active harmonic filters. Proceedings of the IEEE. Vol. 93, 2005, No. 12, pp. 2128-2141.
3. Боярская Н. П., Довгун В. П., Темербаев С. А., Шахматов С. Н. Анализ качества электроэнергии в распределительных сетях АПК. Вестник КрасГАУ, 2012, № 3, с. 169 – 182.
4. Боярская Н.П., Довгун В.П., Темербаев С. А., Кабак А.Л., Колмаков О.В. Анализ спектрального состава токов и напряжений светодиодных и газоразрядных источников света. Вестник КрасГАУ2013, №8, с.174-180.
5. Довгун В.П., Темербаев С. А., Кунгс Я. А., Синяговский А. Ф. Качество электроэнергии в городских распределительных сетях 0,4 кВ. Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции «Энергоэффективность систем жизнеобеспечения города». 21-22 ноября 2012 г. Красноярск, с. 113 – 121.
6. Боярская, Н.П., Проблемы компенсации высших гармоник в распределительных сетях агропромышленного комплекса/ Боярская Н.П., Довгун В.П., Кунгс Я.А. Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2012. – 123с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА

Кавун Д.А.
Научный руководитель: Черкашина Г.А., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bl00dm00n@mail.ru

THE FRACTIONATION RESEARCH OF THE FUEL SOLID PART TOWARDS DETERMINATION OF MATERIAL COMPOSITION

Kavun D.A.
Scientific Supervisor: Assistant, Cherkashina G. A.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: bl00dm00n@mail.ru

Исследование минеральной части углей, а также особенностей ее распределения является важным с точки зрения прогнозирования поведения топлива в процессе сжигания, поведения шлака, образования отложений при сжигании, эрозионного износа, экологии и т.д.

Неорганическая (минеральная) часть угля представляет собой полиминеральную систему, состоящую из различных минералов, таких как кварц, пирит, глинистые минералы, карбонаты и т.д. Для определения характера связи минеральных компонентов с органическим веществом часто используются термины «внешняя» и «внутренняя» зола. Под внешней золой понимают ту часть, которая при размоле отделяется от органического угольного вещества и состоит из крупных минералов, их ассоциаций, сростков. Внутренняя зола содержит минеральные элементы органических соединений и мелкие минеральные примеси. Такое деление позволяет учитывать различие условий, при которых происходит преобразование минеральной части в топочной камере (различие температуры горящих частиц и инертных, формирование новых композиций в горящих пылеугольных частицах при восстановительной атмосфере и практическое отсутствие взаимодействия индивидуальных частиц внешней золы). Для изучения минерального состава применимы все существующие методы (химические, оптические, рентгено и термографические). Однако неорганическая часть угля является очень сложной, а иногда плохо раскристаллизованной смесью, поэтому не все методы дают удовлетворительные результаты. Вследствие этого необходимо сочетание методов с дополнительной обработкой проб, которая позволяет разделить полиминеральную смесь на мономинеральные фракции. Одним из приемов обработки проб является разделение проб твердого топлива в тяжелых жидкостях с различным удельным весом. Фракционный состав углей характеризует количественное распределение минеральных примесей по фракциям плотности. При разделении угля на ряд фракций по плотности, во фракцию имеющую наиболее низкую плотность перейдут чистые зерна угля, во фракцию с большей плотность перейдут внешние минеральные примеси. Эта зависимость проявится после определения зольности каждой фракции.

Целью данной работы является разработка методики разделения углей в тяжелых жидкостях центрифугированием.

Объектом исследования являлся бурый уголь Шиве-Овооского месторождения Монголии.

Для данной методики важным процессом является подготовка пробы, а именно ее измельчение. Для установления влияния размера частиц пыли на процесс разделения были использованы несколько вариантов подготовки пробы.

В первом случае проба угля размалывалась на лабораторной планетарной мельнице, затем

подвергалась разделению в жидкостях с удельным весом ≤1400, ≤1600, ≤1800, ≤2280 и >2280.

Во втором варианте исходная проба также измельчалась на лабораторной мельнице и была рассеяна на восемь весовых фракций от 250 до менее 54 мкм). На рис.1 представлены зерновые характеристики пробы, приготовленной по второму варианту.

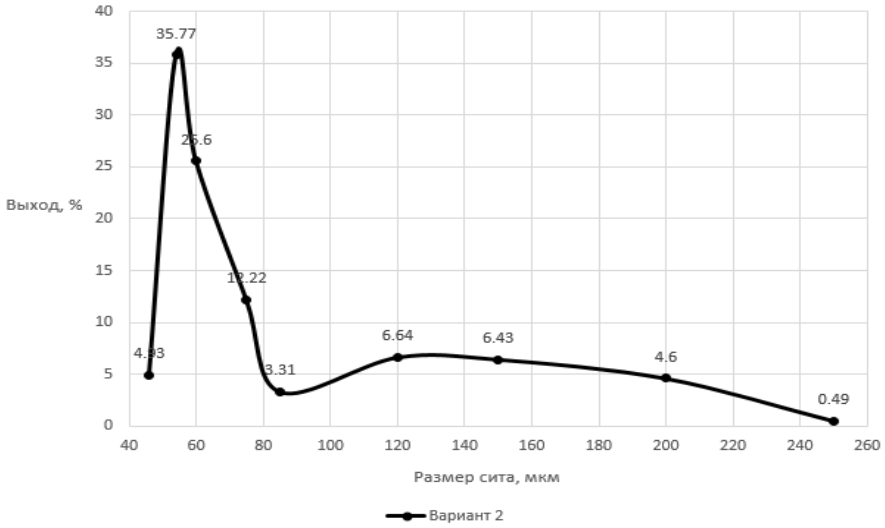


Рис. 1. Зерновые характеристики угольной пыли

Разделение проводилось по каждой группе размерных фракций.

В третьем варианте исходная проба измельчалась вначале на лабораторной планетарной мельнице. затем рассеивалась на сите R90. Остаток на сите вновь подвергался размолу на современной мельнице «Пульверизетте». Таким образом проба была измельчена до монодисперсного состояния.

После разделения в тяжелых жидкостях и высушивания проводилось определение весовых количеств каждой фракции и зольности в них.

На рисунке 2 представлены экспериментальные результаты разделения проб приготовленных по трем вариантам

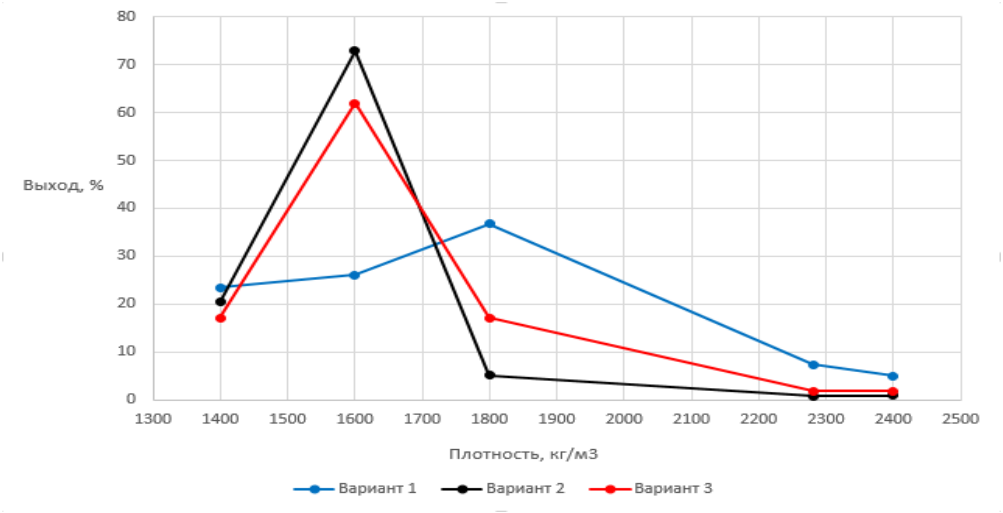


Рис. 2. Распределение различных фракций по плотностям

На рисунке 3 представлены результаты определения зольности разделенных фракций

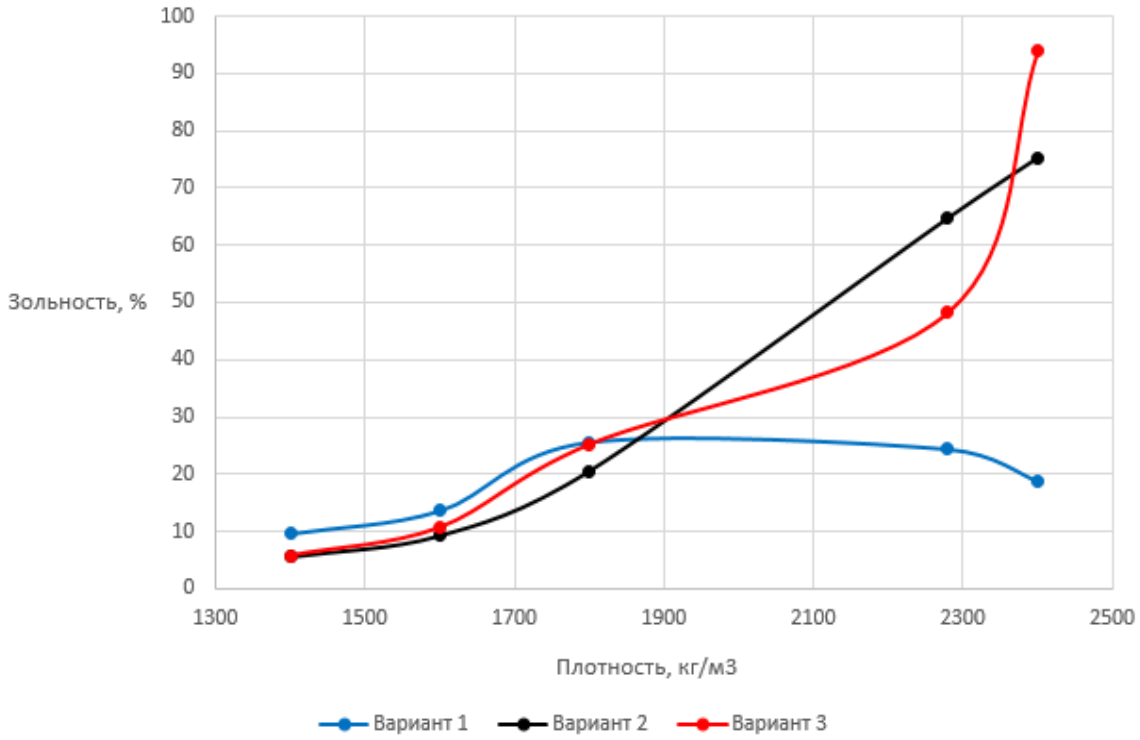


Рис. 3. Распределение зольности по плотностям

Сопоставив результаты разделения проб по трем вариантам можно сделать следующие выводы:

1. В первом варианте результаты не позволяют выявить с достаточной достоверностью каких-либо зависимостей.

2. Во втором и третьем случае результаты разделения показывают наличие зависимости возрастания зольности фракций с увеличением плотности тяжелых жидкостей, однако второй вариант очень трудоемкий, занимает большое количество времени поэтому можно предложить подготовку пробы к исследованию по третьему варианту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Генезис и свойства минеральных компонентов углей / И.А. Коробецкий, М.Я., Шпирт А.А. // Новосибирск: Наука, Сиб. отделение. – 1988.- 227 с.

2. Методы исследования вещественного состава твердых горючих ископаемых / В.В.Кирюков // Недра. – 1970.-240с.

3. Состав и термические свойства минеральной части бурых углей (теплотехнический аспект).- Новосибирск.: Изд. ИТ СО РАН, 1997.- 187 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Калимбеков Р.Н.
Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: rzabek92@gmail.com

PROGNOSTICATION OF RESOURCES DURING EXPLOITATION OF POWER TRANSFORMERS

Kalimbekov R.N.
Research Manager: Professor Muravlev O.P.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050
E-mail: rzabek92@gmail.com

Considered estimation of operating reliability and perfection of the system of technical service and repair of transformers. Analyzed defects and strong external affecting of transformers and their consequences. Considered probability of faultless work of power transformers.

Рассмотрены оценка эксплуатационной надежности и совершенствования системы технического обслуживания и ремонта трансформаторов. Проанализированы дефекты и сильные внешние воздействия на трансформаторы и их последствия. Рассмотрена вероятность безотказной работы силовых трансформаторов.

Силовые трансформаторы являются в электрических сетях и системах основными элементами, определяющими надежность и экономичность их функционирования. Аварийные отключения или отказы в работе приводят к значительным убыткам. Стоимость одного силового трансформатора в среднем достигает 250 тыс. 1,5 млн. долл. США, а с демонтажем поврежденного трансформатора, транспортными расходами, с работами по восстановлению и монтажом нового достигает 2,5 млн.

На данный момент в Казахстане (как в прочем и в России) отработали свой нормативный срок службы в 25 лет (ГОСТ 11677 85) большая часть силовых трансформаторов. В связи с этим все большее значение приобретает проблема оценки возможности дальнейшей эксплуатации вырабатывающий свой нормативный ресурс оборудования и продления срока службы. Поэтому актуальной задаче повышения надежности и качества работы электрических систем является оценка эксплуатационной надежности для учета ее при проектировании и совершенствования системы технического обслуживания и ремонта трансформаторов. Применение системы планово - предупредительного ремонта (ППР) обусловлено усложнением электрооборудования. Усложняется электрооборудование – повышаются требования производителя к эксплуатации, что приводит к дополнительной нагрузке на ремонтный персонал. Характерной особенностью системы ППР является формальный учет времени работы электрооборудования, которая берется за основу при формировании ремонтных циклов, приводящая к появлению обманчивого представления относительно истинного состояния по износу электрооборудования в период эксплуатации. Анализ технического состояния электрооборудования в период эксплуатации производиться с акцентом на благополучие механической составляющей, являющихся одной из составляющих силовых трансформаторов. В современных реалиях эксплуатации работоспособность силовых трансформаторов поддерживается только с помощью ППР, данная система не учитывает реальных условий эксплуатации, не увязаны ремонтные циклы с показателями надежности, имея сравнительно высокую трудоемкость технического обслуживания. Одни группы узлов, деталей и сборочных единиц силового трансформатора выходят из строя до наступления плановых сроков ремонта, другие оказавшиеся в более выгодных условиях и полностью работоспособные, направляется на ремонт

преждевременно, в соответствии с ППР. Что приводит к дополнительным затратам.

Обеспечение надёжной, бесперебойной работы силовых трансформаторов необходимо, в первую очередь, для предотвращения аварийных последствий, таких как, пожары из за внутренних повреждений трансформатора или выбросы масла. Во избежание таких повреждений силовых трансформаторов необходимо усиление прочности бака, предотвращение растекания масла, автоматическое пожаротушение, соответствующее устройство мембран, быстродействующие защитные системы. Вопросы транспортабельности требуют тщательной проработки при подготовке к транспортировке и проектировании, так как силовые трансформаторы необходимо перевозить в собранном виде и транспортные габариты ограничены. Дабы не допустить появления дефектов, которые впоследствии могут привести к аварии.

На работу трансформатора влияют как анормальные режимы работы энергосистемы, так и сильные внешние воздействия. Перечислим основные воздействия и их последствия.

Коммутационные и грозовые перенапряжения приводящие к повреждениям главной и витковой изоляции при недостаточных запасах их электрической прочности. Повышения рабочего напряжения вызывающие перевозбуждение трансформаторов. Перевозбуждение магнитной системы приводит к повышенному нагреву не только сердечника, так и конструкционных стальных деталей, что опасно для изоляции соприкасающаяся с ними.

Токи короткого замыкания воздействующие ударными механическими воздействиями на обмотки. Опасное влияние со стороны сети является воздействие на трансформаторы токов коротких замыканий, вызывающих повреждения и деформацию обмоток при их динамической нестойкости.

При включении токи намагничивания, приводят к повреждению обмоток из за механических и электрических переходных процессов. Причиной броска тока намагничивания сердечника может быть включение силового трансформатора с сеть. Так, для трансформатора мощностью 1000 МВ А блока АЭС на мгновение по причине броска тока при включении на стороны ВН для генераторов создается режим форсировки возбуждения. Очень много зависит от конструкции сердечника, из-за остаточной в сердечнике трансформатора вызывает бросок тока при включении. Разрабатываются способы снижения и ликвидации бросков тока.

Перегрузка трансформатора по току. Так же на продолжительность службы силового трансформатора влияет по причине старения режим нагрузки.

В жаркое время года опасное влияние оказывает тепловое воздействие перегрузок, которые становятся причиной выхода из строя герметичных вводов ВН.

Наиболее нагретые верхние слои масла нагревают данные вводы в нижней части. В результате таких повреждений образуется желтый налет внутри покрышки. Наиболее часто повреждается витковая изоляция 10 случаев (22%), причиной возникновения неисправности могут быть старение изоляции, постоянные перегрузки, динамические усилия при коротких замыканиях.

Второе место среди причин повреждений занимают вводы 8 случаев (17%), основные неисправности связаны с увлажнением и загрязнением изоляции негерметичных вводов, что приводит к развитию теплового и электрического пробоя изоляции ввода. Также неисправности связаны с отложением осадка на внутренней поверхности фарфора и на поверхности остова. Они адсорбируют влагу и загрязнения, в том числе металлосодержащие. И приводит к возникновению проводящих

дорожек, развитию разрядов и пробою масляного канала ввода. Также случаи течи масла из вводов через резиновые прокладки. Возможно вызванные дефектами монтажа, ремонта и эксплуатации. Что приводит к снижению давления масла, нарушению герметичности, попаданию влаги и воздуха во ввод.

Третье место занимают по повреждаемости обмотки 7 случаев (15%). Наиболее часто обмотки выходят из строя по причине плохих контактных соединений и витковых КЗ.

Следующее место среди причин повреждения занимают недостатки переключающих устройств, которые начинаются с 14 лет эксплуатации. Максимальное количество повреждений переключающих устройств при 15-23 годов эксплуатации трансформаторов. Неисправности связаны с отсутствием контакта и оплавлением контактной поверхности.

Дефекты проходной изоляции, бака, фильтров, радиаторов, неисправности системы охлаждения малочисленны, но не менее опасны.

Не редко, трансформаторы отключаются в результате недостатков релейной защиты. В последнее время наблюдается возрастания таких отказов, что скорее всего связана с нехваткой квалифицированных релейщиков и большой текучкой кадров в группах РЗиА.

При экспоненциальном законе распределения справедливы соотношения:

$P(t) = e^{-\lambda t}$; $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$; Tср = 1/ λ ; $\lambda = const.$

График зависимости вероятности безотказной работы от времени $P(t) = e^{-\lambda t}$ трансформаторов 110 кВ, изображенный на рисунке 1.

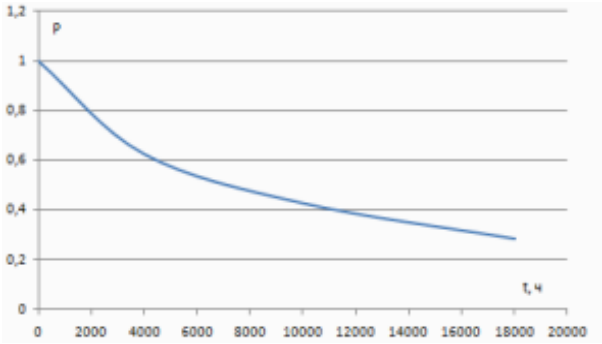


Рис. 1 - Вероятность безотказной работы трансформаторов

Таким образом, можно сделать вывод о том, что с увеличением времени эксплуатации трансформаторов (находящиеся в работе более 25 лет), вероятность безотказной работы будет снижаться согласно кривой рисунка 1. Следовательно, требует более тщательного обслуживания, проведения капитальных ремонтов или замены устаревшего оборудования, в случая нерентабельности дальнейшей эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1.Савваитов Д.С., Тимашова Л.В. Техническое состояние основного оборудования подстанций и ВЛ, мероприятия по повышению надежности.//Электрические станции. – 2004. №8.- с. 18-20

2.Объем и нормы испытаний электрооборудования: / Под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. – 6-е изм., с изм. и доп. РД 34.45-51.300-00. М.:Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 256 с.

3.Цирель Я.А., Поляков В.С. Эксплуатация силовых трансформаторов на электростанциях и в электросетях .- Электроатомиздат, 1985.-264 с.

4. Ведяшкин М. В. Моделирование эксплуатационной надежности крановых асинхронных двигателей: Автореф. дис. канд. тех. наук.- Красноярск, 2012.- 19 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТОМСКОЙ ГРЭС-2 КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ

Карманова А.М.
Научные руководители: Николаева В. И., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Karmanovaam@sibmail.com

STUDY ASH AND SLAG WASTE TOMSK GRES - 2 AS A MATERIAL FOR RECYCLING

KarmanovaA.M.
Supervisors: Nikolaev VI Assistant
Tomsk Polytechnic University, 634050, Lenina Avenue, 30, Tomsk, Russia
E-mail: Karmanovaam@sibmail.com

Статья посвящена вопросам, связанным со снижением негативного воздействия золошлаковых отходов Томской ГРЭС- 2 на окружающую среду. Проблема утилизации отходов станции актуальна и занимает первоочередное место среди проблем города Томска. В статье приведены результаты гранулометрического и химического состава золошлаковых отходов. Рассмотрены возможные пути использования золы и шлаков.

ВВЕДЕНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ

При эксплуатации тепловых электростанций, муниципальных и производственных котельных, работающих на твердом топливе, от 10 до 15% перерабатываемого угля переходит в золошлаковые отходы (ЗШО), которые транспортируются и складируются в отвалах. Объем накопленных отходов теплоэнергетики в настоящее время в России достигает около 1.5 млрд. тонн, они занимают более 20000 га земли.

Так, на примере одного из главных источников тепла города Томска – ГРЭС-2, ежегодный выход золошлаковой смеси составляет от 40 до 90 тыс. т. Острота проблемы заключается еще и в том, что ГРЭС-2, построенная в свое время за городом, в настоящее время находится в его черте вместе со своим золоотвалом. Более того, открыт новый золоотвал так же в черте города, он расположен в его северо-восточной части и занимает площадь 70.9 га. На этих золоотвалах за 70 лет накопилось 1.2 млн. т отходов от сжигания угля. Территория отработанного золоотвала находится с наветренной стороны относительно города, здесь практически не проводятся работы по пылеподавлению, что приводит к ухудшению состояния окружающей природной среды и вредит здоровью жителей.

Кроме того, содержание золоотвалов требует больших эксплуатационных затрат, которые предприятие РТС, управляющее котельными в Томской области, может на вполне законной основе включать при формировании энерготарифов.

Несмотря на то, что в последние годы использование золошлаковых отходов в нашей стране набирает обороты и есть положительные примеры, в г. Томске эта проблема не решается, степень утилизации этого вида отходов крайне низка. На сегодняшний день РТС использует ЗШМ в набольших объемах для собственных нужд, на продажу небольшим частным фирмам уходит всего несколько процентов от общей массы отходов.

Между тем, золошлаковые отходы обладают рядом ценных свойств и при существующем дефиците природных ресурсов, использование эффективных методов и подходов к решению проблемы утилизации ЗШО будет усиливаться.

С целью оценки пригодности золошлаковых отходов Томской ГРЭС – 2, как техногенного сырья, проведено исследование химического, гранулометрического состава и редких металлов ЗШО золоотвала, и проб из-под котлов с твердым шлакоудалением. Томская ГРЭС – 2 работает на каменном

углe Кузнецкого бассейна. Результаты анализов приведены в таблице 1 и 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗШО

Первостепенное значение имеют химико-минералогический состав. В таблице 1 приведены результаты определений химического состава золы.

Таблица 1

Химический состав золошлаковых отходов

Наименование материала	Потери при прокаливании	SiO_2, %	Fe_2O_3, %	AL_2O_3, %	TiO_2 %	CaO %	MgO %	Na_2O %	K_2O %	$CaO_{своб.}$, %
ЗШМ из золоотвала (точка1)	13.85	58.82	5.51	20.89	0.80	6.69	2.22	1.90	2.70	1.11
ЗШМ из золоотвала (точка2)	13.45	58.02	5.27	21.01	0.82	6.68	2.26	2.21	2.91	0.98
ЗШМ из золоотвала (точка3)	12.82	59.19	5.84	20.47	0.91	6.65	2.25	1.82	2.11	0.28
ЗШМ из золоотвала (точка4)	12.39	57.45	5.86	21.64	0.82	6.64	2.46	2.33	2.52	0.21
ЗШМ из золоотвала (точка5)	11.88	58.87	4.77	20.82	1.0	6.93	2.27	2.51	2.20	0.44
Шлак, котел №6 (проба 1)	0.33	53.42	6.95	25.73	1.0	5.42	2.27	2.40	2.33	-
Шлак, котел №7 (проба 2)	0.31	53.01	6.87	26.66	1.0	5.25	2.19	2.20	1.90	-
Зола, котел №6 (проба 1)	0.39	48.76	6.39	24.56	1.1	8.23	3.38	2.9	2.5	2.03
Зола, котел №7 (проба 2)	0.37	49.8	6.15	24.31	1.0	8.06	3.41	2.7	3.0	2.02
Зола угля с шахты Колмогоровская	0.25	48.78	9.15	24.75	0.94	5.05	5.47	2.9	2.4	2.36

Химический анализ золы и шлака на редкие металлы проводился методом «Атомно-эмиссионной спектрометрии». Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав золошлаковых отходов на редкие металлы

№п/п	Название	Элемент	№ 1, мг/л	№ 2, мг/л	№ 3, мг/л
1	Церий	Ce	0,261	0,232	0,226
2	Диспрозий	Dy	<0,005	<0,005	<0,005
3	Эрбий	Er	0,018	0,015	0,016
4	Европий	Eu	<0,005	<0,005	<0,005
5	Гадолиний	Gd	–	–	–
6	Гольмий	Ho	–	–	–
7	Лантан	La	0,153	0,149	0,133
8	Лютеций	Lu	0,0032	0,0033	0,0036
9	Неодим	Nd	0,089	0,084	0,069
10	Празеодим	Pr	–	–	–
11	Скандий	Sc	0,037	0,035	0,035
12	Самарий	Sm	–	–	–
13	Тербий	Tb	0,0065	0,0063	0,0065
14	Тулий	Tm	–	–	–
15	Итрий	Y	0,099	0,092	0,083
16	Итербий	Yb	0,012	0,011	0,010

Содержание редких и редкоземельных металлов с резким преобладанием лантана позволяет считать эти золы рудным суперконцентратом.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ:

Анализ химического состава золошлаковой смеси из золоотвала ГРЭС-2, расположенного в долине реки Ушайки, показал, что преобладающими компонентами являются оксиды кремния и алюминия.

Исследуемые ЗШО являются низкокальциевыми (Ca – 5-8%), кислыми, поэтому могут служить лишь гидравлической добавкой при производстве бетона, а также их можно рекомендовать при строительстве дорог, рекультивации последствий недропользования, засыпки оврагов, карьеров и болот.

Зола, полученная при традиционных методах сжигания имеет высокую абразивность и химически инертна ко многим реагентам.

С целью расширения области применения ЗШМ можно рассмотреть способ по изменению

температурных условий при сжигании углей.

Так низкотемпературное сжигание кузнецких углей с минеральной частью, имеющей алюмосиликатный состав, оказывается благоприятным для использования ЗШО в промышленности для получения глинозема. Кроме того, полученная зола содержит гипс, что способствует повышению ее потребительских свойств при производстве строительных материалов, где эта зола может быть использована в качестве дешевого вяжущего. Известны и разработаны разнообразные способы утилизации ЗШО, полученные этим методом сжигания.

Можно констатировать, что применение технологии низкотемпературного сжигания позволит Томской ГРЭС – 2:

1. Значительно улучшить экологическую обстановку в районе ГРЭС-2 и за ее пределами;

2. Уменьшить или вообще ликвидировать накопленный объем ЗШО;

3. Улучшить экономические показатели электростанций;

4. Снизить потребление воды при транспортировке золы на промышленные предприятия пневмотранспортом;

5. Исключить сточные воды с золоотвала, содержащие вредные вещества;

6. Расширить сырьевую базу промышленности, снизить себестоимость изготовляемых изделий;

7. Возможность возвращения в земельный оборот около 100 га земель, занимаемых отвалами.

ЗШО являются перспективной сферой для инноваций и инвестиций, имеющих многоцелевую направленность, и их переработка по производству товаров народного потребления позволит создать в Томске новые рабочие места, обеспечить рациональное использование вторичных ресурсов, увеличить налоговые поступления в бюджет города и как следствие обеспечить рост экономического потенциала региона.

Томская область, располагая огромным научным и технологическим потенциалом, может и должна переработать техногенное сырье в виде ЗШО, накопленное за многие десятилетия ГРЭС – 2 в высокоэффективные продукты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Долгосрочный прогноз развития экономики России на 2007-2030 гг. Проблемы прогнозирования. 2007, №6 с.21-37

2. Лейнин Ю.А. Основы экологического нормирования. Учебное пособие - М.; РХТУ им. Менделеева, 2009.-396 с.

3. Калачев А.И. Рынок ЗШО России глазами трейдера. Консорциум «Феникс».

4. Накоряков В.Е., Бурдуков А.П., Саломатов В.В. Экологическая чистая тепловая электростанция на твердом топливе. – Новосибирск: изд-во Институт теплофизики СО АН СССР , -1990.-238 с.

5. Хлопицкий А.А. , МакарченкоН.П. Перспективы утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций //Universum: Технические науки: электронный журнал 2013. №1.

6. Саломатов В.В. Природоохранные технологии на тепловых и атомных электростанциях: монография / В. В. Соломатов. – Новосибирск: изд-во НГТУ, -2006.-853 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ТЕПЛОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ НУЖД ОТОПЛЕНИЯ И ГВС

Клушина Д.О.
Научный руководитель: Глухов С.В. , к.т.н. , доцент
Омский государственный университет путей сообщения, 644046 Омск, пр. Карла Маркса 35
Email: dasha-klushina@mail.ru

BUILDING ENERGY EFFICIENCY WHEN IMPLEMENTING THERMAL COLLECTORS FOR HEATING AND HOT WATER SUPPLY

Klushina D. O.
Scientific Supervisor: Gluhov S. V. , PhD
Omsk State Transport University, 644046 Omsk, 35 Marksa pr.
Email: dasha-klushina@mail.ru

Annotation: Today the sun is the most powerful and free source of energy. Advantageous to use a solar panel and a collector for generating electricity and water heating. This article describes an example of the calculation of solar collectors for the cottage, which is located in Omsk. On results a calculation introduction of collectors appeared expedient.

Ключевые слова: солнечный коллектор, энергосбережение

Keywords: sun collector, energy-savings

Аннотация: В настоящее время солнце является самым мощным и бесплатным источником энергии. Выгодно использовать солнечные панели и коллектора для выработки электричества и нагрева воды. В статье изложен пример расчета солнечных коллекторов для коттеджа, расположенного в г.Омске. По результатам расчета внедрение коллекторов оказалось целесообразным.

Использование солнечной энергии – наиболее прогрессивный и экологически безопасный способ получения тепловой энергии для систем отопления и горячего водоснабжения. В зависимости от климатических условий и широты местности, поток солнечного излучения на земную поверхность составляет от 100 до 250 Вт/м^2. В полуденные часы, если на небе нет облаков, наступает пик солнечной активности, составляющий около 1000 Вт/м^2. На территории средней полосы России солнце не частый гость, но тем не менее, солнечное излучение «доставляет» на поверхность земли энергию, эквивалентную примерно 100-150 кг у.т./м^2 в год.

В настоящий момент доля возобновляемых источников энергии в общем энергобалансе России не превышает 0,5%, но к 2020 г. планируется увеличить этот показатель до 4,5% (в Европе этот показатель планируют поднять до 20%).

Преимущества солнечных проектов теплоснабжения очевидны. Солнце - самый мощный и при этом бесплатный источник неисчерпаемой энергии, а постоянное увеличение стоимости органических энергоресурсов дает дополнительный импульс росту популярности таких проектов.

В данной статье предложено экономическое обоснования внедрения солнечных коллекторов для типового коттеджа (рис. 1) отапливаемой площадью порядка140 м^2 для климатических условий города Омска. Стены здания выполнены из кирпича и обшиты сайдингом.



Рис. 1. Общий вид выбранного коттеджа

По методике [1] был произведен расчет теплопотерь наружными ограждениями здания. В расчете учитывались температура внутреннего воздуха помещений, наименование наружного ограждения (пл - пол, нс - наружная стена, то- тройное остекление, пт - потолок, дн - дверь наружная),ориентация (север, юг, запад, восток), площадь помещений, расчетная температура наружного воздуха (для г.Омска$t_{н.о}$= -37°С), коэффициенты теплопередачи наружными ограждениями k, общее фактическое сопротивление передаче $R_o^ф$, потери на инфильтрацию$Q_{инф}$, бытовые тепловыделения$Q_{быт}$. Общие теплопотери $Q_{полн}$= 22,1 кВт.

Как показывает практика, при внедрении солнечных коллекторов актуальной является тепломодернизация зданий, т.е утепление наружных ограждений здания с целью уменьшения тепловых потерь. Для данного коттеджа в качестве теплоизолирующего материала был принят пеноплекс толщиной 0,2м, теплопроводность которого λ=0,032$\frac{Вт}{м\cdot℃}$. Согласно расчетам, благодаря теплоизоляции удалось уменьшить теплопотери наружными ограждениями здания на 7,24 кВт. Результаты расчета теплопотерь коттеджа приведены в табл.1.

Таблица 1

Расчет теплопотерь наружными ограждениями при утеплении изоляцией

Помещение	Вид ограждения	S , $м^2$	$t_{вн.возд}$, °С	$Q_{осн}$, кВт	$Q_{осн+β}$, кВт	$Q_{инф}$, кВт	$Q_{быт}$, кВт	$Q_{полн}$, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гостиная	Пл, 2нс, 2то	66,13	20	1,87	1,91	1,42	0,59	2,74
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кухня	Пл, 2нс, то, дн	47,27	19	1,15	1,21	0,74	0,31	1,63
Гостевая	Пл, 2нс, то	31,88	20	0,75	0,75	0,44	0,18	1,00
с/у	Пл, нс	11,65	22	0,23	0,23	0,20	0,082	0,35
Котельная	Пл, 2нс, то	23,44	16	0,54	0,56	0,23	0,10	0,69
Тамбур	Пл, дн	4,34	18	0,22	0,22	0,11	0,05	0,28
Спальня 1	2нс, то, пт	43,47	20	1,04	1,04	0,72	0,30	1,46
Спальня 2	2нс, то, пт	49,88	20	1,23	1,24	0,90	0,37	1,77

Помещение	Вид ограждения	S , $м^2$	$t_{вн.возд}$, °С	$Q_{осн}$, кВт	$Q_{осн+β}$, кВт	$Q_{инф}$, кВт	$Q_{быт}$, кВт	$Q_{полн}$, кВт
Спальня 3	2нс, то, пт	52,76	20	1,32	1,36	0,98	0,41	1,93
ванная	2нс, то, пт	37,44	22	0,93	0,96	0,60	0,24	1,33
холл	Пт	5,57	19	0,25	0,25	0,27	0,11	0,41
Лестничная клетка	Пл, пт, нс, то	31,7	18	1,00	1,00	0,42	0,18	1,24

Таким образом, суммарные теплопотери составят $Q_{полн}$ = 14,86 кВт. Исходя из результатов расчета, находим отопительную нагрузку. Продолжительность отопительного периода в г.Омске 221 сутки, т.е. летом нагрузка на отопление отсутствует. Месячная отопительная нагрузка зависит от количества дней отопительного периода, среднемесячной температуры наружного воздуха.

Условно принимаем, что в коттедже проживают 3 человека. Средненедельный расход воды за сутки на 1 человека 105л/(сут·чел) [2], следовательно, в сутки необходимо 315 л горячей воды. Нагрузка на ГВС постоянна в течении года. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2

Количество тепла, необходимое для нужд отопления и ГВС

Месяц	Кол-во дней	Отопит. период, дн.	$t_{ср.возд}$, °С	$Q_{отопл}$, Гкал/мес	$Q_{ГВС}$, Гкал/мес	ΣQ, Гкал/мес
январь	31	31	-19	6,498	0,537	7,035
февраль	28	28	-17,6	5,659	0,485	6,144
март	31	31	-10,1	5,015	0,537	5,552
апрель	30	30	2,8	2,773	0,519	3,293
май	31	5	11,4	0,231	0,537	0,768
июнь	30	0	17,1	0	0,425	0,425
июль	31	0	18,9	0	0,439	0,439
август	31	0	15,8	0	0,439	0,439
сентябрь	30	4	10,6	0,202	0,519	0,722
октябрь	31	31	1,9	3,016	0,537	3,553
ноябрь	30	30	-8,5	4,595	0,519	5,115
декабрь	31	31	-16	5,998	0,537	6,535
Σ	365	221		33,99	6,034	40,024

Средняя продолжительность солнечного сияния в г. Омске 2223 ч/год[3]. Среднемесячная интенсивность солнечного излучения $I_{средн}$ представлена в табл. 3. Для расчета выбираем плоский солнечный коллектор марки ЯSOLAR, площадь которого 2$м^2$, η=0,80. В таблице: $Q_{потр}$- потребление тепловой энергии в день одним коллектором, Гкал;$V_{воды}$ до 60 °С - объем нагреваемой воды в день одним коллектором, л; n - количество коллекторов, требуемое для покрытия требуемого количества теплоты в месяц, шт.; $Q_{треб}$ - требуемое количество теплоты на нужды ГВС и отопления, Гкал; $З_{кол}$ - затраты на тепло при внедрении коллекторов и догрева от существующих источников, руб; $З_{сущ.ист}$- затраты на

ГВС и отопление от существующего источника, руб; $V_{потр}$ - объем горячей воды, потребляемой в месяц, $м^3$. Принимаем, что себестоимость тепловой энергии от существующей котельной 1800 руб/Гкал. В затратах на внедрение учитываем стоимость коллекторов, бака-аккумулятора, насосной станции, расширительного бака, изоляционного материала, монтажных работ.

Результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расчет целесообразности введения солнечных коллекторов

месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$I_{средн}$, $\frac{кВт \cdot ч}{м^2 \cdot день}$	0,76	1,57	3,14	4,5	5,76	6,28	5,81	4,62	3,21	1,89	1,01	0,63
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$Q_{потр}$, Гкал	0,001	0,002	0,004	0,005	0,007	0,008	0,007	0,006	0,004	0,002	0,001	0,001
$V_{воды}$ до 60 °С, л	16,6	34,4	68,7	98,5	126,1	137,5	127,2	101,1	70,3	41,4	22,1	13,8
n, шт	19	10	5	4	3	3	3	3	5	8	15	23
$Q_{треб}$, Гкал	7,05	6,14	5,55	3,29	0,76	0,42	0,43	0,44	0,72	3,55	5,11	6,53
$V_{потр}$, $м^3$	9,76	8,82	9,76	9,45	9,76	9,45	9,76	9,76	9,45	9,76	9,45	9,76
$З_{сущ.ист}$, тыс.руб	12,7	11,1	10	5,9	3,4	1,9	2	2	1,3	6,4	9,2	11,7
$З_{кол}$, тыс.руб	12,5	10,8	9,4	5,05	0,5	-1,1	-0,9	-0,3	0,7	6,0	9,0	11,6

Оптимальное число устанавливаемых коллекторов – 3шт. Летом они полностью покрывают тепловую нагрузку ГВС, в остальные дни при недостатке солнечного излучения (особенно зимой) можно использовать догрев до требуемой температуры горячей воды с помощью электрического водонагревателя или от централизованной системы отопления.

В результате внедрения солнечных коллекторов в систему отопления и ГВС ежегодно можно экономить 12930 руб. Общие затраты приустановки солнечных коллекторов 89500 руб. Срок окупаемости получился 6 лет 11 месяцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1.Еремкин, А.И. Отопление и вентиляция жилого здания: Учебное пособие [Текст] / А.И.Еремкин, Т.И. Королёва, Н.А. Орлова- М.: ИздательствоАСВ, 2003. - 129 с.

2. Строительные нормы и правила. СНиП 2.04.01-85*. Внутренний водопровод и канализация зданий/Госстрой России. М., 1998. 60с.

3. Стребков Д. С. Энергосбережение и возобновляемые источники энергии/Вестник сельскохозяйственной науки. Д.С. Стребков, В.П. Муругов - М.: Агропромиздат. - 1991, N 2, (413).- С.117-125.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ В СОСТАВЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УГЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШИВЭ-ОВОО

Коврижкина К. А.
Научный руководитель: Долгих А.Ю. ст. преподаватель
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E–mail: kovrizhkina7@mail.ru

TRACE ELEMENTS AND RARE METALS IN THE COMPOSITION OF MINERAL OF COAL MINE SHIWEI-OVOO

K.A.Kovrizhkina
Supervisors: A. Yu. Dolgih senior lecturer
National research Tomsk Polytechnic University,
Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050
E-mail: kovrizhkina7@mail.ru.

Россия обладает огромными угольными ресурсами. По разным оценкам сосредоточенно от 3,5 до 70 трлн.т. угля. Прогнозируется в ближайшем будущем рост угледобычи. Ежегодно российская энергетика производит не только электроэнергию и тепло, но и около 27 млн тонн золошлаковых отходов. Лишь малая ее часть затем перерабатывается во что-нибудь полезное в других отраслях — менее 15 процентов. Основная же масса годами хранится в золоотвалах, занимая ценные земли и ухудшая экологию. Сегодня объем отходов теплоэнергетики в России достигает порядка 1,5 млрд тонн, а площадь золоотвалов превысила 20 тыс. гектаров. Данная ситуация обуславливает необходимость создания высокоэффективных технологий утилизации минеральной части твердых топлив, сжигаемых на ТЭС в виде золошлаковых материалов (ЗШМ) [1]. Особенно это проблема актуальна при рассмотрении возможности использования новых угольных месторождений, таких как Шивэ-Овоо [2].

Отрицательными факторами влияния золошлакоотвалов на окружающую среду являются:

– "кислотные дожди";

– пыление, особенно в ветреную погоду;

– выделение в атмосферу токсичных и радиоактивных химических элементов и их соединений;

– растворение и вымывание технической и дождевой водой вредных соединений и тяжелых металлов из ЗШМ, что приводит к химическому загрязнению водной среды, ухудшает состав грунта и подземных вод;

– повышенный тепловой фон вблизи полигонов ЗШМ, что связано со значительной долей недожега углерода (до 20%, проектная величина недожега – 5%) и последующим окислением углерода при соприкосновении ЗШМ с атмосферным воздухом [2].

В то же время золы и шлаки — ценное сырье, которое можно эффективно использовать в самых разных сферах. Золошлаки вполне применимы в производстве стройматериалов и удобрений для сельского хозяйства, дорожном строительстве, рекультивации последствий недропользования, исправлении неудобий (засыпка оврагов, карьеров и болот). Кроме всего прочего, в золошлаках содержатся ценные редкоземельные элементы, а также оксиды кремния, алюминия и железа, и все это можно выделять[1].

Цель настоящей работы является рассмотрение, в дальнейшем сравнение, анализ минимально значимую промышленную концентрацию элементов, в том числе редкоземельных и благородных металлов. Объект анализа является проба бурого угля Шивэ-Овооского месторождения Монголии.

В научно-аналитическом центре Томского политехнического университета, с использованием

атомно-эмиссионного спектрометра с ИСП были проведены исследования, 5 проб минеральной части угля месторождения Шивэ-Овоо, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание компонентов минеральной части .

№	Элемент	ШОМ №1 мг/кг	ШОМ№2 мг/кг	ШОМ №3 мг/кг	ШОМ №4 мг/кг	ШОМ№5 мг/кг
1	Al(алюминий)	17330	18520	15850	19520	13100
2	Fe (железо)	50570	44150	15400	37310	14850
3	Li (литий)	13,17	10,69	30,18	13,19	14,68
4	Mn (марганец)	5056	5143	4713	5542	6270
5	Mo (молибден)	33,2	27,7	36,45	36,86	22,79
6	Pb (свинец)	28,37	22,17	31,39	31,4	30,38
7	Sr (стронций)	1190	1240	1230	1205	1470
8	Ti (титан)	3108	3167	4066	3130	3901
9	V (ванадий)	73,89	68,01	86,51	74,38	81,36
10	Zn (цинк)	84,02	23,22	108,0	118,3	33,73

В таблице приводится сравнительный анализ усредненных показателей исследуемых проб золы со справочными данными [3], нормирующих минимальную значимую промышленную концентрацию (МЗПК).

Таблица 2. Сравнение химических элементов в данном угле со справочными значениями.

№	Элемент	ШОМ мг/кг	МЗПК мг/кг
1	Al(алюминий)	16,86	*
2	Fe (железо)	32,45	200
3	Li (литий)	0,016	175
4	Mn (марганец)	5,34	10000
5	Mo (молибден)	0,031	30
6	Pb (свинец)	0,028	1200
7	Sr (стронций)	1,27	2000
8	Ti (титан)	3,47	7500
9	V (ванадий)	0,08	150
10	Zn (цинк)	0,07	2000

*****чистого алюминия в природе нет, его добывают из природных соединений – биокситов (биокит, нефелит, алунит и др.)[4].

Проведенный анализ содержания ценных химических элементов в ЗШМ бурых углей Шиве-Овооского месторождения Монголии показал, что их значения ниже минимальной значимой промышленной концентрации [3,4]. Отсюда следует, что прямое использование ЗШМ в качестве исходного сырья для извлечения редких и ценных элементов углей Шивэ-Овооского месторождения Монголии не перспективно. В качестве альтернативы предлагается увеличение концентрации рассматриваемых элементов путем использования методик обогащения, применяемых в горнодобывающей промышленности для получения концентратов различных руд [5]:

1. Гравитационное обогащение.

Гравитационное обогащение — разделение золы от примесей по плотности в поле силы тяжести или центробежных сил с целью получения концентрата. При гравитационном обогащении используется сила земного притяжения (откуда и название метода); иногда дополнительно привлекают поля

центробежных сил или электромагнитные — при магнитогидростатической и магнитогидродинамической сепарации. Основные факторы разделения при гравитационном обогащении — динамические и статические воздействия сред (воздуха, воды, суспензий). Гравитационное обогащение рассматривается как процесс установления равновесия и достижения минимума потенциальной энергии системой частиц, находящихся в поле сил тяжести в состоянии неустойчивого равновесия. Скорость гравитационного разделения оценивается по понижению центра тяжести взвеси, а его эффективность — по убыли потенциальной энергии смеси.

2. Сорбирование.

Сорбция — поглощение твёрдым телом либо жидкостью различных веществ из окружающей среды. Поглощаемое вещество, находящееся в среде, называют сорбатом (сорбтивом), поглощающее твёрдое тело или жидкость — сорбентом. По характеру поглощения сорбата сорбционные явления делятся на два типа: адсорбцию — концентрирование сорбата на поверхности раздела фаз или его поглощение поверхностным слоем сорбента и абсорбцию — объёмное поглощение, при котором сорбат распределяется по всему объёму сорбента. При сорбирование шлака, происходит захват сорбентом той части, которая не имеет никакой ценности для дальнейшего рассмотрения. Компоненты, которые в дальнейшем пойдут на переработку, оседают и в дальнейшем извлекаются.

В дальнейшем предлагается подробное изучение возможных вариантов для получения из золы угля Шиве-Овооского месторождения концентратов ценных и редких химических элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Промстроймат [Электронный ресурс] – Режим доступа http://prostroymat.ru/content/kuda-devat-zolu-problema-pererabotki-zolo-shlakovyh-othodov

2. Заворин А. С., Долгих А.Ю., Саломатов В.В., Батмунх С., Энхжаргал Х Теплотехнические характеристики углей месторождения Шивэ-Овоо Монголии как энергетического топлива // Известия Томского политехнического университета / Томский политехнический университет (ТПУ). – 2014. – Т. 324, № 4 : Техника и технологии в энергетике. – С. 47-53.

3. Металлоносность углей приамурья/ В.В. Крапивенцева. – Институт технологии и геофизики им. Ю.А. Косыгина, 2005 г.

4. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справ. М.:Недр,1996 г.–238 с.

5. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: – УрО РАН, 2006. 538 с.

6. Юдович Я.Э. Грамм дороже тонны. Редкие элементы в углях. – М.: Наука, 1989. 160с.

РАЗРАБОТКА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ТИПА ТОМСКОЙ ТЭЦ-3 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Коврижкина К. А.
Научный руководитель: Долгих А.Ю. ст. преподаватель
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E–mail: kovrizhkina7@mail.ru

DEVELOPMENT OF THE BOILER UNIT, USING MODERN MATHEMATICAL MODELING FOR TYPICAL POWER STATIONS ON AN EXAMPLE OF TOMSK TPS-3.

Kovrizhkina K.A.
Supervisors: A. Yu. Dolgih senior lecturer
National research Tomsk Polytechnic University,
Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050
E-mail: kovrizhkina7@mail.ru.

В данный момент, энергетика РФ считается приоритетным направлением развития по значимости. Так как с каждым годом потребление электроэнергии возрастает, что приводит к необходимости модернизировать (реконструировать) существующие тепловые электрические станции (ТЭС). В связи с тем, что котлы спроектированные и построенные в XX веке в настоящее время изживают свой ресурс, актуальной задачей становится конструирование и ввод в эксплуатацию новых, современных, эффективных, тщательно проработанных котлоагрегатов. Современный уровень развития методов проектирования позволяет производить предэксплутационные исследование при помощи современных программных продуктов. Использование современных инженерных расчетных программ способствует избавлению от трудных и дорогостоящих экспериментов, а также дает возможность безопасно и достаточно быстро изучить свойства и поведение исследуемой конструкции. Позволяет выделить для исследования наиболее важные свойства объекта.

Целью настоящей работы является конструирование парового котла Е-320-13,3-555Г для установки на ТЭС типа Томской ТЭЦ-3.

На начальном этапе были произведены тепловые, гидродинамические, а также аэродинамические расчеты. Топочная камера и поверхности нагрева котельной установки были рассчитаны согласно нормативному методу[1].

Таблица 1

Параметры спроектированной котельной установки

№	Параметр	Обозначение	Значение
1.	Паропроизводительность	т/ч	320
2.	Давление перегретого пара	МПа	13,3
3.	Температура перегретого пара	˚С	555
4.	КПД-брутто котла	%	95
5.	Расход топлива	$м^2/с$	6,26

Спроектированный барабанный котел классической П-образной компоновки паропроизводительностью 320 т/ч может применяться для сжигания природного газа на ТЭЦ типа Томской ТЭЦ-3. Имеет следующие основные конструктивные и технологические характеристики: одноступенчатую компоновку хвостовых поверхностей нагрева; 12 унифицированных газомазутных горелок мощностью 50 МВт расположенных встречно на фронтальной и тыльной стенах в 3 яруса (рис. 1). Численные значения основных параметров спроектированной котельной установки приведены в

табл. 1.

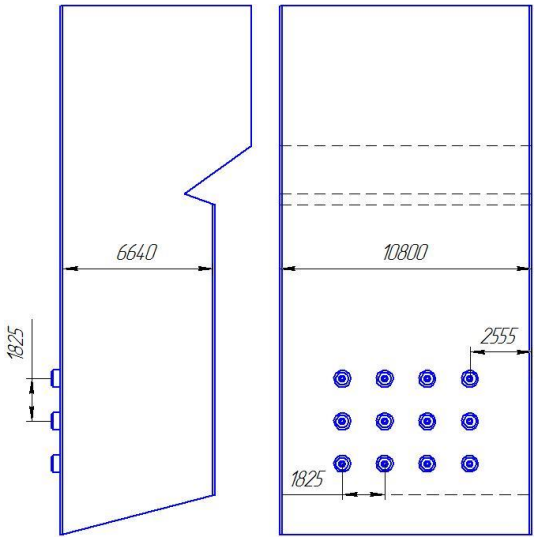


Рис. 1. Эскиз топки проектируемого котла

Принята аэродинамическая схема с уравновешенной тягой. Произведен выбор золоуловителей и дымососов: выбрано два батарейных циклона БЦ-4Х10Х10 и два дымососа двустороннего всасывания типоразмера Д-18х2 с частотой вращения 590 об/мин [2,3].

В настоящее время для исследования и анализа газодинамики и теплофизических процессов в котлах эффективным инструментом является численное моделирование с использованием как разработанных за рубежом (ANSYSCFD (Fluent&CFX), STAR-CD, FLOW3D, Open-FOAM и др.), так и отечественных (FlowVision, VP2/3, SigmaFlow, FIRE 3D и т.п.) как оригинальных, так и широко апробированных пакетов прикладных программ. Изобилие физических моделей в выше перечисленных пакетах позволяет с хорошей сходимостью прогнозировать ламинарные и турбулентные течения, различные режимы теплопереноса, химические реакции, многофазные потоки и другие явления на основе гибкого построения сеток и их адаптации к полученному решению[4].

Математическое моделирование топочных устройств является одним из важнейших способов получения информации об аэродинамике, локальном и суммарном теплообмене. С помощью компьютерных экспериментов, используя современные методы вычислений, можно более детально и углубленно изучить объект исследования, что недостижимо при только теоретическом подходе и является приоритетом эксперимента [4]. В программе FLUENT было произведено моделирование теплофизических процессов, протекающих в топочной камере спроектированной котельной установки.

Одним из основных назначений численного моделирования процессов горения является анализ значений температуры и её распределения в объёме исследуемой камеры горения. На основе полученной модели факел имеет одну высокотемпературную зону, расположенную в районе горелочных устройств (рис. 2). Температура в пристеночной области распределена достаточно равномерно, что обеспечивает равномерный прогрев теплоносителя и не допускает перегрева и пережога материала стен.

Ещё одним важным параметром, характеризующим протекание процесса горения, является скорость движения газов в топочном объёме (рис. 3). Как видно из данного графика, распределение скоростей в топочном объёме достаточно неравномерное, что объясняется интенсивным вихревым перемешиванием потоков, выходящих из горелок.

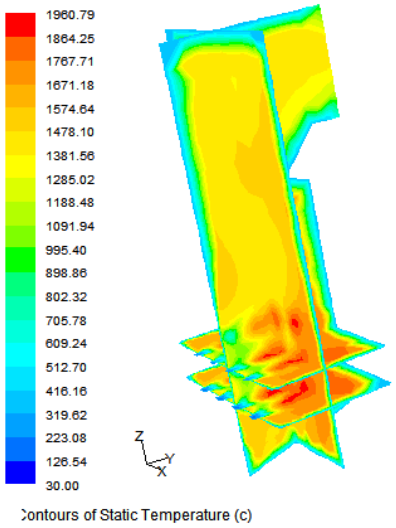


Рис. 2. Распределение температур по топочному обьему

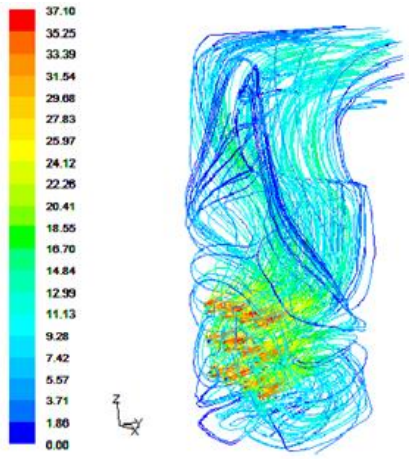


Рис. 3. Линии тока с цветовой индексацией по скоростям течения топочной среды

С использованием новейших технический прикладных программ возможно не только моделировать реальные процессы, но и прогнозировать их изменения. Тем самым оптимизируя конструкции как всего котельного агрегата в целом, так и отдельных его элементов. Это большой плюс в том, что не нужно задействовать большие денежные вложения, а с использованием данной методики заблаговременно прогнозировать работу котельного агрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод) - Издательство Спб -НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Аэродинамический расчет котельных установок. Нормативный метод. – М.: Энергия, 1977. – 256 с.
3. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Л.А. Рихтер, Д.П. Елизаров, В.М. Лавыгин – М. Энергоатомиздат, 1987. –216 с., ил.
4. ANSYS FLUENT 6.3 in Workbench User’s guide// АНСИС. – URL: http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/121/fluent/flwb.pdf (датаобращения 24.09.14)

ПРОЕКТ ПАРОВОГО КОТЛА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ЗАМЕНЫ УСТАРЕВШЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ.

Корзилова И.Е., Визгавлюст Н.В.,
Научный руководитель: Визгавлюст Н.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: korzik1@sibmail.com

STEAM BOILER ENGINEERING DESIGN FOR RENOVATION OF OBSOLETE POWER PLANT EQUIPMENT

Korzilova I.E., Vizgavlyust N.V.
Scientific Supervisor: Vizgavlyust N.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: korzik1@sibmail.com

В настоящее время российская электроэнергетика испытывает моральный и технологический кризис. По оценкам экспертов от 50 до 80 % котельных агрегатов занятых сегодня в производстве энергетических мощностей выработали или в ближайшее время выработают свой ресурс [1], а из этого следует неизбежный дефицит электроэнергии. На замену уже существующим энергетическим установкам необходимо проектировать новое оборудование с использованием современных технологий конструирования и с учетом опыта эксплуатации аналоговых энергетических систем.

Современные компьютерные технологии делают возможным еще на этапе разработки проекта смоделировать процесс работы котельного агрегата. Вычислительный эксперимент позволяет изучить процессы тепломассообмена, горения и аэродинамики, а оценка его результатов позволяет выявить недостатки разработанной конструкции, спрогнозировать работу котельного агрегата при различных нагрузках, проверить возможность перевода котла на другое, непроектное, топливо.

Объектом исследования является котельный агрегат П-образной компоновки с естественной циркуляцией для сжигания природного газа паропроизводительностью 370 т/ч с параметрами перегретого пара: давлением Р=12,5 МПа и температурой $t_{п.п.}$=555 ^{O}С (Е-370-12,5-555Г).

Конструирование основных элементов парового котла выполнялось согласно рекомендациям нормативного метода, разработанного АООТ НПО ЦКТИ и ВТИ [2], с учетом опыта конструирования аналогичных котлоагрегатов. Последовательность расчета, произведена согласно [3].

Для выявления недостатков разработанной конструкции и прогнозирования работы котельного агрегата при различных нагрузках было произведено математическое моделирование теплофизических процессов в топочной камере котла Е-370-12,5-555Г с применением пакета прикладных программ FLUENT[4]. Методика моделирования и используемые математические модели приведены в [5,6]

В результате проделанной работы был спроектирован котел Е-370-12,5-555Г мощностью 260 МВт с расчетным расходом топлива 6,4 м^3/с и КПД-брутто 94,6%. Согласно принятой конструкции в топочной камере котла отсутствует холодная воронка (рис. 1). На фронтальной стене топки расположены девять комбинированных газомазутных горелок в три яруса.

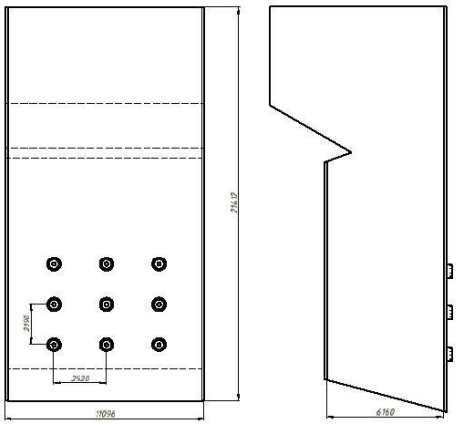


Рис. 1 Эскиз топки котла Е-370-12,5-555Г

Спроектированный пароперегреватель котла - радиационно-конвективного типа, имеет четыре ступени перегрева и выполнен по смешанной схеме. В конвективной шахте расположены одноступенчатый водяной экономайзер и рекуперативный воздухоподогреватель.

Одной из важнейших тепловых характеристик котельного агрегата является температуры рабочей и греющей сред. Количественная оценка данного показателя позволит установить тепловосприятие каждой поверхности нагрева, оценить надежность работы котла (рис. 2).

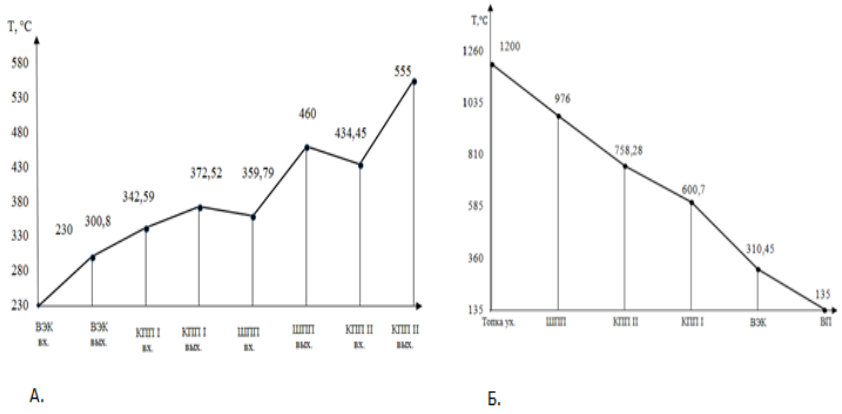


Рис.2 Изменение температуры: А. рабочего тела, Б. Дымовых газов.

Для выявления недостатков разработанной конструкции проведен численный эксперимент с помощью программы ANSYS FLUENT.

. Для исключения возможного перегрева металла стенок экранных труб была проанализирована дальнобойность горелочных устройств. По результатам анализа горелки были спроектированы так, чтобы ядро горения располагалось в центре топочной камеры (рис. 3), исключая наброс факела на экранные панели, тем самым предотвращая пережог труб, и, обеспечивая устойчивость горения.

Для обеспечения экологической безопасности района, в котором будет смонтирован данный котел, требуется расчет вредных выбросов. Как известно, при сжигании природного газа наблюдается высокая температура (рис. 3) в ядре горения [7]. В связи, с чем возникает проблема с увеличением выбросов NOx.

По результатам численного моделирования можно заключить, что выбранное многоярусное расположение горелок позволяет снизить эмиссию оксидов азота (рис. 4) и на выходе из топки количество NOx не превышает допустимое значение 100 мг/м^3 [8].

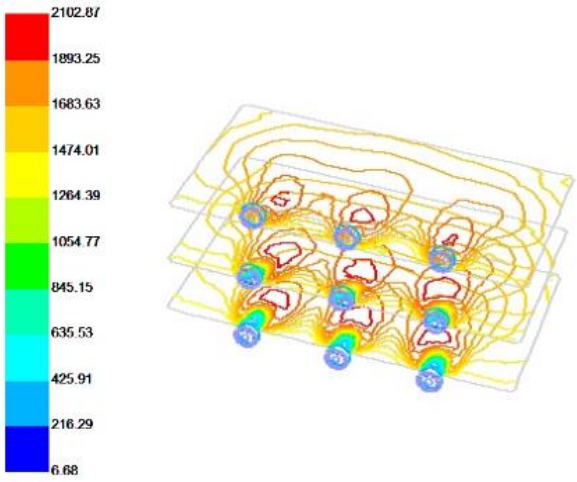


Рис.3 – Изолинии температуры в поперечном сечении топочной камеры на уровнях расположения горелок (К)

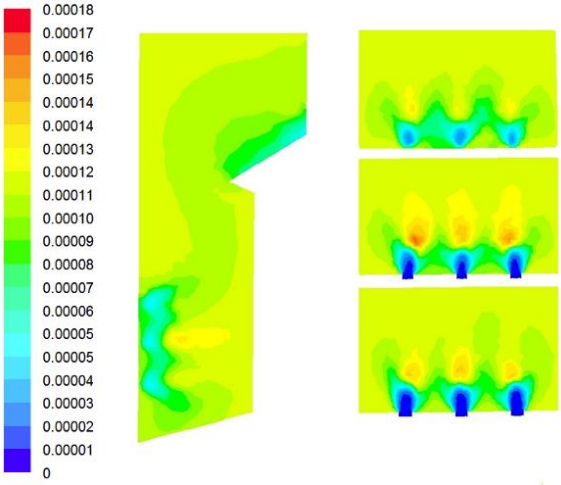


Рис.4 Многоконтурный график суммарной массовой доли оксидов азота, %.

По результатам проделанной работы можно сделать вывод, что в спроектированном котле учтены рекомендации, указанные в нормативном методе [3], учтен опыт эксплуатации аналогичных котлов. Результаты, полученные при проведении вычислительного эксперимента, говорят о том, что котельный агрегат спроектирован с учетом современных норм и правил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Российская энергетика: проблемы и перспективы – Заглавие с титульного экрана. – Открытый доступ. – Схема доступа: http://newsland.com/news/detail/id/948379/ Дата обращения: 18.03.2015г.

2. Фурсов И.Д., Коновалов В.В. Конструирование и тепловой расчет паровых котлов: Учеб. пособие для студентов вузов. Издание второе, переработанное и дополненное / Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд–во АлтГТУ, 2001. –266с., ил.

3. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). Издание 3–е, переработанное и дополненное. Издательство НПО ЦКТИ, СПб, 1998.–256с.: ил.

4. ANSYS FLUENT – Заглавие с титульного экрана. – Открытый доступ. – Схема доступа: www.cae-expert.ru/product/ansys-fluent. Дата обращения: 22.03.2015 г

5. Тайлашева Т.С. Моделирование топочной среды в котле типа ДКВР при сжигании природного газа // Известия Томского политехнического университета. – 2009 . –Т.314. – №4. – С. 42 –47.

6. Хаустов С. А., Заворин А. С. Численное моделирование аэродинамики жаротрубной топки с реверсивным факелом // Известия Томского политехнического университета. – 2013 . –Т.323. – №4. – С. 5 –9.

7. Хзмалян Д.М. Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства: Учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. М., Энергия, 1976–487с., ил.

8. ГОСТ Р 50831-95 «Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования».

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ ГОРЕНИЯ

Кудряшова Л.Д., Соболева А.В., Хаустов С.А.
Научный руководитель: Буваков К.В., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: khaustovsa@tpu.ru

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS OF CYLINDRICAL COMBUSTION CHAMBER

Kudryashova L.D., Soboleva A.V., Khaustov S.A.
Scientific Supervisor: PhD in technical science, docent Buvakov K.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: khaustovsa@tpu.ru

Основной задачей разработки рациональных топочных камер для котлов является организация смешения горючего с окислителем и обеспечение полного сгорания топлива в пределах топочной камеры котла. При этом отдельное внимание следует уделять аэродинамическим процессам перемешивания непосредственно в топочном объеме, т. к. при оптимальной организации топочной аэродинамики обеспечивается устойчивость горения, поддерживаются требуемые скорости и температуры среды, снижается уровень выбросов токсичных веществ. Поэтому одной из главных задач при проектировании жаротрубных котлов является улучшение аэродинамических характеристик. Особенно это актуально для тупиковых топок, где аэродинамика факела с реверсивным течением структурно значительно сложнее проточной организации, т. к. представляет собой встречное движение горелочной струи и пристеночного течения дымовых газов [1, 2].

Авторы [1, 2] на основе численного эксперимента приходят к выводу, что в жаровых трубах котлов за горелкой возникают зоны разряжения, что приводит к интенсивному вихреобразованию в виде циркулирующего у сопла горелки течения горячих продуктов сгорания. Другими словами, в фронтальной части камеры горения на границах факела можно выделить турбулентную зону интенсивных обратных токов. Пространственно эта зона имеет геометрическую форму тора и по сути является единым вихрем, вращение которого происходит вокруг центральной оси топки.

Тороидальный вихрь – явление, при котором циркуляционное движение жидкости или газа принимает форму тороида. Тороидальные вихри были впервые математически проанализированы немецким физиком Германом фон Гельмгольцем [3]. В жаровых трубах котлов вихревые кольца возникают в результате внедрения быстро движущейся горелочной струи в почти неподвижную массу продуктов сгорания. Вязкое трение между двумя средами замедляет границы потока топливовоздушной смеси относительно его ядра. Высокая скорость движения ядра потока, в свою очередь, приводит к низкому статическому давлению у фронта котла, благодаря чему продукты сгорания огибают горелочную струю и собираются у устья горелки, откуда увлекаются за потоком в зону пониженного статического давления. В конечном итоге образуется тороидальный вихревой поток. Натурные многофакторные исследования описанной вихревой аэродинамики, связанные с экспериментальным изучением трехмерного турбулентного факела являются трудозатратными. Поэтому для решения комплексных задач проектирования топок на основе оптимизации их аэродинамики признанным инструментом является математическое моделирование с использованием как оригинальных, так и широко апробированных пакетов прикладных программ [1]. К примеру, численное исследование сжигания в турбулентном вихревом потоке проведено в работах [2, 4–6].

Цель данной работы – моделирование турбулентного горения природного газа в жаровых трубах котлов различной конфигурации. Предметом исследования является аэродинамическая структура в жаровой трубе и комплекс ее количественных параметров, среди которых пространственные температурные поля и скорости течения среды.

Расчеты выполнялись методом конечных элементов с использованием пакета прикладных программ ANSYS FLUENT на основе законов сохранения и неразрывности потока. Моделирование характеристик турбулентности произведено с применением k-ε модели в её стандартной реализации. Для симуляции окисления горючего в турбулентной реагирующей среде использовалась комбинация моделей Сполдинга (Eddy-Break-Up) и Аррениуса. Расчёт теплообмена излучением выполнялся на основе метода сферических гармоник в первом приближении (т.н. $P1$-модель), который имеет приемлемую точность при моделировании излучения в задачах моделирования камер горения энергоустановок [6, 7].

Использование вихревых горелочных устройств интенсифицирует горение и позволяет вести процесс при меньших избытках воздуха, однако увеличивает аэродинамическое сопротивление топки в сравнении с прямоточной организацией топливоподачи. Количественно интенсивность завихрения потока оценивается параметром крутки n, который определяется по полям скоростей и давлений топочной среды.

При вихревой подаче топливовоздушной смеси ядро горения смещается в фронтальную часть жаровой трубы (рис. 1). При этом газы в зоне рециркуляции не вовлекаются в стационарно-замкнутое циркуляционное движение, а движутся внутри вихря по конечным спиральным траекториям вплоть до выхода из топочной камеры. Это позволяет интенсифицировать воспламенение и уменьшить длину факела, но влечет за собой увеличение локальных тепловых потоков, что является фактором роста генерации оксидов азота.

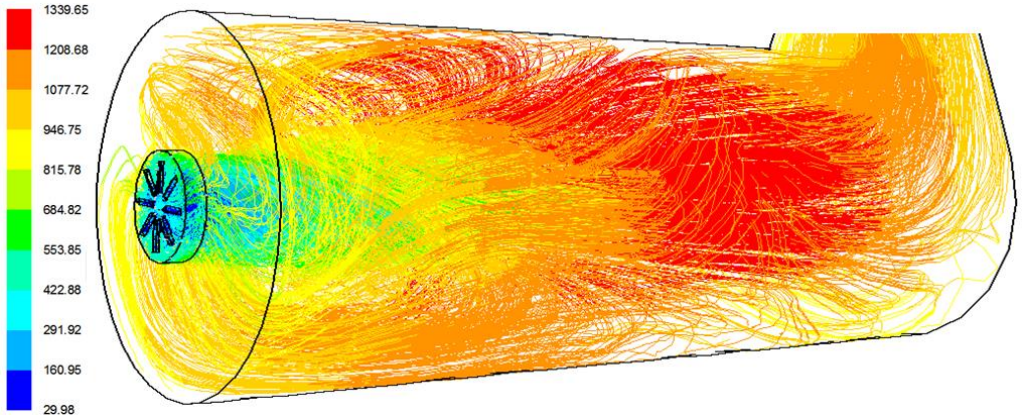


Рис. 1. Линии тока в проточной жаровой трубе с вихревым горелочным устройство с цветовой индексацией по температуре топочной среды

По результатам компьютерной симуляции с увеличением параметра крутки максимальная температура в ядре факела возрастает, а его положение смещается к фронту котла. С одной стороны, увеличение температуры горения интенсифицирует теплообмен излучением, с другой стороны, рост тепловосприятие при закрученном потоке характерен только для жаровых труб проточной конструкции. В жаровых трубах тупиковой конструкции, в свою очередь, смещение факела к фронту котла влечет за собой увеличение температуры уходящих из топки дымовых газов. В работах [4, 5] показано, что вариант жаровой трубы без закрутки потока характеризуется наименьшей температурой продуктов

сгорания на выходе из топки, и, следовательно, обладает наибольшим тепловосприятием.

Кроме того в ходе серии численных расчетов установлено, что высокие значения параметра крутки в реверсивном факеле сопровождаются отрывом потока от центральной оси горелки и появлением обширной зоны обратных токов, что приводит к преждевременному развороту факела с последующим его набросом на стены жаровой трубы (рис. 2). При этом вследствие прерывания реакции горения на стенках имеет место недожог горючих газов, унос их в конвективную часть котла и в атмосферу. Это приводит к снижению эффективности, надежности и экологичности работы котла.

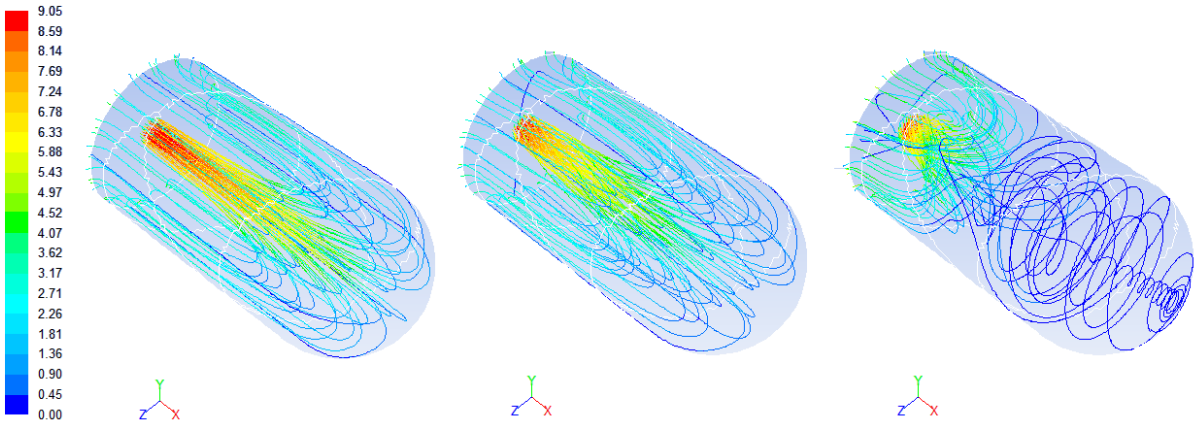


Рис. 2. Линии тока в тупиковой жаровой трубе с цветовой индексацией по скорости течения топочной среды (слева на право приводятся варианты с прямоточной, слабо закрученной и сильно закрученной подачей топливовоздушной смеси)

Работа выполнена в рамках НИР (тема 13.948.2014/К).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хаустов С.А., Заворин А.С. Современные тенденции проектирования жаротрубных котлов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/988. – 15.05.15.

2. Хаустов С.А., Заворин А.С. Дальнобойность факела в жаровых трубах котлов // Промышленная энергетика. – 2014. – № 10. – С. 16–20.

3. Moffatt K. Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen // IUTAM Symposium on Hamiltonian Dynamics, Vortex Structures, Turbulence (IUTAM Bookseries Vortex Dynamics). – 2008. – № 6. – P. 1–10.

4. Хаустов С.А., Заворин А.С. Аэродинамическая структура топочной среды в жаровых трубах с реверсивным факелом // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014.– Т. 92. –№ 6. – С. 63–67.

5. Хаустов С.А., Заворин А.С. Численное исследование аэродинамики жаротрубной топки с реверсивным факелом // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 4. – С. 5–8.

6. Хаустов С.А., Заворин А.С. Численное исследование аэродинамики топочной среды в жаротрубном котле типа «Турботерм» // Промышленная энергетика. – 2014 – № 1. – С. 11–14.

7. Тайлашева Т.С. Моделирование топочной среды в котле типа ДКВР при сжигании природного газа // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – № 4. – С. 42–47.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ЗАЖИГАНИЯ СМЕСЕВОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ОДИНОЧНЫМИ НАГРЕТЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Курмангалиев Р.Х., Можевитин Д.В.
Научный руководитель: Кац М.Д., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: rinat_real@rambler.ru, danil.mozhevitin@mail.ru

MATHEMATICAL PROCESSING OF EXPERIMENTAL DATA IGNITION COMPOSITE SOLID PROPELLANT SOLITARY HEATED PARTICLES

Kurmangaliyev R.K., Mozhevitin D.V.
Scientific Supervisor: Katz M.D.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: rinat_real@rambler.ru, danil.mozhevitin@mail.ru

Abstract. This article presents a mathematical method for processing experimental data. Were obtained mathematical expressions for delay the ignition of condensed matter by single particles heated from the initial temperature of the particles of the obtained data, and select the most appropriate dependences.

В настоящее время изучение закономерностей и механизма зажигания конденсированного вещества (КВ) одиночными нагретыми частицами является актуальной задачей [1, 2]. Это обусловлено практической значимостью результатов исследований. Такой задачей является определение условий устойчивости переходного процесса, когда процесс инициирования сменяется стационарным самоподдерживающим горением без дополнительного подвода энергии от внешнего источника [3].

При локальном (кондуктивном) источнике энергии воспламенение КВ возможно в определенном температурном интервале, когда теплового потока в зону возможного зажигания достаточно для прогрева и инициирования самоподдерживающегося горения [3]. Этот процесс характеризуется зависимостью времени зажигания топливной композиции от температуры горячей частицы $t_{ign} = f(T_0)$, которая может быть получена экспериментально [4]. Принципиальная схема установки [4] приведена на *рис.1*.

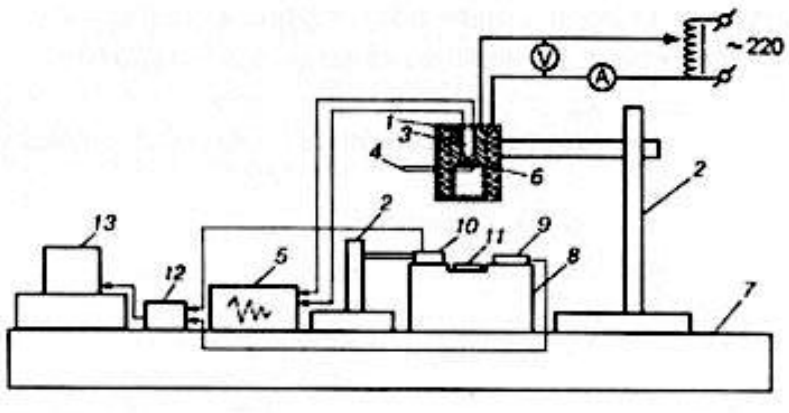


Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 –нагревательный прибор; 2 – штатив; 3 –термопара; 4 –удерживающий стержень; 5 – регистрирующий прибор; 6 – металлическая частица; 7 – рабочая поверхность установки; 8 – огнестойкая площадка; 9 – приемник излучения и регистратор пламени; 10 – излучатель; образец КВ; 12 –АЦП; 13 – персональный компьютер

В качестве источника зажигания 6 использовался металлический диск диаметром $3 \div 6$ мм и толщиной 2 мм, нагреваемый в электрической печи. При достижении заданной температуры T_0 открывался удерживающий стержень 4, и нагретая частица 6 падала на образец КВ. Через определенное время в поле соприкосновения частицы с образцом происходило зажигание КВ. Время от момента соприкосновения частицы с КВ до ее зажигания измерялась при помощи персонального компьютера. В результате проведенных экспериментов получены [4] зависимости времени задержки зажигания от начальной температуры частицы (*рис.2*).

Для использования полученных результатов в теплотехнических расчетах требуется математическая обработка полученных экспериментальных данных в виде операций интерполяции или аппроксимации.

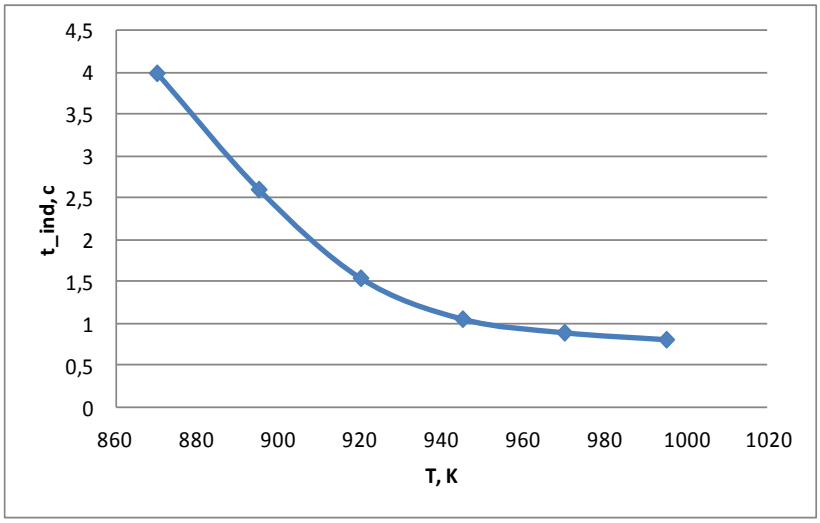


Рис. 2. Экспериментальная зависимость времени задержки зажигания от начальной температуры частицы КВ [4]

Эти операции позволяют получить аналитические выражения по значениям экспериментальной табличной функции для проведения теплотехнических расчетов.

Целью данной работы является получение математического выражения времени задержки зажигания от начальной температуры частицы по полученным в [4] экспериментальным данным. Для этой цели использовались аппроксимация функции различными методами *табл.1* [5].

Таблица 1

Наименование и вид интерполирующих функций [5]

№	Наименование интерполирующей функции	Математический вид функции
1	Параболическая	$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$
2	Экспоненциальная (показательная) функция	$y(t) = e^{a_0 + a_1 t + a_2 t^2}$
3	Логарифмическая функция	$y(t) = a_0 + a_1 \cdot \ln(t)$
4	Функция Конюса	$y(t) = t(a_0 + a_1 \cdot \ln(t))$

№	Наименование интерполирующей функции	Математический вид функции
5	Логистическая (сигмоидальная) функция	$y(t) = a_0 / (1 + a_1 \cdot e^{-a_2 t})$
6	Гиперболическая функция	$y(t) = a_0 + a_1 / t^n$
7	Степенная полиномиальная функция	$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \cdots + a_n t^n$
8	Линейная функция	$y(t) = a_0 + a_1 t$
9	Степенная функция	$y(t) = a_0 \cdot t^{a_1}$
10	Комбинация линейной и логарифмической функций	$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 \cdot \ln(t)$
11	Функция Торнквиста	$y(t) = a_0 t / (a_1 + \mathrm{t})$
12	Частный случай логистической функции	$y(t) = 1 / (a_0 + a_1 \cdot e^{-t})$
13	Комбинация линейной и гиперболической функций	$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 / t$

Расчеты проводились с использованием математического пакета Mathcad 15. Оценка погрешности интерполяции определялась расчетом среднеквадратичного отклонения по выражению [5]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(y_a - y_{\text{табл}})^2}{n}},$$

где $y_a, y_{\text{табл}}$ - значения ординат интерполируемой и табличной функции;

n – число узлов табличной функции.

Результаты расчетов представлены *в табл.2.* Согласно [5], чем меньше среднеквадратичное отклонение значений интерполирующей функции от табличной, тем ближе расположена интерполяционная кривая к экспериментально полученной зависимости.

Таблица 2.

Результаты расчетов оценки погрешности интерполяции

№ интерполирующей функции	Погрешность интерполяции
1	0,073346211
2	$\to\infty$
3	0,436167972
4	3,057765088
5	1,146411648
6	0,082635747 (n=20)
7	0,115441183
8	0,57365858
9	0,147586698
10	0,890206905
11	0,17518847
12	1,146412375
13	0,35813289

Как видно из табл.2 из всех рассмотренных функций наименьшее среднеквадратичное отклонение оказалось у параболической и гиперболической функций. Для остальных функций разброс составлял более 0,1. Математические выражения параболической и гиперболической функций имеют вид:

$$y_1(t) = 275,762 + 0,564t + 0,00029t^2$$

$$y_2(t) = 0,485 + \frac{21,84 \cdot 10^{58}}{t^{20}}$$

На рис.3 показаны результаты интерполяции параболической и гиперболической функций

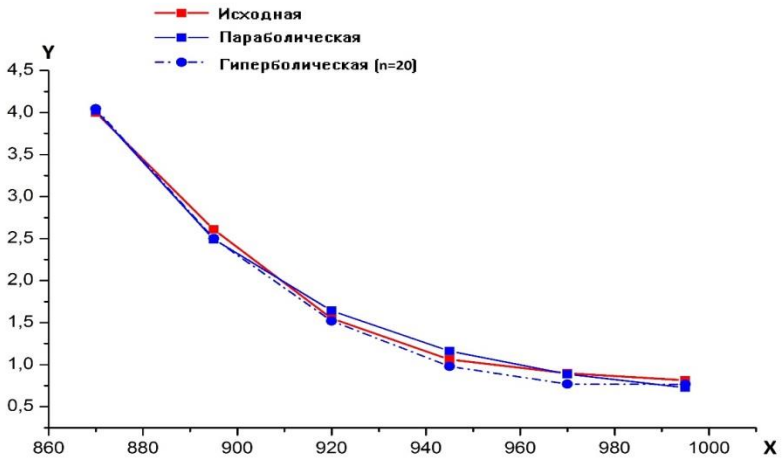


Рис. 3. Графики исходной и аппроксимирующих функций

В результате проведенных вычислений получены аналитические выражения интерполирующих функций с наименьшими погрешности интерполяции экспериментальных данных. Полученные выражения будут использоваться в расчетах по определению области устойчивости зажигания конденсированного топлива Одиночной «горячей» частицей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мак Алеви Р.Ф., Каунан П.Л., Саммерфилд М. Механизм воспламенения смесевых твердых топлив горячими газами //Исследование ракетных двигателей на твердом топливе: сб. Статей. – М.: изд-во иностр. Лит., 1963 .– С. 397–415.

2. Кузнецов Г.В., Мамонтов Г.Я., Таратушкина Г.В. численное моделирование зажигания конденсированного вещества нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. – 2004. – Т. 40, № 1. – С. 78–85.

3. Глушков О.Д., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Об устойчивости зажигания смесевого твердого топлива локальным источником ограниченной энергоемкости // Физика горения и взрыва. – 2014. – Т. 50, № 6. – С. 54–60.

4. Захаревич А.В., Кузнецов В.Т., Кузнецов Г.В., Максимов В.И. зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной, нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. – 2008. – Т. 44, № 5. – С. 54–57.

5. Поран П.Ж. Аппроксимация и оптимизация. – М.: Мир. – 496 с.

ВОЗДУШНО-АККУМУЛИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Минько С.М., Ташлыков А.А., Минько М.А.
Научные руководители: Ташлыков А.А., доцент, к.т.н.;
Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: sminko27@gmail.com

AIR-ACCUMULATING POWER STATION

Minko S.M., Tashlykov A.A., Minko M.A.
Scientific Supervisor: Tashlykov A.A., docent;
Tomsk Polytechnic University,
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: sminko27@gmail.com

Проект Филиппова

Прорывом в решении проблем современной энергетики явился проект А.Е. Филиппова «Ветроэнергетическая установка напорно-вытяжного действия» [1].

Изобретением Филиппова является идея, что энергию движения воздуха надо использовать для выработки электроэнергии не улавливая его в открытом пространстве, а посредством создания тяги в трубе. В данной схеме труба выполняет ту же роль, что и плотина для ГЭС, то есть концентрирует и направляет поток воздуха на электрогенератор. Но энергия потока воздуха в трубе (тяга) создается не только и не столько за счёт ветра, сколько за счёт разницы в температуре воздуха внутри трубы и в наружном воздухе (как известно теплый воздух поднимается вверх). Поэтому данную электростанцию разумно назвать аэро-, или воздушной электростанцией. При этом в воздушной электростанции технологически становится возможным применить систему аккумулирования электроэнергии посредством увеличения давления воздуха в баллоне сжатого воздуха.

Проект Воздушно-Аккумулирующей Электростанции (ВАЭС), схематично изображён на Рис. 1:

1. Труба (материал – железобетон, высота – 200 м, диаметр 15 м)
2. Баллон сжатого воздуха (материал – сталь)
3. Компрессор
4. Напорная камера (материал алюминий, форма - конус)
5. Сопло
6. Аэротурбина
7. Генератор
8. Входной патрубок
9. Вытяжная насадка
10. Нагревательная камера.

Стрелками изображено направление движения потока воздуха.

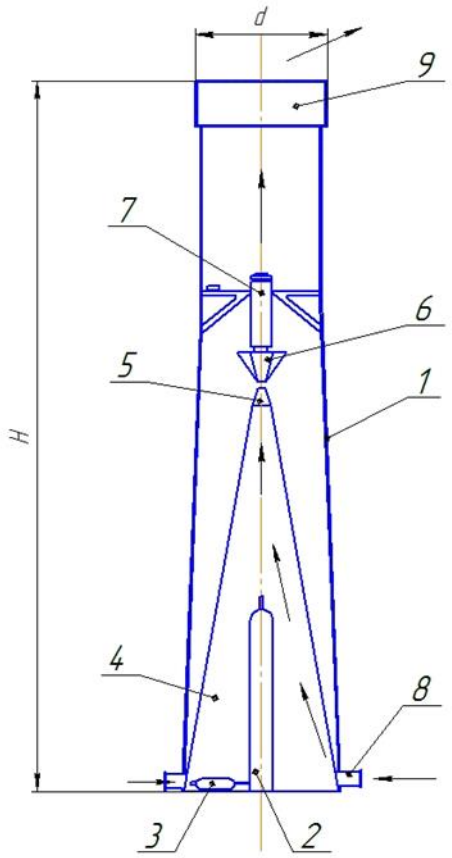


Рис. 1. Проект ВАЭС

Принцип работы ВАЭС

Воздух нагревается в нагревательной камере 10 и через входной патрубок 8 попадает в напорную камеру 4, находящуюся в трубе 1. Под действием силы тяги в трубе теплый воздух поднимается в верхнюю часть напорной камеры к соплу 5, при этом происходит его сжатие (увеличение давления и температуры). На выходе из сопла сжатый воздух попадает на аэротурбину 6, обеспечивая её вращение, а также вращение прикреплённого к ней ротора генератора 7. На статоре генератора 7 вырабатывается электрическая энергия, которая передаётся в сеть. Охлаждённый воздух через вытяжную насадку 9 удаляется в окружающую среду.

При снижении потребности в электроэнергии ВАЭС, или наличия «лишней» внешней электроэнергии, данная «лишняя» электроэнергия направляется на компрессор 3, который закачивает воздух в баллон сжатого воздуха 2, увеличивая в нём давление. Таким образом, баллон сжатого воздуха ВАЭС становиться аккумулятором электроэнергии – получить электроэнергию обратно можно просто стравливая воздух через клапан баллона в сопло напорной камеры.

Аэроэнергоустановка (АЭУ) ВАЭС включает в себя турбину, соединенный с ней ротор и статор. АЭУ предлагается разместить вертикально вдоль движения потока воздуха (Рис 2).

Спецификация:

1. Турбина (материал – алюминий)
2. Основа ротора – стеклопластиковая труба
3. Рабочие магниты ротора (материал – неодимовые магниты марки 48Н, форма – призма с

закруглёнными углами, количество 24, пар полюсов – 12)

4. Статор (стандартный – медная обмотка в пазах электротехнической стали)
5. Осевой магнитный подшипник (материал - неодимовый магнит марки 48Н, 2 диска, внутренний диск (магнитный заряд S-N) прикреплён к ротору, внешний магнит (магнитный заряд тоже S-N) прикреплён к статору)
6. Нижний магнитный ограничитель (нижний магнит (магнитный заряд S-N) прикреплён к статору – верхний магнит (магнитный заряд S-N) прикреплён к ротору)
7. Верхний магнитный ограничитель (нижний магнит на верхушке ротора (магнитный заряд S-N) – верхний магнит (магнитный заряд S-N) прикреплён к статору)

Вертикальное размещение позволит полностью исключить применение механических подшипников в АЭУ - это резко снизит нагрев конструкции от трения, исключит необходимость применения смазки, и обслуживания АЭУ.

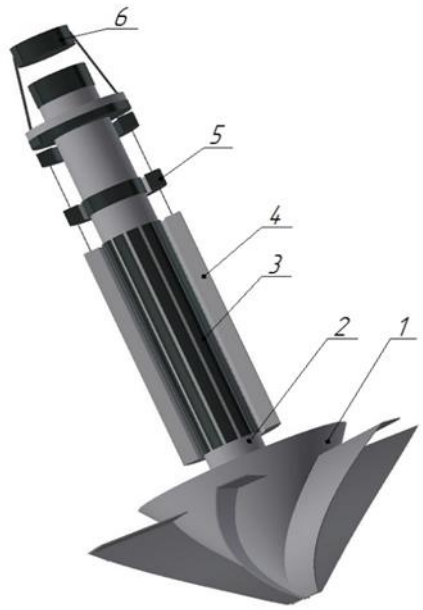


Рис. 2. Аэроэнергоустановка ВАЭС

Принцип работы АЭУ ВАЭС

Теплый воздух стабильно заданного давления из сопла напорной камеры подаётся на турбину. Турбина с закреплённым на ней ротором под давлением воздуха поднимается на нормативную высоту, одновременно вращаясь вокруг своей оси. При этом магнитный подшипник 5 обеспечивает строго вертикальное расположение ротора и не позволяет замкнуться ротору на статор. Если давление воздуха в сопле превысит нормативный уровень, то турбина с ротором начнёт двигаться вверх, но благодаря силе отталкивания между магнитами в верхнем магнитном ограничителе 7, система должна вернуться в нормальное положение (опускание ротора с турбиной ниже нормативного уровня не допускает нижний магнитный ограничитель 6).

Энергоустановка ВАЭС должна работать в автоматическом режиме. Поскольку давление воздуха в сопле должно быть строго заданной величиной, то в ВАЭС необходимо создать автоматическую систему регулирования подачи воздуха в сопло напорной камеры. Регулирование давления воздуха обеспечивается открыванием – закрыванием заслонки во входном патрубке (8 в Рис. 1), а также

открыванием-закрыванием выходного клапана в баллоне сжатого воздуха (2 в Рис. 1).

Постоянное нормативное давление воздуха при подаче на турбину обеспечивает постоянную нормативную скорость её вращения и позволяет получать на обмотках статора нормативный переменный ток частотой 50 Гц, который можно подавать в сеть без дополнительной доводки через выпрямитель и инвертор. Это нормативное давление должно обеспечивать небольшой (2-3 см.) подъём турбины над соплом напорной камеры и вращение турбины со скоростью 250 оборотов в минуту (3000 оборотов в мин. / 12 пар полюсов).

Турбина в ВАЭС должна быть изготовлена из алюминия (можно рассмотреть вариант магния). Плотность алюминия в 3 раза меньше стали, а теплопроводность в 4 раза больше. Основа турбины – стеклопластик, его плотность меньше стали в 3,7 раза. Соответственно, на вращение лёгкой турбины и лёгкого ротора надо затрачивать намного меньше энергии. В этом, а также в возможности применения неодимовых магнитов заключается ключевое преимущество ветроэнергетических установок по отношению тепловым парогазовым энергоустановкам. Но это преимущество может использоваться только при низких температурах – для алюминия критической является температура в 200℃, для стеклопластика – 130℃, для неодимовых магнитов марки 48Н – 120℃. Поэтому предельной нормативной температурой воздуха в сопле напорной камеры должна быть температура 95-99℃.

Источник энергии в ВАЭС – воздух с повышенной температурой и давлением. Учитывая высокую стоимость сооружений и оборудования экономическую эффективность получения электроэнергии в ВАЭС можно получить, только обеспечив бесплатный нагрев воздуха. Особых проблем в этом нет, учитывая масштабы бессмысленного выброса человечеством тёплого воздуха в атмосферу. В качестве бесплатных источников теплого воздуха можно рассмотреть тёплый воздух, выбрасываемый сегодня вентиляций в атмосферу в свиноводческих комплексах и птицефабриках, в металлургических, машиностроительных, цементных предприятиях, в тепловых и атомных электростанциях и жилых помещениях.

В качестве бесплатных теплоносителей, которые могут нагреть воздух в нагревательной камере можно использовать отходы животноводства (навоз, помёт), золоотвалы и другие промышленные отходы, а также воду из общераспространенных подземных термальных источников.

Бесплатным нагревателем воздуха в ВАЭС является и компрессор с воздушным баллоном. Использование сжатия воздуха в баллоне в качестве способа аккумулирования энергии считается неэкономичным именно потому, что при этом процессе 50% энергии не сохраняется в виде высокого давления воздуха в баллоне, а излучается в виде тепла в окружающую среду. Но в ВАЭС тепло не пропадает – оно нагревает воздух в напорной камере, что приводит к увеличению выработки электроэнергии.

Трубу ВАЭС целесообразно изготавливать из материала с минимальной теплопроводностью, но с достаточной прочностью для того, чтобы выдержать ветровые нагрузки. В качестве такого материала можно рассмотреть различные виды бетона на железной арматуре (пенобетон, древобетон (арболит), опилкобетон). Труба должна быть окрашена в чёрный цвет. В ВАЭС чем больше труба, тем больше энергии можно получить на выходе из статора. Но есть технологические ограничения размеров трубы – максимальная высота сегодняшних труб составляет 440 метров (в Экибастузской ГРЭС), и строительство таких труб требует особых технологий, которые сложно осуществлять в массовом порядке. Поэтому,

оптимальным размером трубы для ВАЭС предлагается считать трубу высотой 200 метров и диаметром 15 метров.

Тяга в трубе рассчитывается по формуле:

$$Q = C\ A \sqrt{2\ g\ H\ \frac{T_i - T_e}{T_i}}$$

Где: Q - тяга/поток тяги, м³/сек, A - сечение трубы, м², C - коэффициент расхода (от 0.65 до 0.70), g - ускорение свободного падения, 9.8 м/сек², H - высота трубы, м, T - средняя температура внутри трубы, К, T - температура наружного воздуха, К.

В трубе ВАЭС диаметром 15 м сечение трубы (А) составит 177 м^2. Высота трубы 200 м. Примем, что температура воздуха снаружи 20℃ или 293 К, а внутри трубы 25℃ или 298 К. (разница в 5℃ обеспечивается низкой теплопроводностью железобетонных стен трубы), тогда:

$$Q = \frac{0.7 \cdot 177\sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 200 \cdot (298 - 293)}}{\sqrt{298}} = 1004\ \text{м}^3/\text{сек}$$

То есть в каждой точке трубы скорость ветра достигает 10 м/с (корень кубический из тяги) даже при штиле.

При стабильной скорости ветра 10 м/с обеспечивается относительно эффективная работа и обычных ветрогенераторов. В трубе диаметром 15 м можно поместить серийный ветрогенератор ALT-50 кWt с диаметром ветрового колеса в 13,6 м. Но он обеспечит полную загрузку генератора только мощностью 50 кВт. В патенте Филиппова мощность его энергетической установки при высоте трубы в 200 м. оценивается в 2300 -3000 кВт (возможность достижения такой мощности подтверждается прилагаемыми расчетами). В предлагаемом проекте ВАЭС ветровое колесо с КПД 10% заменяется аэротурбиной с КПД 90%. Благодаря увеличению разницы температур внутри трубы и снаружи можно увеличить мощность энергоустановки ещё в 4-5 раз. Поэтому на ВАЭС с трубой в 200 м можно обеспечить полную загрузку энергоустановки мощностью в 2000 кВт.

ВАЭС наиболее эффективна в странах с низкой температурой в зимнее время, то есть именно тогда, когда расход электроэнергии максимальный.

Так тяга в трубе при температуре воздуха на входе в трубу в 293 К (+20℃), и температуре воздуха наружи в 243 К (-30℃) составит 3205 м^3/сек.

То есть тяга в трубе зимой при использовании нагретого воздуха увеличивается в 3 раза по сравнению с обычным уровнем, и соответственно можно получить в 3 раза больше электроэнергии в аэроэлектростанции за счёт утилизации бесплатного тепла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1) Пат. 2095619 РФ. Кл. F03D1/04. Ветроэнергетическая установка напорно-вытяжного действия/ А.Е. Филиппов. Заявлено 21.11.1995; Опубл. 10.11.1997.

2) Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии. –М: Томский политехнический Университет, 2008. – 187с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ К НЕФТЕПРОДУКТАМ

Мордвин Д.В.
Научный руководитель: Буваков К.В., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dvm5@tpu.ru

INVESTIGATION OF NATURAL AND TECHNOGENIC MATERIALS SORPTION ACTIVITY FOR PETROLEUM PRODUCTS

Mordvin D.V.
Scientific Supervisor: PhD in technical science, docent Buvakov K.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: dvm5@tpu.ru

В последнее время в мире стали больше уделять внимание современным технологическим решениям, направленным на сбор и утилизацию нефтеразливов, изменился менталитет в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслях в пользу защиты окружающей среды, создания и совершенствования природосберегающих технологий, рационального использования технологических отходов.

Наиболее перспективны сорбционные методы сбора разливов нефтепродуктов, но в связи с высокой стоимостью, не все нашли широкое применение.

Целью настоящей работы является исследование свойств некоторых природных и техногенных материалов (золы кузнецкого и канско-ачинского углей, углистого аргиллита и природного цеолита) применительно к поглощению нефтепродуктов.

Представленный в работе метод был разработан на кафедре парогенераторостроения и парогенераторных установок Томского политехнического университета [1].

Для исследований использовали по 2 навески (вторая дублирующая) из проб, предварительно дегидратированных сорбентов. Размер частиц для каждой пробы сорбентов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Размер частиц и нумерация проб сорбентов [1]

Размер частиц, d, мм	Цеолит	Углистый аргиллит	Зола (унос) кузнецкого угля	Зола (унос) канско-ачинского угля
0,350	I	VI	XI	XVI
0,150	II	VII	XII	XVII
0,080	III	VIII	XIII	XVIII
0,053	IV	IX	XIV	XIX
0,023	V	X	XV	XX

Суть метода заключается в определении поглощающей способности различных сорбентов по отношению к нефтепродуктам [1].

Пробы сорбентов отбирают в предварительно взвешенные бюксы из неокисляющегося материала (две навески массой 1±0,1 г каждая с точностью 0,0002 г). Навеску равномерно распределяют по дну бюксы, легким постукиванием. Затем набирают в пипетку нефтепродукт и медленно заливают слой сорбента до тех пор, пока адсорбат его не скроет. Бюксу закрывают и выдерживают в течение 10 минут.

После выдерживания бюксы открывают и аккуратно переворачивают их с содержимым на круглый фильтр (желтая лента), предварительно установленный над любым небольшим лабораторным стаканом. Оставшиеся частички сорбента на стенках бюксы смывают на тот же фильтр под небольшим напором адсорбата. Сорбенто-адсорбатную смесь разравнивают по фильтру, чтобы ускорить процесс стекания невпитавшегося адсорбата. После этого оставшаяся масса приобретет густой «кашевидный» вид, т. к. на поверхности частиц сорбента останутся пленки. Чтобы их удалить (полностью отжать сорбент), используют пресс с круглой матрицей.

Пропитанную сорбентную массу с фильтра полностью переносят в цилиндр матрицы, затем цилиндр устанавливают на подставку и вставляют в зажим. Устанавливают на цилиндрическую матрицу пуансон и начинают создавать сжимающее усилие, вскоре по матрице начнет стекать «поверхностная» часть сорбата.

Как только усилие достигнет фиксированного значения, матрицу освобождают и вынимают продукт сорбции в виде таблетки, которую взвешивают и по разности масс определяют количество впитавшегося адсорбата.

Описанная выше методика позволяет получить величину относительной сорбции, характеризующей отношение массы нефтепродукта, связанного сорбентом, к массе самого сорбента. Результаты занесены в таблицу 2.

Таблица 2

Определение поглощающей способности цеолита и золы канско-ачинского угля [1]

№ пробы	№ бюксы	Масса бюксы, г	Масса бюксы с навеской, г	Масса навески до отжима, г	Масса навески после отжима, г	Масса впитав-шаяся, г	Среднее значение А, г
		g	G	$G' = G - g$	G''	$A = G'' - G'$	
I	12	10,3506	11,3508	1,0002	1,2155	0,2153	0,210
I	6	10,0308	11,0306	0,9998	1,1987	0,1989	
II	18	9,0719	10,0721	1,0002	1,3580	0,3578	0,356
II	10	9,5345	10,5341	0,9996	1,3549	0,3553	
III	11	9,7860	10,7861	1,0001	1,3860	0,3859	0,388
III	7	8,5350	9,5349	0,9999	1,3904	0,3905	
IV	3	9,4890	10,4848	0,9958	1,4413	0,4455	0,438
IV	5	8,3816	9,3805	0,9989	1,4288	0,4299	
V	4	8,4915	9,4892	0,9977	1,4555	0,4578	0,464
V	8	9,1620	10,1618	0,9998	1,4697	0,4699	
XVI	3’	9,8549	10,6233	1,0684	1,3540	0,2856	0,277
XVI	4’	9,9985	10,9992	1,0007	1,2692	0,2685	
XVII	50	11,8980	13,0094	1,1114	1,3411	0,2297	0,173
XVII	51	10,6498	11,7855	1,1357	1,2511	0,1154	
XVIII	2’	31,8380	32,9254	1,0874	1,2641	0,1767	0,142
XVIII	9’	31,7264	32,8672	1,1408	1,2472	0,1064	
XIX	16	10,3549	11,4848	1,1299	1,3240	0,1941	0,160
XIX	17	9,3816	10,4875	1,1059	1,2314	0,1255	
XX	4	11,5763	12,6753	1,0990	1,2698	0,1708	0,209
XX	8	11,2534	12,3587	1,1053	1,3521	0,2468	

Аналогично были получены данные для проб золы (уноса) кузнецкого и канско-ачинского углей. Получившиеся значения были объединены на графике зависимости поглощения нефти одним граммом сорбента с разными размерами частиц (рис. 1).

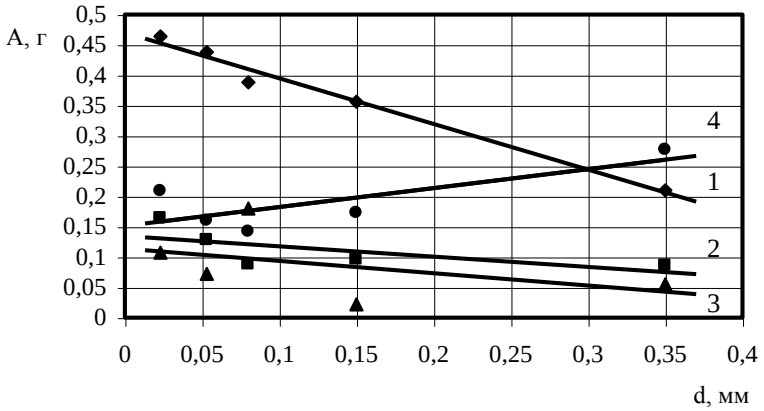


Рис. 1. Зависимость величины поглощения нефти одним граммов сорбента с разными размерами частиц: 1 – природный цеолит; 2 – углистый аргиллит; 3 – зола (унос) кузнецкого угля; 4 – зола (унос) канско-ачинского угля

Главной характеристикой при сорбции является вязкость нефтепродукта, поэтому для сокращения длительности опытов тестирование проводилось относительно нефти, т. к. вязкость ее ниже по сравнению с мазутом. Кроме того такой выбор сорбируемой среды определялся возможностью сравнить результаты экспериментов с результатами, полученными другими авторами [2]. Соотношение сорбционных характеристик при поглощении нефти, мазута и других нефтепродуктов пропорционально их вязкости.

Полученные зависимости позволяют задавать весовое соотношение для каждого сорбента с учетом его фракционного состава. Здесь следует отметить, что минеральные сорбенты, основа которых сложена преимущественно силикатами (цеолит, углистый аргиллит, зола от сжигания кузнецких углей – в порядке убывания этого признака) характеризуются одинаковой тенденцией изменения сорбционной способности в зависимости от размера частиц. Она уменьшается по мере увеличения диаметра частиц, что говорит о поверхностном характере поглощения нефтепродукта этими сорбентами. Зола канско-ачинского угля показывает явно противоположную тенденцию, и это, по-видимому, объясняется повышенными капиллярными свойствами так называемой «мягкой золы», образующейся после преобразования «внутренней» составляющей минеральной части. Чем грубее угольная пыль, тем больше и равномернее представлена в частицах внутренняя золообразующая матрица [3]. Поскольку эта закономерность переходит в некоторой мере и на образующиеся при пылевидном сжигании золовые частицы, то и капиллярные свойства проявляются соответственно в более крупных золовых частицах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Буваков К.В. Свойства минеральных сорбентов применительно к технологиям топливосжигания: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.14 / К.В. Буваков. – Томск, 2007. – 163 с.

2. Цуцаева В.В, Пуговкин М.М., Савушкина М.Ю. Текстильный горошек – эффективный сорбент для ликвидации разливов нефти // Экология. – 1991. – № 6. – С. 33–34.

3. Заворин А.С. Проявление свойств минеральной части углей в паровых котлах. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 221 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ СОРБЦИЕЙ ЗОЛОЙ УНОСА

Мордвин Д.В.
Научный руководитель: Буваков К.В., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dvm5@tpu.ru

STUDY OF FLUE GAS DESULPHURIZATION USING SORPTION OF FLY ASH

Mordvin D.V.
Scientific Supervisor: PhD in technical science, docent Buvakov K.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: dvm5@tpu.ru

Промышленное производство электрической и тепловой энергии сопровождается крупномасштабным материальным и энергетическим обменом с окружающей средой, имеющим своим следствием отрицательное воздействие на нее и, следовательно, вызывающим необходимость ее защиты.

Привлекает внимание возможность использования золы уноса от сжигания твердых ископаемых топлив в энергетических котлах в качестве сорбента, сорбционные свойства которой могут в значительной степени повлиять на снижение токсичных выбросов в дымовых газах [1].

Исследование по удалению из дымовых газов паровых котлов диоксида серы производилось путем применения техногенного материала – золы (уноса) канско-ачинского угля, опираясь на методики, разработанные на кафедре парогенераторостроения и парогенераторных установок Томского политехнического университета [1, 2]. Основные этапы работы выполнялись на лабораторной установке, которая также разработана в Томском политехническом университете [1]. Фрагмент данной установки, отвечающий за десульфуризацию дымовых газов, представлен на рисунке 1.

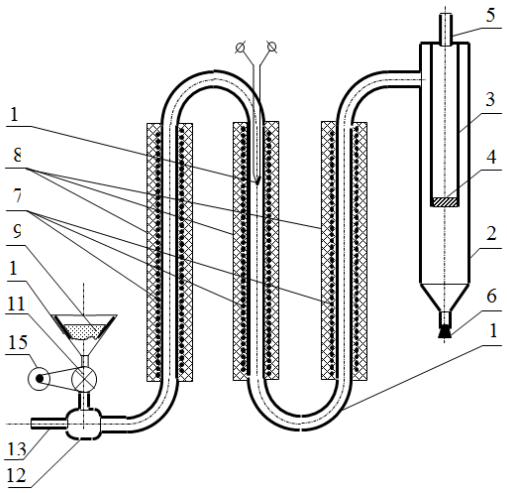


Рис. 1. Рабочий участок экспериментальной установки:
1 – реакционные колонны; 2 – корпус сепаратора; 3 – внутренний цилиндр сепаратора;
4 – жалюзийный сепаратор; 5 – патрубок выхода газов; 6 – заглушка; 7 – электронагреватель;
8 – изоляция; 9 – сорбент; 10 – бункер;11 – зубчатый питатель; 12 – смеситель;
13 – патрубок входа газов; 14 – термопара; 15– двигатель электропривода

С помощью установки были проведены исследования сорбционных взаимодействий частиц золы, движущихся в потоке газовой среды. Для синтеза газовой среды, применявшейся в качестве газа-носителя, использовались два баллона с углекислым газом и с азотом. За основу синтезируемой смеси был принят состав дымовых газов, образующихся от сжигания канско-ачинского угля марки Б2: CO_2 –

17 %; N_2 – 67 %; H_2O – 16 % при избытке воздуха $\alpha = 1$ [2]. Искусственно полученная газовая среда, по составу приближенная к уходящим газам ТЭС, поступала за счет разрежения, создаваемого компрессором, в ресивер, где происходило её активное диффузионное смешение. Газовая среда в течение экспериментов имела следующий процентный состав: в опытах по сорбции диоксида серы O_2 – 4…5,7 %, N_2 – 75…78 %, RO_2 – 16,3…18 %, H_2O – 3 %, а концентрация SO_2 в течение опытов изменялась в диапазоне 0…5500 мг/м^3. Далее газы поступали к рабочему участку установки (рис. 1). В смесителе 12 происходило смешение газов и сорбента с размерами частиц от 23 до 350 мкм, равномерно мелкими порциями поступающего из бункера 10 через питатель 11. Уменьшение размера частиц за пределы указанного диапазона приводило к снижению сыпучести зернистого материала и забиванию зубчатого механизма питателя. Увеличение же размера частиц вызывало оседание их в нижних коленах реакционных колонн 1. Расход газов, приведенный к нормальным условиям, составлял $4{,}0 \cdot 10^{-4}$ м^3/с. Образовавшаяся пылегазовая смесь продвигалась по реакционным колоннам, где происходило поглощение токсинов золой [2].

Время реагирования частицы усредненного размера, равного 0,2 мм, с газами или время пребывания частицы в газах с момента ввода её в поток до отделения от газов в сепараторе определялось расчетным путем и составило 5 секунд. Наиболее мелкие частицы, остающиеся после сепаратора, осаждались в мокром фильтре. Расчет времени реагирования сорбента с газами в газоочистной установке произведен с использованием программы для ЭВМ на алгоритмическом языке FORTRAN, основанной на решении системы обыкновенных дифференциальных уравнений движения твердой частицы в потоке газов с использованием метода Рунге-Кутта:

$$\frac{dx}{dt} = u,$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{18\mu_g}{\rho_h \delta^2}\left(u_g - u\right) \pm g,$$

здесь: u – скорость движения частицы, м/с; u_g – скорость газов, м/с; μ_g – вязкость газов, Па·с; ρ_h – плотность частицы, кг/м^3; δ – диаметр частицы, м; g – ускорение свободного падения; знак «–» означает движение частицы сорбента в восходящем потоке газов, а «+» – в нисходящем.

Отбор проб газов производился тремя последовательно соединенными газовыми пипетками до и после ввода золы (уноса) в газовую среду. Измерение концентрации диоксида серы проводилось тетрахлормеркуратным методом с пararозанилином и формальдегидом. Метод основан на взаимодействии дихлорсульфито-меркурата, образующегося в процессе поглощения диоксида серы раствором тетрахлормеркурата натрия, с метаналем и триаминотрифенилметанолом. Образующееся при этом соединение окрашивает раствор в фиолетовый цвет, по интенсивности окраски которого с помощью фотоэлектроколориметра определяют содержание диоксида серы [3].

В результате экспериментов получены изотермы адсорбции диоксида серы золой при температуре газовой среды 150 °С. Изотермы приведены на рисунке 2 в виде функциональных зависимости $A=f(C)$.

По приведенным изотермам адсорбции можно видеть, что сорбционная способность золы (уноса) сильно зависит от концентрации поглощаемых оксидов в газе. Наряду с этой закономерностью,

общей для всех исследованных сорбентов как в процессах поглощения диоксида серы, установлены и другие особенности. Зола кузнецкого и канско-ачинского углей проявляет различия в сорбционной способности относительно токсичных оксидов, что объясняется известными отличиями в составе [4–7]. Зола канско-ачинского угля, которая из-за высокого содержания свободного оксида кальция [7] обладает высокой склонностью к взаимодействию с оксидами серы дымовых газов, все же проявляет в этом процессе разную сорбционную способность в зависимости от способа сжигания. Это объясняется более тонкодисперсным составом уноса из топок с жидким шлакоудалением по сравнению с топками с твердым шлакоудалением, что, в свою очередь, определяется закономерностями шлакообразования при существенно разных температурных условиях топочного процесса [8].

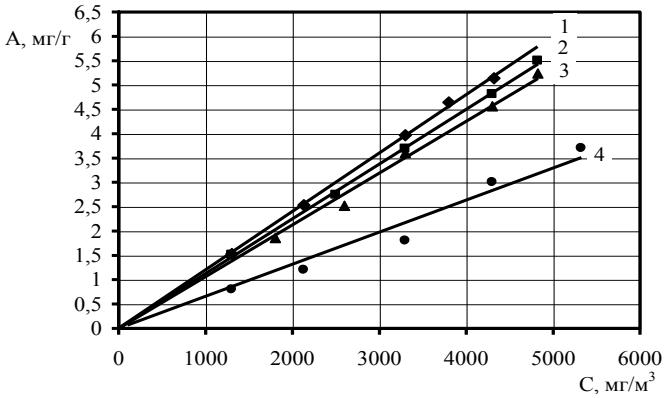


Рис. 2. Изотермы адсорбции диоксида серы золой (уносом) канско-ачинского угля при t = 150 °С:
1 – зола после I поля электрофильтра (котел с ЖШУ); 2 – зола после II поля (котел с ЖШУ);
3 – зола после III поля (котел с ЖШУ); 4 – зола после IV поля (котел с ТШУ)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Буваков К.В., Купрюнин А.А. Экспериментальные исследования сорбционных свойств золы уноса канско-ачинских и кузнецких углей при денитрификации дымовых газов // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Вып. 2. – С. 166–170.

2. Буваков, К.В. Свойства минеральных сорбентов применительно к технологиям топливосжигания: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.14 / К.В. Буваков. – Томск, 2007. – 163 с.

3. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 270 с.

4. Коробецкий И.А., Шпирт М.Я. Генезис и свойства минеральных компонентов углей. – Новосибирск: Наука, 1988. – 227 с.

5. Заворин А.С. Состав и термические свойства минеральной части бурых углей (теплотехнический аспект). – Новосибирск: Изд-во ИТ СО РАН, 1997. – 187 с.

6. Компоненты зол и шлаков ТЭС / Л.Я. Кизельштейн, И.В. Дубов, А.Л. Шпицглуз, С.Г. Парада. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 176 с.

7. Савинкина М.А., Логвиненко А.Т., Кокаулина Э.В., Исакова О.Я. Свойства оксида кальция в топливных золах // Известия СО АН СССР. Серия хим. наук. – 1984. – Вып. 6. – С. 131–137.

8. Заворин А.С. Проявление свойств минеральной части углей в паровых котлах. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 221 с.

ОДН – ЗА ЧТО ПЛАТИТ НАСЕЛЕНИЕ?

Морозова В.А
Научный руководитель: Климова Г.Н., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: morozova_ veronika@mail.ru

WHAT DO BILLS OF COMMUNAL USE INCLUDE?

Morozova V.A.
Scientific Supervisor: associate professor, Dr. Klimova G.N.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: morozova_ veronika@mail.ru

Annotation

Every day we consume energy and pay for consumption. The purpose of this paper is to analyze and confirm regulation forms for communal use we have today. The data of calculations was divided into three groups to show more details which we can have during communal use payments. There are examples of individual communal use estimations, and it was compared with received base values. Both base and calculated data is in line. In conclusion, it can be noticed that management company's accounts for communal use are absolutely true according to regulations.

На сегодняшний день очень актуален вопрос о потреблении электроэнергии. Еще большую огласку вносит начисление платежей за электроэнергию (ЭЭ), идущую на общедомовые нужды (ОДН) жителям многоквартирных домов. ОДН включает ЭЭ, необходимую для работы оборудования и установок, входящих в состав имущества и предназначенных для обслуживания многоквартирного дома.

Графа «Общедомовые нужды» появилась в квитанциях еще в июне 2009г., когда, согласно Жилищному Кодексу РФ и Постановлению Правительства РФ от 06.05.2006г. №307 «О порядке предоставления коммунальных услуг гражданам», плата за общедомовое потребление электрической энергии стала предъявляться каждому жителю многоквартирного дома [1].

Согласно более позднему Постановлению Правительства РФ от 06.05.2011 г. № 354, с 01.09.2012 г. ОДН рассчитывается и распределяется между потребителями пропорционально размеру общей площади принадлежащей каждому потребителю (находящегося в его пользовании) помещения в многоквартирном доме, т.е. индивидуальное потребление ЭЭ на объем ОДН не влияет. В новый документ были внесены существенные изменения, т.к. ранее объем ОДН распределялся пропорционально объемам потребления (в кВтч) собственников жилых помещений.

Кроме того, Постановление №354 внесло в список плательщиков ОДН владельцев и пользователей нежилых помещений - юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих деятельность в нежилых помещениях многоквартирных домов, а также в жилых помещениях, используемых не в целях проживания. Т.е. оплата за коммунальную услугу по электроснабжению в части ОДН с 01.09.2012г. распределяется одинаково для владельцев как жилых, так и нежилых помещений в многоквартирных домах.

В данной работе были исследованы динамики начисления ОДН для различных типов домов. Использовались реальные данные, как индивидуального месячного потребления электроэнергии в квартире, так и ЭЭ, идущей на ОДН. На основе этих данных дома были классифицированы по 3 группам:

первая группа – девятиэтажные дома, оборудованные лифтом, достаточно современные; вторая – это оборудованные лифтом дома шести и семи этажей; третья группа домов – это совокупность пятиэтажек без лифта. Согласно группам построены зависимости потребления ОДН от месяца года, проведен анализ фактических начислений на ОДН и расчетных значений.

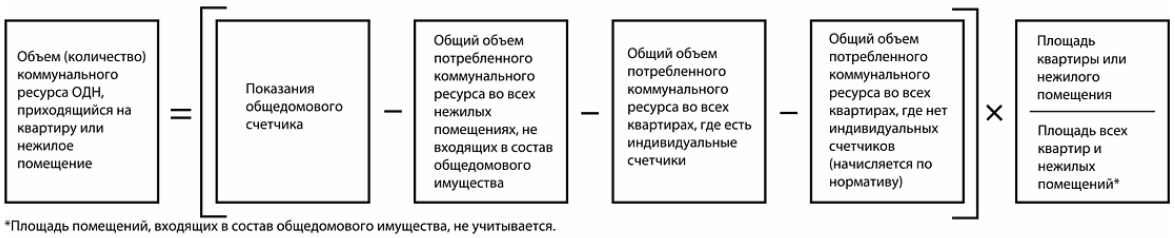
Все данные полученные из графиков для дальнейшего анализа и наглядного представления сведены в таблицу 1. Диапазоны различны, т.к. оборудование для каждого дома устанавливается индивидуально. В начисляемую сумму на ОДН по электроэнергии входят затраты на энергию, потребляемую домофонами, лифтами; энергию, потребляемую таким электрооборудованием, как видеокамеры наблюдения, система автоматического регулирования тепла и технологические потери во внутридомовых сетях.

Таблица 1

Площадь квартиры, S ($м^2$)	9 этажей + лифт (кВтч/$м^2$)	6 – 7 этажей + лифт (кВтч/$м^2$)	5 этажей (кВтч/$м^2$)
30 – 40	0,5 – 2,0	-	-
40 – 50	0,5 – 1,5	0,25 – 1,0	-
50 – 60	0,5 – 1,0	-	-
60 – 70	0,75 – 1,5	0,2 – 1,0	0,5 – 1,5
70 – 85	0,5 – 1,5	0,2 – 1,1	0,25 – 1,5
80 – 90	-	0,1 – 1,1	-
90 – 100	0,25 – 1,0	0,3 – 0,8	0,5 – 1,3
100 – 110		0,5 – 1,0	0,1 – 1,0
110 – 120		0,45 – 1,0	0,5 – 1,5
120 – 130		0,3 – 1,1	0,1 – 1,2
130 – 136		0,3 – 0,8	0,5 – 1,5
150 – 160	-	0,5 – 0,75	-

Для расчёта и наглядного представления понятия о начислении ОДН рассмотрим многоквартирный пятиэтажный дом, сданный в эксплуатацию в 2000г.

Формула согласно Постановлению № 354 со всеми корректировками для на начисления ОДН имеет следующий вид:



Пример расчёта:

Жильцу квартиры площадью 38,4 $м^2$, в мае 2014 года начислено ОДН в размере:

$$ОДН_{38,4} = (12762 \text{ кВтч} – 9129,3 \text{ кВтч}) \cdot (38,4 \text{ м}^2/2836,6 \text{ м}^2) = 49,17 \text{ кВтч}.$$

Жильцу квартиры площадью 78,3 м^2:

$$ОДН_{78,3} = (12762 \text{ кВтч} – 9129,3 \text{ кВтч}) \cdot (78,3 \text{ м}^2/2836,6 \text{ м}^2) = 100,26 \text{ кВтч}.$$

Согласно Постановлению № 354 методику начисления ОДН можно считать на совсем целесообразной, т.к. месячное потребление жильцом данной квартиры составило всего 36 кВтч, и к выплате начислено 136,26 кВтч (доля ОДН составила почти 75 %). Если же брать в сравнение более раннее Постановление № 306, то ЭЭ на ОДН начислялась согласно количеству проживающих. Итак, начисления ОДН согласно Постановлению № 306 составили бы всего 7 кВтч (это около 16 %).

Примеры расчёта совпадают с данными, представленными управляющей компанией, следует вывод, что ОДН по ЭЭ начисляется согласно постановлению № 354 со всеми поправками. Для расчёта использовались данные сайта [2].

В заключении следует отметить, что существует много факторов, с которыми связано не пропорциональное начисление ОДН. К примеру:

1. нерадивые управляющие компании стали рассматривать строку ОДН, как возможность получить дополнительную прибыль;
2. собственникам приходиться платить не только за потребленные на общедомовые нужды ресурсы, но и за технологические потери в изношенных внутридомовых сетях;
3. в доме не проводятся энергосберегающие мероприятия;
4. банальное воровство ресурсов (вмешательство в работу квартирных счетчиков, подключение минуя приборы учета). [3]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 г. № 354
2. ОАО «РОСКОММУНЭНЕРГО». Что такое «общедомовые нужды»? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rcen-nt.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=57:odp&catid=38&Itemid=91.– 09.04.15
3. «Что такое ОДН и как это рассчитывается?» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gkhnsc.ru/index.php?id=402&Itemid=142&option=com_content&view=article – 28.03.15
4. Алла Волошина. Один на один с ОДН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.afanasy.biz/articles/detail.php?ELEMENT_ID=68575 – 05.04.15

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ЛУЧИСТОГО НАГРЕВА ОДНОЙ ИЗ ГРАНИЦ

Ни А.Э.
Научный руководитель: Кузнецов Г.В., профессор, д. ф.- м. н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: nee_alexander@mail.ru

MATHEMATICAL MODELING OF MIXED CONVECTION IN A CLOSED RECTANGULAR AREA IN CONDITIONS OF LOWER BOUNDARY RADIANT HEATING

Nee A.E.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Kuznetsov G.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: nee_alexander@mail.ru

Abstract. Mathematical modeling of mixed convection in a closed rectangular area in conditions of lower boundary radiant heating is passed. Fields of temperatures and stream functions for different Grashof numbers are obtained. The scale influence of Grashof number increasing on the heat transfer intensity is shown. It is founded that the process of closed areas radiant heating has significantly unsteady nature.

Введение

Известно [1], что для локального обогрева крупногабаритных помещений производственного назначения во многих случаях целесообразно использовать системы лучистого отопления. Наиболее перспективными являются газовые инфракрасные излучатели (ГИИ) [2]. Необходимо отметить, что в зависимости от типа ГИИ [3] температура на его поверхности может достигать 500 К. В результате формируется “тепловая подушка” под перекрытием отапливаемого помещения. Такое термическое воздействие на материал кровли может привести к его преждевременному разрушению. Целесообразно удалять горячий воздух из обогреваемой области.

Целью работы является численное исследование процесса смешанной конвекции в области, заполненной газом и ограниченной твердыми теплопроводными стенками конечной толщины, в условиях лучистого подвода энергии к внутренней границе.

Постановка задачи и метод решения

Решена краевая задача нестационарного сопряженного теплопереноса. Область анализа представлена на рисунке 1.

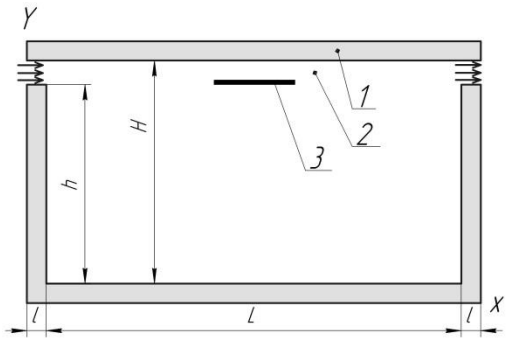


Рис. 1. Область решения: 1 – ограждающие конструкции; 2 – воздух; 3 – газовый инфракрасный излучатель (условное обозначение)

Рассматривается полость прямоугольного поперечного сечения, заполненная газом и ограниченная твердыми теплопроводными стенками, с участками ввода и вывода воздушных масс. Излучатель расположен под перекрытием. На внешних границах области решения, за исключением

участков ввода и вывода, принимались условия теплоизоляции. На внутренних границах раздела «газ - стенка» задавались равенство температур и тепловых потоков. Предполагалось, что лучистый поток, поступающий от ГИИ, равномерно распределен только по внутренней поверхности нижней горизонтальной границы. На участках ввода и вывода масс принимались граничные условия, аналогично [4]. При постановке задачи принималось, что газ, поступающий в полость, имеет существенно меньшую температуру по сравнению с температурой на поверхности излучателя. Массовый приход является известной величиной. Воздух считается вязкой и теплопроводной жидкостью, удовлетворяющей приближению Буссинеска. Теплофизические свойства газа и материалов ограждающих конструкций не зависят от температуры. Эти допущения позволяют значительно упростить решение и при этом не вносят в постановку задачи серьёзных ограничений.

Исследуемый процесс теплопереноса описывается системой нестационарных двумерных уравнений Буссинеска для газа и уравнением теплопроводности для твердых стенок. Задача сформулирована в безразмерных переменных «вихрь скорости Ω - функция тока Ψ - температура Θ», аналогично [4]. В качестве масштаба расстояния выбрана длина газовой полости. Для приведения системы уравнений к безразмерному виду использовались следующие соотношения:

$$X=\frac{x}{L};\ Y=\frac{y}{L};\ \tau=\frac{t}{t_0};\ U=\frac{u}{V_{nc}};\ V=\frac{v}{V_{nc}};\ \Theta=\frac{T-T_0}{T_h-T_0};\ \Psi=\frac{\psi}{\psi_0};\ \Omega=\frac{\omega}{\omega_0};\ V_0=\sqrt{g\cdot\beta\cdot(T_h-T_0)\cdot L};$$

$$\psi_0=V_{nc}L;\ \omega_0=\frac{V_{nc}}{L};$$

где: x,y – размерные координаты; X,Y – безразмерные координаты, соответствующие x,y; L – длина газовой полости по оси x; t_0 - масштаб времени; τ – безразмерное время; u,v – скорости по осям x,y соответственно; U, V– безразмерные скорости соответствующие u,v; V_{nc} – масштаб скорости (скорость естественной конвекции); Θ – безразмерная температура; T_0 – температура воздуха, ограждающей конструкции и газового инфракрасного излучателя в начальный момент времени; T_h – температура на поверхности излучателя; ψ - функция тока; ψ_0 - масштаб функции тока; Ψ - безразмерный аналог ψ; ω - вихрь скорости; ω_0 - масштаб вихря скорости; Ω - безразмерный аналог ω

Уравнения переноса вихря, Пуассона, энергии и теплопроводности решены методом конечных разностей на равномерной сетке 151x151. Для аппроксимации уравнений использована локально одномерная схема Самарского. Одномерные разностные аналоги решались методом прогонки. Используемый алгоритм решения был протестирован на модельной задачи вынужденной конвекции в прямоугольной каверне с входным и выходным отверстиями [5].

Результаты численного моделирования

Численное исследование проведено в рамках ламинарной модели течения. Принимались следующие значения безразмерных критериев: числа Грасгофа $10^5 \le \mathrm{Gr} \le 10^6$, число Рейнольдса Re=2000, число Прандтля Pr=0,71, число Кирпичева $Ki=60$. На рисунке 2 представлены изолинии температур и функций тока при значении безразмерного времени τ=1200.

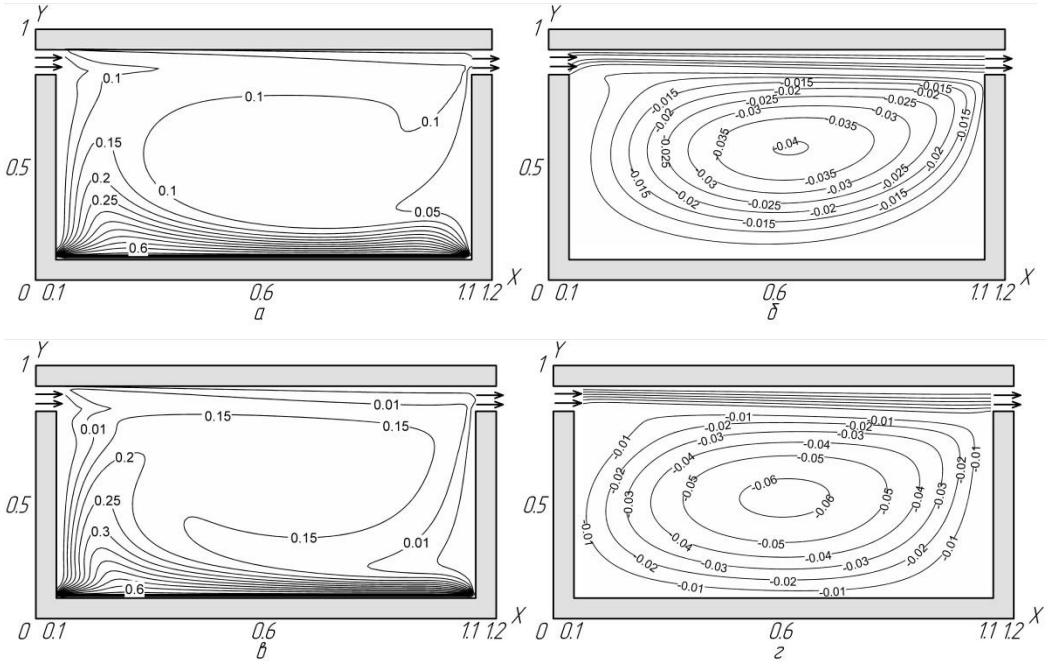


Рис.2. Изолинии температур (а,в) и функций тока (б,г) при:

$$а, б)\ \mathrm{Gr} = 10^5;\ в, г)\ \mathrm{Gr} = 10^6.$$

На основании анализа рисунка 2 можно сделать вывод, что наличие участков ввода и вывода воздушных масс приводит к смещении конвективного факела к левой стенке. С увеличением числа Грасгофа возрастает температура в газовой полости. Толщина прогретого слоя воздуха у границы y=0,06, 0,1<x<1,1 уменьшается, что обусловлено ростом подъёмной силы.

Заключение

Установлено, что при локальном подводе лучистой энергии к внутренней границе замкнутой прямоугольной области, заполненной газом и ограниченной твердыми теплопроводными стенками конечной толщины, при наличии участков ввода и вывода массы формируются существенно неоднородные поля температур и функций тока.

Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» №13.1339.2014/К (шифр Федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Roth K. Infrared radiant heaters // ASHRAE. – Journal. – June. – 2007.
2. Кузнецов Г.В., Куриленко Н.И., Максимов В.И., Мамонтов Г.Я., Нагорнова Т.А. Свободно – конвективный теплоперенос в отапливаемых с использованием газовых инфракрасных излучателей производственных помещений // Извести Высших Учебных Заведений: Проблемы энергетики. – 2013. – №1 – 2. – С. 18 – 25.
3. Романова Е. А. Энергосберегающие системы газового отопление и вентиляции // Новые технологии и изобретения.- 2005.- №2.- С. 19 – 23.
4. Кузнецов Г.В., Максимов В.И. Математическое моделирование смешанной конвекции в сопряженной постановке в прямоугольной области //Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 6. – С. 43–55.
5. Saedi S.M., Khodadadi J.M. Forced convection in a square cavity with inlet and outlet ports // International Journal of Heat and Mass Transfer – 2006. – Vol. 49. – Pp. 1896–1906.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ТРУБ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

Новгородцев А.А., Левин А.А., Литвиненко Н.Н.
Научные руководители: Любимова Л.Л., к.т.н., доцент; Ташлыков А.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: alex-Novgor@mail.ru

INVESTIGATION OF STRUCTURAL INSTABILITY SUPERHEATER TUBE

Novgorodcev A.A., Levin A.A., Litvinenko N.N
Supervisors: Lubimova L.L., Ph.D., associate professor; Tashlykov A.A., Ph.D., associate professor
Tomsk Polytechnic University, 634050, Lenina Avenue, 30, Tomsk, Russia
E-mail: alex-Novgor@mail.ru

Стали и сплавы – это термодинамически неустойчивая система твердых растворов, ускоренно распадающихся под воздействием нестационарных условий эксплуатации. Это обусловит изменение механических, физических и химических свойств материала и окажет существенное влияние на ресурс поверхности нагрева и поэтому изучение процесса распада представляет практический интерес.

Цель работы заключается в исследовании поведения твердых растворов на ранних стадиях их распада при термомеханических нагрузках.

Методика испытаний состояла в циклическом деформировании образца с применением гидравлического прессования. После каждого цикла нагружения давление повышалось и в точках по толщине стенки трубы (всего 9 точек) методом рентгенофлуоресцентного анализа с применением спектрометра EDX-2800 определялось содержание легирующих элементов (точность измерений – 0,0001 % от S до U).

Химический состав стали 08Х18Н10Т представлен в табл. 1. Отдельные результаты спектрального анализа после циклического деформирования иллюстрируются на рис. 1, 2.

Таблица 1

Химический состав стали 08Х18Н10Т

Состав	Массовая доля элементов, %										
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Ti	Cu	Mo	W
Данные сертификата	0,016	1,73	0,53	0,003	0,012	17,74	9,58	0,20	0,08	0,22	-

Из рис. 1,2 следует, что при циклических нагружениях наблюдаются возвратно-поступательные диффузионные потоки примесей (дефектов) из твердого раствора в межзеренные границы (МЗГ). При этом границы движутся навстречу диффузионному потоку (эффект Киркендала). Это приводит к генерации дефектов в кристаллической решетке a (рис. 3) [1], изменению ее объема V: $\Delta a/a = (V \cdot n)/3V_0$ (V_0 – атомный объем бездефектной ячейки; V– измененный объем; n – атомная доля дефектов), что обусловит возникновение концентрационных неоднородностей и пульсирующих внутренних структурных напряжений I рода (зональных): $\sigma_I = (\Delta a/a) \cdot E$ (E – модуль нормальной упругости материала). Циклическая диффузия атомов в межзеренных границах и знакопеременные неоднородные напряжения σ_I явятся причиной развития явлений усталости и разрушения поверхности нагрева.

Исследования показывают [2], что исходный пересыщенный твердый раствор α_0 распадается с образованием пластинчатой двухфазной микроструктуры, состоящей из обедненного твердого раствора α

и фазы выделения β : $\alpha_0 \rightarrow \alpha + \beta$. При последующем скачкообразном прерывистом растворении выделившейся фазы $\alpha + \beta \rightarrow a\sim$ происходит скачкообразная миграция границ. Фронт реакции движется обратно (рис. 4, 5). При этом, как следует из рис. 5, позади движущегося фронта реакции наблюдаются остаточные концентрационные флуктуации – атомный след на месте исчезнувшей микроструктуры.

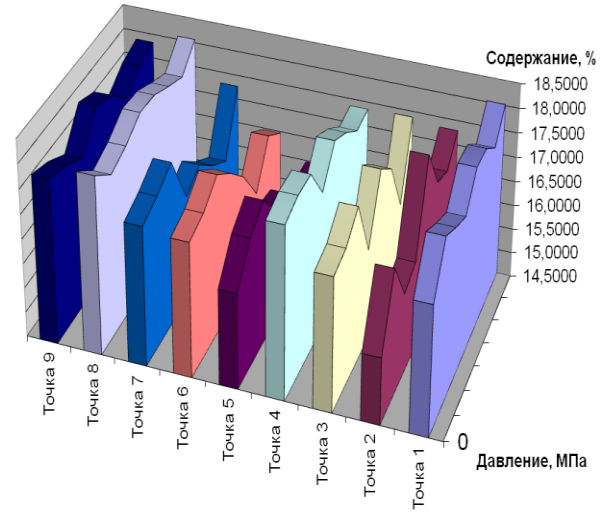


Рис. 1. Перераспределение хрома в стали 08Х18Н10Т при циклическом деформировании

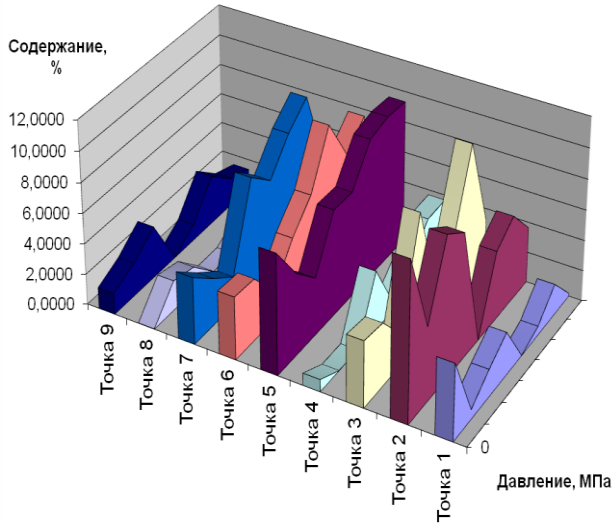


Рис. 2. Перераспределение никеля в стали 08Х18Н10Т при циклическом деформировании

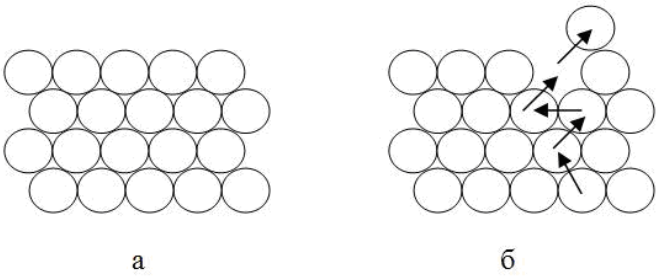


Рис. 3. Схема вакансионного перемещения внедренных атомов:
а – исходный участок атомной плоскости; б – образование и миграция вакансии

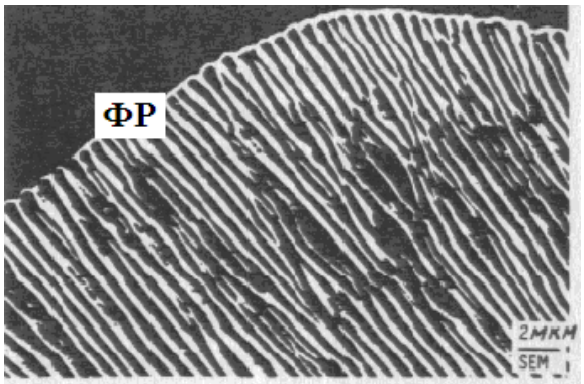


Рис. 4. Микрофотография реакции прерывистого выделения: ФР – фронт реакции [2]

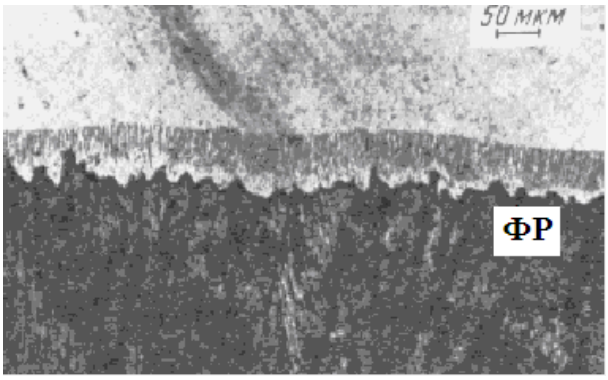


Рис. 5. Микрофотография реакции прерывистого растворения: ФР – фронт реакции [2]

Таким образом, вследствие диффузионных процессов границы могут существовать более чем в одном фазовом состоянии и в них возможны такие же фазовые переходы, как в объеме.

Анализ микротвердости образца показывает, что в структуре стенки трубы существует некая

приповерхностная зона, пересыщенная дефектами, в пределах которой наблюдается повышенная микротвердость. По микротвердости можно оценить ширину диффузионной зоны. Известно, что твердость чистых металлов ниже, чем твердых растворов. Следовательно, измеряя микротвердость, можно получить ее зависимость от концентрации диффундирующего компонента по всей длине диффузионной зоны, в которой твердость образца будет падать от поверхности пока не достигнет постоянной величины, соответствующей твердости чистого основного металла [3]. Как следует из рис. 6, ширина этой зоны составляет порядка 200…300 мкм.

Циклический нагрев образца до 500 ºС (рис. 7) привел к временному вырождению этой зоны и выравниванию концентраций по ширине стенки. Однако постоянно протекающий распад твердых растворов (естественное и искусственное старение), неоднородные внутренние напряжения, которые, кроме градиентов концентраций, также являются движущей силой процесса диффузии, приведут к циклическим изменениям свойств приповерхностного слоя, «расшатывая» структуру и постепенно распространяясь по толщине стенки трубы.

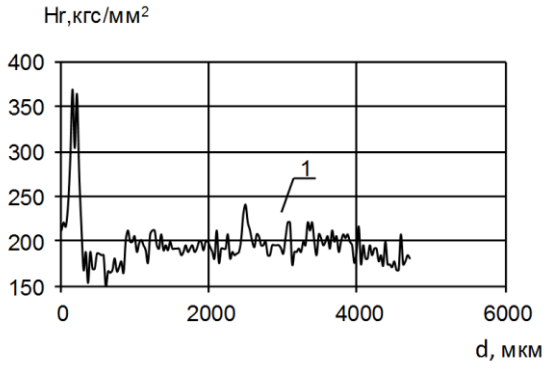


Рис. 6. Изменения микротвердости по толщине стенки трубы, начиная с наружной поверхности

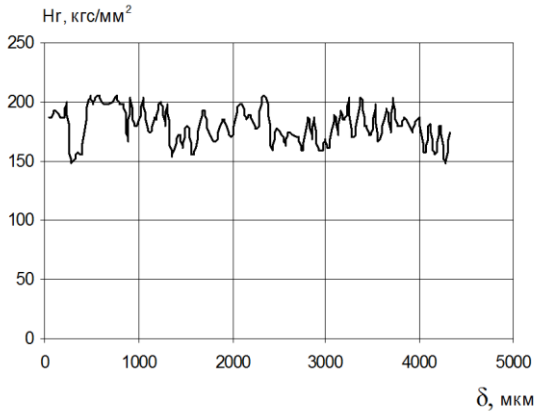


Рис. 7. Изменения микротвёрдости по толщине стенки трубы после нагрева до 500°С

Заключение

Представленные результаты могут быть применены при анализе усталостных разрушений поверхностей нагрева при циклических механических и термических нагрузках, а экспериментальные факты диффузионного перераспределения примесей могут быть положены в основу гипотезы о диффузионной природе термомеханической усталости.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-99544а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки.– М.: Металлургия, 1990 .– 336 с.

2. Каур И, Густ В. Диффузия по границам зерен и фаз/ Пер с англ. Б.В. Страумала; Под ред. Л.С. Швиндлермала.– М.: Машиностроение, 1991.– 448 с.

3. Ермаков С.С. Физика металлов и дефекты кристаллического строения.– Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1989.– 272 с.

МЕТОДИКА ВЫБОРА МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА АМБОН

Нунумете Р.А.
Научный руководитель: Обухов С.Г. д.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ricardo.nunumete@yahoo.com

SITE SELECTION METHOD OF SOLAR POWER PLANT, FOR EXAMPLE AMBON ISLAND

Nunumete R.A.
Scientific Supervisor: Dr. Obuhov, S.G.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: ricardo.nunumete@yahoo.com

ABSTRACT

The article present analysis result of the best possible location for solar power plant. The result was obtain by providing a new selection method that includes multicriterion selection, graphical observe and techno-economic factor. The criterions are, availability of solar radiation, availability of vacant land, accessibility from national highways/road, distance from existing transmission line, variation of local climate, topography of site and geotechnical political issues. Google Earth and ArcGIS programs were used for the graphical observing. The result shows possible site selections with advantages in power production potential as well as low project expenses.

1. Введение

Ярко выраженная зависимость современной энергетики от традиционных углеводородных энергоносителей, вызывает необходимость поиска и совершенствования новых и возобновляемых источников энергии. Благодаря своей доступности, предсказуемости и достаточно высокой стабильности, солнечная энергия является одним из самых востребованных возобновляемых источников энергии. В последние годы в мире наблюдается стремительный рост установленной мощности фотоэлектрических систем: они используются в качестве источников питания как мелких автономных объектов (солнечные фонари, маяки, навигационная аппаратура и т.д), так и в составе крупных солнечных электростанций, включенных в энергосистему. Многие страны инвестируют в солнечную энергетику значительные финансовые средства, реализуя принципы экологически чистой энергетической политики. Например, Индонезия планирует нарастить мощности солнечной энергетики к 2025 году до 0.87 ГВт, что составит 5% в ее общем энергетическом балансе [1]. Одним из важнейших аспектов реализации данной политики является выявление лучших географических мест для размещения солнечных электростанций (СЭС).

Средний потенциал солнечных энергоресурсов Индонезии составляет 4,5 кВтч/м^2/день с головой продолжительностью до 2000 солнечных часов [2]. До 2014 года в Индонезии построено несколько малых и больших СЭС, которые расположены в разных районах страны [3]. Исследуемая территория острова Амбон «-3° 38' 17" ю.ш., 128° 7' 2" в.д.» расположена в восточной части Индонезии недалеко от столицы Молуккской провинции.

Основными задачами данной работы являются:

1) выявление критериев, определяющих выбор оптимального местоположения СЭС,

2) разработка методики выбора оптимального местоположения СЭС,

3) разработка рекомендаций по проектированию СЭС.

2. Выявление и описание критериев

На основании предварительных исследований был сформирован набор критериев, влияющих на эффективность эксплуатации и финансовую стоимость проекта внедрения СЭС. Основным критерием является величина солнечной инсоляции «кВтч/м^2/день» в предполагаемом месте размещения СЭС. Дополнительными важными критериями, которые необходимо учитывать при реализации проекта строительства СЭС, являются: наличие свободных земель для размещения фотоэлектрических модулей, доступность и расстояние от национальной дороги, расстояние от существующих линий электропередач. Данные факторы во многом определяют финансовую стоимость проекта.

Кроме того, необходим учет как климатических, так и географических условий района размещения СЭС. Солнечные панели эффективно работают в диапазоне температур от 25^{0}С до 45^{0}С, однако возможна их деградация и снижение эффективности преобразования энергии из-за высокой скорости ветра, экстремальных температур, запыления и затенения. Необходимость ориентации солнечных панелей на юг определяет предпочтительные географические и геологические особенности местности. Часто приходится учитывать и политические аспекты, например, близость военных и исторических зон.

На рисунке 1 представлена карта острова Амбон, объединяющая 3 из обозначенных выше критериев.

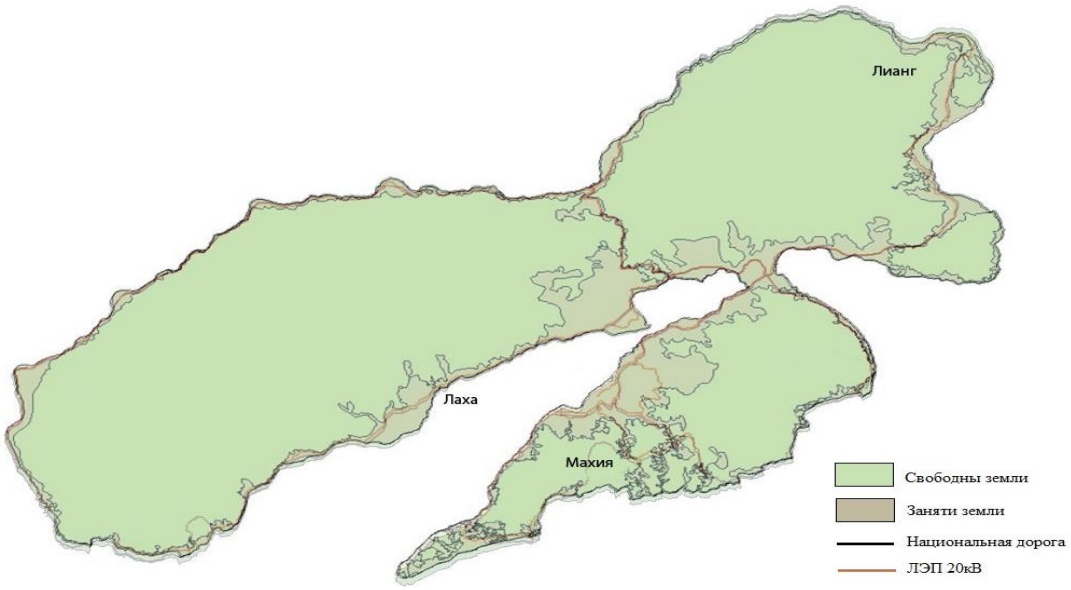


Рис. 1. Карта острова Амбон с тремя критериями выбора СЭС

Предлагаемая методика выбора оптимального местоположения СЭС предполагает сравнение возможных вариантов по универсальному показателю – общим финансовым затратам $З$, к размерности которого приводятся все критерии оценки. На сегодняшний день предлагаемая методика позволяет проводить анализ по 4 критериям: G - потенциальный доход от использования свободных земель, руб (рассчитывается как потенциальный дневной энергетический доход $G_{СЗ}$, умноженный на число дней практического использования СЭС в год n); $З_{СЗ}$ – затраты на освоение свободных земель при строительстве СЭС; $З_{ЛЭП}$ – затраты на строительство линий электропередач; $З_{ТР}$ – транспортные

расходы.

Для определения общих финансовых затрат используется уравнение (1):

$$З = G_{СЗ} \cdot n - З_{СЗ} + З_{ЛЭП} + З_{ТР} \quad (1)$$

Для апробации предлагаемой методики были рассмотрены 3 варианта возможного размещения СЭС, результаты сравнения представлены в табл.1

Таблица 1

Результаты сравнения возможных мест расположения СЭС

Местоположение	$G_{СЗ}$, кВт·ч/день	$З_{СЗ}$, руб.	$З_{ЛЭП}$, руб.	$З_{ТР}$, руб.	$З$, руб.
Лаха	26 531	1 704 892	29 600	3 596	1 711 557
Махия	25 296	1 625 544	7 400	998	1 608 645
Лианг	29 616	1 903 106	51 800	4 021	1 929 312

Из полученных результатов видно, что самым перспективным местом размещения СЭС является населенный пункт Махия, имеющий удачное расположение с точки зрения близости ЛЭП и автомобильных дорог. И хотя средние значения солнечной инсоляции в н.п. Махия ниже, чем Лианге, общие затраты на строительство СЭС будут ниже. Климатические условия и топографические особенности местности не оказывают существенного влияния на работу СЭС, так как остров расположен вблизи экватора, и фотоэлектрические панели можно располагать под нулевым углом к горизонту. При анализе выбора возможных мест расположения СЭС использовался сервис «Google-карты», который построен с учетом координат военных зон и исторических мест.

3. Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что предлагаемая методика позволяет произвести выбор рационального месторасположения СЭС, и соответственно, она может быть использована при проектировании солнечных электростанций на территориях, сходных с островом Амбон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. https://teknologisurya.wordpress.com/tag/energi-surya/
2. http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?artikel&1101865152&8
3. http://alamendah.org/2014/12/08/pembangkit-listrik-tenaga-surya-di-indonesia/
4. Нунумете Р.А. Прогноз потенциала солнечного излучения территории острова Амбон (Индонезия) // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – Н. 154. - № 14. – С. 52-57.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА И ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОЙ РЕЗИНЫ

Ожанов М.А.
Научный руководитель: Богданов Е.П., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ozhanov_maksat@mail.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF CABLES WITH INSULATION OF CROSS-LINKED POLYETHYLENE AND ETHYLENE-RUBBER

Ozhanov M.A.
Research Manager: Ph.D. Bogdanov E.P.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050
E-mail: ozhanov_maksat@mail.ru

Considered a comparative analysis of cables with XLPE and EPR rubber. It analyzes each insulation with prospects. The estimation of the application of the insulating material. Comparison of selected insulation with paper insulation, the advantages and disadvantages compared to these types of insulation.

Рассмотрен сравнительный анализ кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины. Проанализирована каждая изоляция с перспективами использования. Дана оценка области применения изоляционного материала. Произведено сравнение выбранных изоляций с бумажной изоляцией, указаны преимущества и недостатки в сравнении с этими видами изоляции.

Мировой опыт развития современной экономики говорит о том, что сегодня средства связи, транспорта и энергоснабжения являются стратегически важной продукцией. Кабельно-проводниковые изделия прямо или косвенно используются во всех сферах человеческой деятельности.

Актуальность выбранной работы обусловлена важнейшим значением кабельной продукции для любого государства и значительными изменениями на рынке кабельной продукции в мире.

Цель работы – сравнительный анализ кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины. Данная цель обусловила необходимость решения следующих задач: 1) анализ кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена; 2) анализ кабелей с изоляцией из этиленпропиленовой резины; 3) общая и сравнительная характеристика двух видов кабелей.

Полиэтилен обладает отличными диэлектрическими свойствами, именно поэтому он широко используется для изготовления электрозащиты в виде трансформаторных прокладок и кабельной изоляции. Особенно преуспел в этой области «сшитый» полиэтилен PEX (в ТУ на изготовление кабеля обозначается СПЭ), имеющий уникальные прочностные, термо- и электроизоляционные характеристики. На данный момент кабели из сшитого полиэтилена считаются одними из самых надежных, удобных в использовании и долговечных.

Изначальное полиэтиленовое сырье – полимер углеводорода этилена, называемый «полиэтиленом», имеет линейную структуру молекул. Он является неплохим диэлектриком, но неизменно теряет свои свойства при нагревании до температуры плавления +80 ÷ +110 ^{0}C. Подвергаясь процессу «сшивки», то есть модификации на молекулярном уровне, полиэтилен приобретает трехмерную сетчатую структуру (поперечно-сшитую) с появлением боковых межмолекулярных связей. Такое изменение придает ему большую эластичность и повышение прочности на разрыв, а также значительное

улучшение изоляционных свойств и стойкости к очень высоким температурам [1]. Молекулярное состояние перехода полиэтилена показано на рисунках 1,2,3.

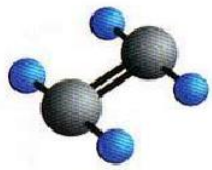


Рис. 1. Молекула этилена состоит из двух групп, включающих атом углерода и два атома водорода

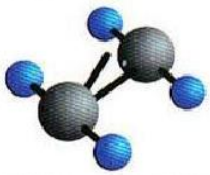


Рис. 2. За счет подвода энергии одна из связей между атомами углерода разрывается

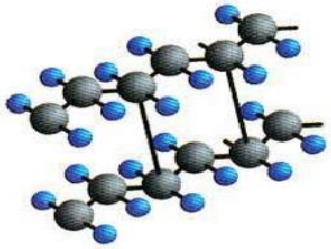


Рис. 3. Сшивка полиэтилена – образования дополнительных поперечных связей между молекулами

На сегодняшний день происходит активное развитие изоляционных материалов для кабельной промышленности, которое дает возможность предлагать новые конструкции кабеля. Развитие происходит не только в группе полиэтиленовой изоляции, но и в традиционной для кабельной промышленности – резиновой. На сегодняшний день были разработаны новые материалы, отвечающие требованиям современной кабельной промышленности: этиленпропиленовая (ЭПР) и кремнийорганическая резины. Для изготовления изоляции применяют резины типа РТЭПИ и РШН повышенной теплостойкости на основе этиленпропиленовых каучуков для изоляции токопроводящих жил по ТУ16К71.098-90, предназначеных для изолирования кабелей до 35 кВ и наложения негорючих масло-бензостойких оболочек [2, 5]. Изменение прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве в процессе термического старения резин должно соответствовать нормам, указанным в таблице 1. В таблице 2 показаны сравнительные характеристики кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, этиленпропиленовой резины. Для контраста были включены характеристики кабеля с бумажной пропитанной изоляцией (БПИ).

Таблица 1

Показатели старения

Тип резины	Режим старения		Показатели старения	
	Температура, °С	Продолжительность, ч	Снижение прочности при растяжении, %, не более	Снижение относительного удлинения при разрыве, %, не более
РТЭПИ-1	125	168	50	60
РШН-1	100	72	20	35

Таблица 2

Сравнение характеристик кабелей с ЭПР, СПЭ и БПИ изоляцией

Характеристики	Кабель с ЭПР изоляцией	Кабель с СПЭ изоляцией	Кабель с БПИ изоляцией	Комментарии
1	2	3	4	5
Температура жилы при работе в номинальном режиме, °С	90 (до 105)	90	70	При использовании одинаковых сечений токовая нагрузка кабелей с ЭПР изоляцией выше
Температура жилы при перегрузке, °С	105÷110 (до 140)	105÷110	90	–
Температура жилы при коротком замыкании (до 5 с), °С	250 (до 300)	250	200	–
Минимальная температура прокладки без предварительного прогрева, °С	–15 (до –40)	–15	0	–
Температурный диапазон эксплуатации, °С	От –60 до +50	От –50 до +50	От –50 до +50	–
Радиусы изгибов	От 4 Dн	15 Dн	25 Dн	Высокая гибкость упрощает монтаж кабельных линий
Применение во взрывоопасных зонах	Да	Нет (п.7.3.102 ПУЭ)	Да	–

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины обладают по сравнению с устаревшим БПИ кабелем низким весом, малым диаметром и, вследствие этого, легкостью прокладки, как в кабельных сооружениях, так и в земле на сложных трассах. Особенностью кабеля с ЭПР изоляцией является то, что он используется в установках с погруженным электрооборудованием и во взрывоопасной зоне (в отличие от кабеля из сшитого полиэтилена). В остальных случаях кабель из сшитого полиэтилена не уступает и является авангардом кабельной промышленности.

Вывод: сравнительный анализ двух видов кабелей с разной изоляцией показал, что каждый тип имеет свои преимущества и недостатки. Их применение зависит от конкретных условий эксплуатации.

Работа проводится в соответствии с договором о сотрудничестве между Национальным исследовательским Томским политехническим университетом и ЗАО «Томсккабель» (г. Томск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Все про полиэтилен [Электронный ресурс]. – URL: http://propolyethylene.ru/shitiy/kabeli.html. – .05.2015

2. Основы кабельной техники: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Леонов [и др.]. – М.: Академия, 2006. – 347 с.

3. Раувендаль К. Экструзия полимеров. – СПб.: Профессия, 2008. – 786 с.

4. Кабели с изоляцией из этиленпропиленовой резины // Мир современных материалов [Электронный ресурс]. – М., 2014. – URL: http://worldofmaterials.ru/spravochnik/primenenie/28-silovye-kabeli/65-kabelis-izolyatsiej-iz-etilenpropilenovoj-reziny. - 1.04.2015.

5. Кабель для взрывоопасных зон // Энергетика и промышленность России. – 2013. – № 13–14. – С. 225–226.

6. Нурмухаметова А.Н. Резины на основе этиленпропиленового каучука, наполненные минеральными наполнителями на основе шунгита: автореф. дис. … канд. техн. наук. – Казань, 2012. – 20 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТЕКАНИЯ КАПЛИ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ НА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Орлова Е.Г., Феоктистов Д.В., Батищева К.А.
Научный руководитель: Кузнецов Г.В., профессор, д. ф.- м. н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: enja1991@rambler.ru

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DISTILLED WATER DROP SPREADING PROCESS ON STAINLESS STEEL

Orlova E.G., Feoktistov D.V., Batishcheva K.A.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Kuznetsov G.V.
634050, National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: enja1991@rambler.ru

Abstract. Experimental results analyses of macro contact angle change from the drop growth rate of distilled water on stainless steel substrates. The value of contact angle is found to depend on the drop growth rate (m): contact angle decreases at m up to 0.02ml/s and increases at m more than 0.02ml/s. At the final stage of spreading the pinning mode of contact line occurs, depending on the drop growth rate and surface roughness.

Теоретические, экспериментальные исследования и моделирование фундаментальных закономерностей процессов тепло - и массопереноса в многофазных системах чрезвычайно важны для оптимизации современных технологий в энергетике. В химической, пищевой, сельскохозяйственной и других отраслях технологиям орошения уделяется все больше внимания [1-3] по причине возможного увеличения эффективности технологических процессов за счет использования капельных систем.

Известно [4-5], что процесс растекания капли по поверхности зависит от микроструктуры последней, а также от свойств жидкости. Практически отсутствуют результаты экспериментальных исследований по определению влияния скорости образования капли на процесс растекания.

Целью работы является экспериментальное определение зависимости макрокраевого угла от скорости образования капли на микроструктурированной поверхности подложки из нержавеющей стали.

Экспериментальные исследования проведены с использованием теневого и Шлирен оптических методов на установке, принципиальная схема которой представлена на рисунке 1 [6-7]. Для реализации оптического теневого метода источник света 1, матовое стекло 2, щит с отверстием 3 и коллимирующая линза 4 использованы для получения пучка плоскопараллельного света, освещающего каплю на подложке 5. Конденсирующая линза 6 и объектив камеры 8 применялись для проецирования изображения на сенсор камеры. Для реализации Шлирен метода источник некогерентного света 17, матовое стекло 16 и конденсирующий фильтр 15 использовались для получения светового потока со ступенчатым уменьшением интенсивности по пространству. Пучок света от источника 17 проходил через коллимирующую линзу 14, которая преобразовала его в плоскопараллельный. Далее он отражался от делителя пучка 13, направлялся на подложку 5 и к линзе 12, фокусировался на фильтре 11 и при помощи объектива проецировался на сенсор камеры 10.

Шприцевым насосом 9 капля жидкости выдавливалась с нижней стороны подложки 5 через отверстие диаметром 2 мм. В процессе проведения эксперимента контролировался расход (от 0,005 мл/с до 0,16 мл/с) дистиллированной воды.

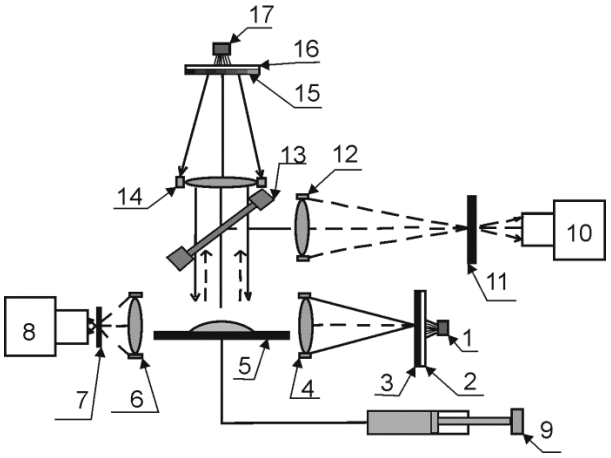


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1, 17 – источник света; 2, 16 – матовое стекло; 3, 7, 11 – щит с отверстием; 4, 14 – коллимирующая линза; 5 – подложка; 6, 12 – конденсирующая линза; 8, 10 – высокоскоростные камеры; 9 – шприцевый насос; 13 – делитель пучка; 15 – кодирующий фильтр.

В экспериментах использовались три подложки из нержавеющей стали с различной шероховатостью *Ra*=1.5; 1,554; 4.59.

Известно [8] условие смачивания жидкостью материала – $90°>\theta>0°$, увеличение степени шероховатости вызывает уменьшение макрокраевого угла. В отсутствии смачивая $\theta>90°$, увеличение шероховатости приводит к увеличению макрокраевого угла.

Уравнение Венцеля-Дерягина [8] не учитывает структуру расположения выступов и канавок, образующих шероховатость, а также скорость образования капли. Авторы [8] полагают, что расчет макрокраевых углов с использованием термодинамического уравнения возможен только в том случае, если шероховатость поверхности образована параллельно расположенными канавками. При хаотичном расположении последних значения макрокраевых углов могут не согласовываться с выводами, полученными на основе термодинамического анализа [8]. К настоящему времени отсутствуют экспериментальные данные по анализу влияния микроструктуры (расположение канавок на поверхности) при различной скорости образования капли на макрокраевой угол.

По результатам экспериментов (таблица 1) установлено, что скорость образования капли на поверхностях образцов влияет на краевой угол. Он уменьшается с увеличением расхода (скорости образования капли), достигая минимального значения при m=0.02 мл/с. При значениях расхода свыше 0.02мл/с установлено его увеличение. Стоит отметить, что такая зависимость получена для поверхностей с шероховатостью, образованной как продольно, так и хаотично расположенными канавками.

Таблица 1.

Макрокраевые углы смачивания

Подложка	Расход дистиллированной воды (скорость образования капли), мл/с					
	0,005	0,010	0,020	0,040	0,080	0,160
Образец №1 (*Ra* 1,500 мкм)	78°	77°	76°	80°	81°	82°
Образец №2 (*Ra* 1,554 мкм)	89°	84°	83°	91°	93°	94°
Образец №3 (*Ra* 4,590 мкм)	97°	95°	83°	84°	85°	89°

По результатам анализа значений θ (таблица 1) установлено, что при скорости образования

капли до 0,02 мл/с с увеличением степени шероховатости макрокраевой угол увеличивается. Меньшим скоростям образования капли соответствует большее значение краевого угла, а также его увеличение с повышением степени шероховатости.

Установлено, что при среднем арифметическом отклонении профиля *Ra*=4,590 мкм и скорости образования капли до 0,01 мл/с угол θ>90° – смачивание отсутствует. При повышении скорости образования капли до 0,02 мл/с θ изменяется в диапазоне 90°>θ>0° (жидкость смачивает поверхность).

При скоростях образования капли свыше 0,02 мл/с с увеличением степени шероховатости макрокраевой угол увеличивается. Стоит отметить, что наибольшие значения θ зафиксированы на подложке с *Ra*=1,554 мкм (шероховатость подложки сформирована хаотически расположенными канавками). Причем θ>90°, что характеризует отсутствие смачивания. На образце №3 при *Ra*=4,590 мкм значение угла изменяется в диапазоне 90°>θ>0° (жидкость смачивает поверхность).

По результатам анализа экспериментальных данных (таблица 1), полученных для образцов №2 и 3 (со средним арифметическим отклонением профиля 1,554 мкм и 4,590 мкм, соответственно) установлено, что при хаотичном расположении канавок, образующих шероховатость, выводы, сделанные на основе термодинамического анализа уравнения Венцеля-Дерягина, не согласуются с опытными данными. Наиболее вероятно это связано с тем, что на гидрофобные и гидрофильные свойства поверхности помимо шероховатости значительно влияет скорость образования капли.

Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» №13.1339.2014/К (шифр Федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мисюра С.Я., Накоряков В.Е., Елистратов С.Л. Особенности испарения капель воды на нагреваемой поверхности // Доклады Академии Наук. – 2013. – Т. 448. – № 3. – С. 293–296.
2. Bartashevich M.V., Marchuk I.V., Kabov O.A. Numerical simulation of natural convection in a sessile liquid droplet // Microgravity Science and Technology. – 2012. – V. 24 (1). – PP. 17–31.
3. Gatapova E. Ya., Semenov A. A., Zaitsev D. V., Kabov O. A. Evaporation of a sessile water drop on a heated surface with controlled wettability // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2014. – V. 441. – PP. 776–785.
4. Birdi K.S., Vu D.T., Winter A. A study of the evaporation rates of small water drops placed on a solid surface // The Journal of Physical Chemistry.– 1989. – V. 93(9). – PP.3702–3703.
5. Rowan S.M., Newton M.I., McHale G. Evaporation of microdroplets and the wetting of solid surfaces // The Journal of Physical Chemistry. – 1995. – V. 99. – PP.13268–13271.
6. Orlova E.G., Kuznetsov G.V., Feoktistov D.V. The evaporation of the water-sodium chlorides solution droplets on the heated substrate // EPJ Web of Conferences. – 2014. – V. 76. PP.1–8.
7. Batischeva K. A., Orlova E.G., Feoktistov D. V. Effect of surface temperature on spreading rate of liquid droplet // MATEC Web of Conferences. – 2014. – V. 19. PP.1–4.
8. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: Химия, 1976. 273 с.

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ГОРЕЛКАМ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Павлов С. А.
Научный руководитель: Долгих А.Ю. ст. преподаватель
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

ANALYSING THE REQUIREMENTS FOR ASSOCIATED PETROLEUM GAS BURNERS

Pavlov S. A.
Supervisors: A. Yu. Dolgih senior lecturer
National research Tomsk Polytechnic University,
Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050
E-mail: Shurad@tpu.ru

Associated petroleum gas utilization is oil-producing countries urgent problem. Associated gas flaring as a boiler fuel is one of the possible solutions to this problem. Reason for flameless infrared burner usage is presented. Practical tests and numerical simulation results with different types of fuel are presented. There results show the proposed technical solution efficiency.

Утилизация попутного нефтяного газа (ПНГ) – жизненно важная проблема всех стран современного мира добывающих нефть в крупных и особо крупных объемах. Самый доступный и наименее затратный выход из данной ситуации сжигания ПНГ в факелах на месте в районах нефтедобычи, но это многомиллиардные потери (в долларах США) ценного углеводородного сырья и огромная негативная нагрузка на окружающей среде в масштабах всей нашей голубой планеты. Годовые объёмы сжигания ПНГ в факелах в Европе и Центральной Азии превышают 60 миллиардов кубометров, что составляет до трети от объёмов потребления газа в Евросоюзе. Прямая утилизация такого масштаба влечет за собой выброс в атмосферу примерно 120 миллионов тонн диоксида углерода, что в свою очередь эквивалентно воздействию на окружающую среду от эксплуатации около 70 миллионов автомобилей[1].

В нашей стране вышеозначенная проблема усугубляется целым рядом исторически сложившихся особенностей: большая удаленность районов нефтедобычи от промышленных и нефтеперерабатывающих мощностей (центров), отсутствие развитой инфраструктуры, несовершенством нормативной базы и рынка газа. и др., которые не позволяют решить ее простыми, быстрыми и мало затратными способами. Однако следует особо отметить, что в современной политической и экономической ситуации для России прямое факельное сжигание ПНГ это прямые потери ценного углеводородного сырья, следовательно, упущенные выгоды государства, связанные с использованием (переработкой) ценного газо-химического продукта.

Одним из путей решения данной проблемы предлагается использование ПНГ в качестве котельного топлива для получения тепловой энергии и/или электрической энергии в газо-поршневых и газотурбинных установках. Для удовлетворения в первую очередь собственных нужд персонала и снижения затрат на обслуживание основного и вспомогательного оборудования, непосредственно в районах добычи, вахтовых поселках и т.д.

Существенным препятствием на данном пути является сложный и недородный как по времени, так и по различным месторождениям состав ПНГ. Наличие в составе газа влаги, жидких и тяжелых углеводородов, а также твердых и агрессивных примесей препятствует устойчивой и бесперебойной работе существующих серийных газоиспользующих горелочных устройств. Периодически происходит

залив и закоксование (битуминизация) горелок, наблюдается пульсация факела. Это приводит к нестабильной работе, снижению КПД топливосжигающих установок и попаданию загрязняющих веществ в окружающую среду [2].

Массовому использованию ПНГ в качестве топлива препятствует отсутствие отработанной технологии его подготовки для сжигания, в частности вопросы предгорелочной подготовки газа в которой должны быть предусмотрена операция фильтрации (очистки) от загрязняющих факторов.

В качестве альтернативы существующим промышленным серийным образцам предлагается для использования беспламенное инфракрасное горелочное устройство, конструкция которого приводится на рисунке 1 и в [3-5].

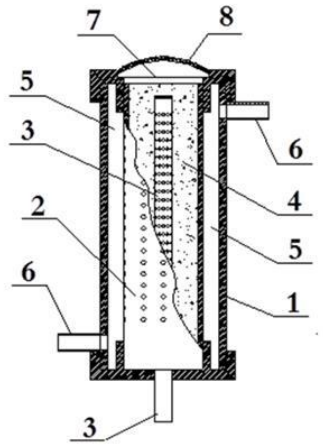


Рис.1. Конструктивная схема проектируемого горелочного устройства

1 – корпус; 2 – перфорированный цилиндр; 3 – топливный инжектор;4 – пористая засыпка (рабочая зона); 5 – воздушный коллектор; 6 – штуцеры воздухоподачи; 7 – выходное окно; 8 – сетчатый насадок-излучатель.

Основная конструктивная часть горелочного устройства представляет собой объем 4 заполненный (засыпанный) неметаллическим, огнеупорным пористым наполнителем – рабочая зона. Таким образом, в конструкции горелки существует возможность совмещать два процесса технологии сжигания. Подготовительный процесс, в два этапа – первый, фильтрации (очистки) газа от посторонних примесей, второй смешивание (получение) газо-воздушной смеси за счет подвода воздуха. Основной процесс – зажигание и горение топливно-воздушной смеси в рассматриваемом объеме конструкции, за счет чего на выходе из горелки в топочный объем котла будет поступать высоко нагретый поток продуктов сгорания. Влага содержащееся в ПНГ в разогретом объеме рабочей зоны испаряется, при этом, предположительно, часть ее за счет высоких температур будет разлагается на водород и кислород, которые в свою очередь будут участвовать в проходящем процессе горения в качестве дополнительного топлива и окислителя. Тяжелые углеводороды, задерживаясь в пористой структуре наполнителя, получать дополнительное время на разложение в более простые соединения под интенсивным воздействием высокотемпературной атмосферы в зоне протекания основного процесса. Твердые и агрессивные примеси из состава НПГ будут отфильтровываться, частью сгорать, частью оставаться в активной зоне. При этом возможно в процессе эксплуатации горелки в реальных условиях будет наблюдаться процесс загрязнения («отравления») устройства, что свою очередь потребует проведение очистки по составленному на основе практических знаний временному графику.

Были проведены практические испытания предлагаемого к использованию горелочного устройства при сжигании образцов жидких топлив. Результаты проведенных испытаний представлены в [3-5], там же приводится описание используемого для опытов экспериментального стенда. Наряду с физическим моделированием, проверкой работоспособности предложенного решения, согласно современным тенденциям проектирования энергетических агрегатов [6] на этапе конструирования является численное моделирование [7], которое позволяет спрогнозировать работу горелки в топке котла с разной задействованной мощностью и различных видах топлива, тип и состав которых задается в исходных данных для моделирования. Компьютерное моделирование с помощью современных программных продуктов позволяет на ранних этапах работы выявить элементы конструкции, требующие доработки, отработать параметры практических испытаний.

Результаты проведенных практических испытаний, а также численное моделирование на различных видах топлив показывают работоспособность предлагаемого технического решения по использованию для сжигания ПНГ беспламенного инфракрасного горелочного устройства [3-7]. Однако, следует отметить следующий важный момент, принятие решения о пригодности к применению сложного технического устройства, не смотря на все проведённые эксперименты следует делать на основе опытного сжигания в условиях максимально приближенных к реальности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Активизация решений проблемы сжигания попутного газа в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Worldbank.org. 2013. http://www.worldbank.org/ru/news/feature/2013/11/12/ igniting-solutions-to-gas-flaring-in-russia – 15.03.2015.

2. Ильина М. Н. Подготовка попутного нефтяного газа к сжиганию в условиях автономного энергообеспечения нефтепромыслов: Автореф. дис…канд. техн. наук – Красноярск,2009. – 22 с.

3. Долгов С.В., Долгих А.Ю., Макеев А.А. Испытания горелочного устройства инфракрасного излучения беспламенного горения // Сборник научных трудов III всероссийской конференции с международным участием «Теплофизические основы энергетических технологий». – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. - С. 150-154.

4. Долгов С.В., Заворин А.С., Долгих А.Ю., Субботин А. Н. Испытания горелочного устройства беспламенного горения и инфракрасного излучения // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. - Т. 322. - № 4. - С. 39-42.

5. Долгов С.В., Заворин А.С., Долгих А.Ю., Фисенко Р.Н. Аэродинамические испытания горелочного устройства // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. -Т. 323. - № 4. С. 33-37.

6. Хаустов С. А., Заворин А. С. Современные тенденции проектирования жаротрубных котлов [Электронный ресурс] // Вестник науки Сибири. - 2014 - №. 2 (12). - С. 21-28. - Режим доступа: http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/988

7. Хаустов С. А., Заворин А. С. Численное исследование аэродинамики топочной среды в жаротрубном котле типа «Турботерм» // Промышленная энергетика. - 2014 - №. 1. - С. 11-14

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИНХРОННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Палухин Н.Е., Лобаненко Г.И.
Научный руководитель: Вайнштейн Р.А., профессор, д.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: paluhin.kolka@gmail.com

STUDY OF PHASE CONTROL FOR SYNCHRONOUS TRANSIENT STABILITY

Palukhin N.E., Lobanenko G.I.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Vaynshteyn R.A.
Language Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Tarasova E.S.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: paluhin_kolka@gmail.com

Abstract

Background: *During operation of power systems there is the problem of synchronic transient stability of generators for nearby and prolonged faults. Possible control actions to ensure dynamic stability are the following: electric braking, emergency regulation of turbine, partial generation-shedding. However these control actions cannot be applied in all cases. Therefore, in this paper we consider another possible kind of the control actions - the phase control. To apply phase control for the transient processes it is necessary to solve the tasks: dosage of impacts by value of the phase shift and the time of control activation/ removal.*

Materials and methods: *In the study we used the materials describing the technical means for the implementation of phase control and the publications of other authors. The impacts dosage in the form of phase control is modelled on the basis Mathcad and Mustang software package.*

Results: *It is shown that for the successful phase control which maintains synchronic transient stability a certain range of the phase shift and the time for activation and removal of the control action are required.*

Conclusions: *The phase control can be an effective tool for maintaining synchronic transient stability in some specific conditions. Further research of phase control should be directed to the development of its applications using specific hardware.*

Key words: *synchronic transient stability of a power system, phase control, control action adjustment.*

В настоящее время уделяется большое внимание вопросу динамической устойчивости (ДУ) генераторов электроэнергетических систем (ЭЭС). Это связано с тем, что во многих случаях при нормативных возмущениях [1] синхронная динамическая устойчивость (СДУ) генераторов электростанций (ЭС) нарушается. При этом имеется ввиду возмущение в виде близких коротких замыканий (КЗ) с отказом выключателя и действием устройства резервирования отказа выключателей (УРОВ). Поскольку ЭС, как правило, связаны с энергосистемой довольно сильными связями, то чаще всего после кратковременного асинхронного режима наступает ресинхронизация. Несмотря на это, желательно по возможности принимать меры для сохранения СДУ. Так как при асинхронном режиме электрический центр может оказаться расположенным близко к точкам подключения ответственных потребителей, и поэтому может произойти нарушение технологического процесса у этих потребителей.

Возможными способами для обеспечения СДУ являются: электрическое торможение, аварийное регулирование турбин и отключение части генераторов ЭС. [2]

Возможность использования электрического торможения ограничена, так как для его осуществления требуется дорогостоящие нестандартные технические средства. И, кроме этого,

применение электрического торможения может быть затруднено, если оно не было предусмотрено при компоновке оборудования на стадии проектирования.

Аварийное регулирование турбин и, в частности, импульсная разгрузка турбин в принципе применима на мощных тепловых ЭС, на которых регуляторы частоты вращения турбин могут быть оборудованы электрогидравлическими приставками для управления турбиной подачей электрических сигналов. На теплофикационных турбинах такая возможность не предусматривается.

Отключение части генераторов, особенно на тепловых электростанциях, очень нежелательно. Резкий сброс нагрузки вызывает увеличение частоты вращения турбины, при котором регулирующие клапаны почти полностью закрываются, что приводит к повышению давления в главном паропроводе. К тому же, для обратного включения генератора и набора нагрузки требуется достаточно большое время.

В последнее время имеется опыт применения для сохранения СДУ ускорения УРОВ по факту фиксации тяжести короткого замыкания. Время отключения КЗ за счет ускорения УРОВ может быть уменьшено не более чем на 0,2 секунды. Применение ускорения УРОВ, например, на Березовской ГРЭС позволило существенно повысить допустимую, из условия сохранения СДУ, мощность электростанции в доаварийном режиме [3]. Однако, полностью исключить необходимость отключения генераторов в некоторых тяжелых режимах при близких и затяжных КЗ не удается.

В связи с этим в данной работе рассматривается еще одна возможность для решения задачи обеспечения сохранения СДУ, а именно применение фазового управления. Использование фазового управления для установившихся режимов позволяет осуществить желаемое перераспределение потоков активной мощности по элементам сети. Известно так же предложение по использованию фазового управления для повышения уровня ДУ [4]. Применение фазового управления в настоящее время принципиально возможно также в связи с появлением быстродействующих фазоповоротных устройств (ФПУ) [5].

Как и при любом управляющем воздействии, при фазовом управлении требуется определенная дозировка воздействия. В данном случае параметром дозировки является фазовый угол, на который нужно изменить вектор напряжения в месте установки фазоповоротного устройства. Важным, также, является выбор момента времени изменения фазы после возникновения возмущения и момента времени возврата фазы к исходному значению.

Исследования выполнены аналитически для простой одномашинной схемы энергосистемы (рис. 1). Сопротивления всех элементов схемы приняты чисто реактивными. В доаварийном режиме вся вырабатываемая мощность в выделенной эквивалентной части энергосистемы передается в энергообъединение.

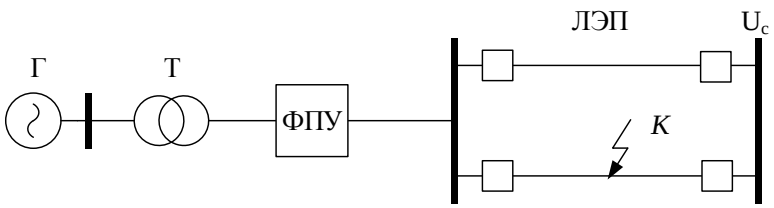


Рис. 1. Одномашинная схема энергосистемы

Как известно, относительное движение ротора генератора, в рамках принятых в модели

допущений, описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{ds}{dt} = \dfrac{1}{T_j} \cdot \left(P_{T*} - P_{Э*} \right) \\ \dfrac{d\delta}{dt} = \omega_{ном} \cdot s \end{cases}, \qquad (1)$$

где s – относительное скольжение ротора генератора;

δ – угол между векторами ЭДС генератора и напряжения системы;

P_{T*} и $P_{Э*}$ – мощность турбины и электромагнитная мощность генератора в относительных единицах.

Электромагнитная мощность генератора может быть представлена в виде двух составляющих:

$$P_{Э*} = P_{C*} + P_{aC*},$$

где P_{C*} – синхронная составляющая мощности, равная $P_{C*} = P_m \cdot \sin(\delta)$;

P_{aC*} – асинхронная составляющая мощности.

В силу малости скольжения, принимаем, что асинхронная мощность пропорциональна скольжению:

$$P_{aC*} = D \cdot s$$

В качестве расчётного возмущения принимается КЗ с последующим отключением поврежденной цепи линии действием релейной защиты. Так же принимается, что условие статической устойчивости в послеаварийном режиме сохраняется, а ДУ нарушается. Принятому характеру процесса соответствуют угловые характеристики мощности 1,2 и 3, представленные на рисунке 2.

Фазовое управление моделируется сдвигом угловой характеристики мощности генератора в послеаварийном режиме на определенный угол ($\delta_{упр}$).

$$P_*(\delta) = P_m \cdot \sin\left(\delta - \delta_{упр}\right),$$

На рисунке 2 поясняется принцип фазового управления для сохранения СДУ при угле $\delta_{упр} = 20^o$.

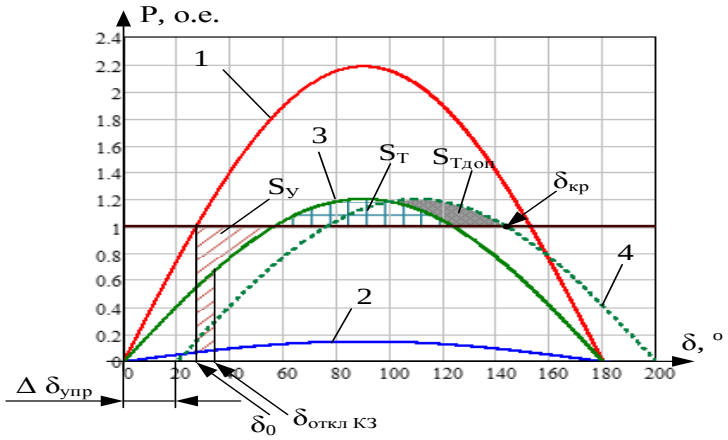


Рис. 2. Угловые характеристики мощности электропередачи

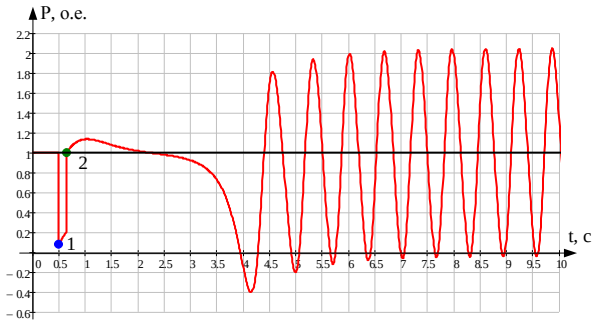
1 – доаварийного режима; 2 – аварийного режима; 3 – послеаварийного режима; 4 – послеаварийного режима с применением ФПУ

Как видно, за счёт фазового управления увеличивается площадка торможения.

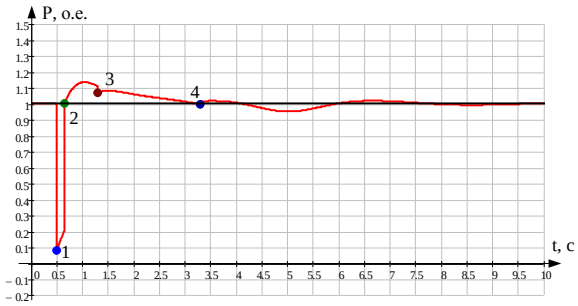
Зависимость электромагнитной мощности от времени, полученная путем решения системы уравнений (1) с учетом асинхронной мощности представлена на рисунке 3.

Задачу определения дозировки воздействия при фазовом управлении решим на основе сопоставления энергии ускорения и энергии торможения во время переходного процесса. Энергии определяем, как интеграл электромагнитной мощности по времени с учётом асинхронной составляющей.

Ниже на рисунках 3, 4 изображены зависимости мощности от времени с указанием характерных точек для двух случаев: с нарушением динамической устойчивости (без применения фазового управления); с сохранением синхронной динамической устойчивости (с применением фазового управления)



а



б

Рис. 3. Изменение электромагнитной мощности генератора от времени:
а – с нарушением СДУ без применения ФПУ;
б – с сохранением СДУ за счет фазового управления.

На графиках обозначено: точка 1 – момент возникновения КЗ; точка 2 – момент отключения КЗ действием релейной защиты; точка 3 – момент введения фазового управления; точка 4 – момент снятия фазового управления.

Задача дозировки управляющего воздействия по значению угла управления и времени ввода и снятия управления решается сопоставлением энергии ускорения и максимально возможной энергии торможения, которые определяются, соответственно, как интеграл электромагнитной мощности по времени. Энергия ускорения определяется за время существования КЗ, а энергия торможения

определяется как интеграл от момента отключения КЗ до момента достижения критического угла.

На рисунке 4 приведена зависимость отношения энергии торможения к энергии ускорения от угла управления при неизменных моментах времени ввода и снятия управляющего воздействия.

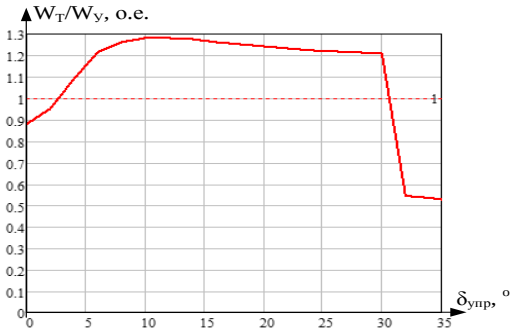


Рис. 4. Зависимость эффективности фазового управления от угла сдвига

Как видно, при принятых условиях, достигается сохранение СДУ при достаточно широком диапазоне изменения угла управления.

Вывод. Фазовое управление может быть достаточно эффективным средством для сохранения СДУ генераторов ЭС. При этом условие сохранения СДУ не критично к выбору значения угла управления в достаточно широком диапазоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Методическая указания по устойчивости энергосистем (утвержден приказом Минэнерго России от 30.09.2003 №277). – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 16 с.

2. Гуревич Ю. Е., Либова Л. Е., Окин А. А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.: ил.

3. Вагапов Н. Р. Управляющее воздействие «Ускорение УРОВ» и динамическая устойчивость Березовской ГРЭС // Релейная защита и автоматизация. Журн. 2014. №1(14). С. 26-29.

4. Чебан В. М., Ландман А. К., Фишов А. Г. Управление режимами электроэнергетических систем в аварийных ситуациях: Учеб. пособие для электроэнергет. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1990 – 144 с.: ил.

5. Асташев М. Г., Новиков М. А., Панфилов Д. И. Применение фазоповоротных устройств в активно-адаптивных электрических сетях. // Энергия единой сети. Журн. 2013. №5. С.70-77.

ПАРОГЕНЕРАТОРНАЯ УСТАНОВКА С ОБОРОТНЫМ ЦИКЛОНОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Пашковский Р.В. Бреус С.С.
Научные руководители: Артамонцев А.И., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: pomario92@mail.ru

STEAM GENERATING WITH REVOLVING CYCLONE COOLANT FOR AUTONOMUS POWER SUPPLY IN TRUNK PIPELINES

Pashkovskii R.V. Breus S.S
Supervisors: Artamoncev A.I., Ph.D., associate professor
Tomsk Polytechnic University, 634050, Lenina Avenue, 30, Tomsk, Russia
E-mail: pomario92@mail.ru

Природный газ – наиболее экологически чистый и экономически эффективный энергоноситель. Запасы которого, на территории нашей страны, занимают первое месте в мире.

Активная газификация регионов с использованием природного газа является большим достижением на территории Российском Федерации и составляет около 65%. Поставка такого газа осуществляется по средствам систем газопроводов и компрессорных станций. Газоперекачивающие станции (компрессорная станция) – неотъемлемая часть магистрального газопровода, комплекс сооружений и оборудования для повешения давления газа при его добычи, хранению и транспортировки от месторождения к потребителям. В свою очередь станции подразделяются на линейные, головные, подземного хранилища газа и нагнетательные, с обратной закачкой газа в пласт.

В состав газоперекачивающей станции входит газоперекачивающий агрегат (ГПА) в составе компрессорных цехов, системы очистки и воздушного охлаждения технологического газа. Работа компрессорной станции осуществляется обеспечением трубопроводами с запорно-регулирующей арматурой, система электроснабжения и другим вспомогательным оборудование.

Основной задачей ГПА является промышленная обработка и подготовка газа, т.е. повышение его давления с помощью компрессора, так называемый процесс «компримирования газа», для его транспортировки по трубопроводу. Агрегаты имеют высокие технико-экономические характеристики, что позволяет поддерживать высокий уровень мощностей. По исполнению ГПА бывают различных видов блочно-модульные и цеховые, компоновка которых определяется основными частями: нагнетатель, привод нагнетателя, всасывающие и выхлопные устройства, воздухо-очищающие устройства, укрытия и системы автоматики. Широкое применение для перекачивающего агрегата служит электродвигатель и газотурбинная установка. По типу нагнетателей ГПА бывают: поршневые или с центробежными нагнетателями; по типу привода: с газотурбинным, с электродвигателем или двигателем внутреннего сгорания. По своим характеристикам газотурбинная установка, в зависимости от исполнения, имеет, относительно, небольшие габариты и массу, что позволяет осуществлять доставку на объекты в готовом виде. Выбор компрессора имеет особое значение, так как важно учесть его индивидуальные особенности, условия работы и технические характеристики: тип привода, давление и температура на входе/выходе газа, объем перекачивающего газа, класс исполнения и др. Одним из немаловажных элементов конструкции является положение выхлопного устройства, которое регулирует поток выхлопных газов. Поворот выхлопных газов способствует уменьшению размеров устройства, что позволяет сделать более доступным обслуживание агрегата, к примеру, в экстремальных условиях

севера.

Как в процессе стройки магистрального газопровода, так и при его эксплуатации в газопроводе могут оставаться или образовываться различные примеси в виде шлама, воды масла и др., что значительно снижает показатели надежности и экономические показатели работы станции и газопровода. Для снижения загрязнения газа, перед входом в компрессорную станцию, необходимо провести очистку газа, для этого устанавливают систему очистки технологического газа. Такая система может состоять из различных пылеуловителей и фильтров. На компрессорной станции магистральных газопроводов последовательно в две ступени очистки применяются циклонные пылеуловители и фильтры-сепараторы. Циклонный пылеуловитель – основывается на принципе использования инерционных сил для улавливания взвешенных частиц (рисунок 1).

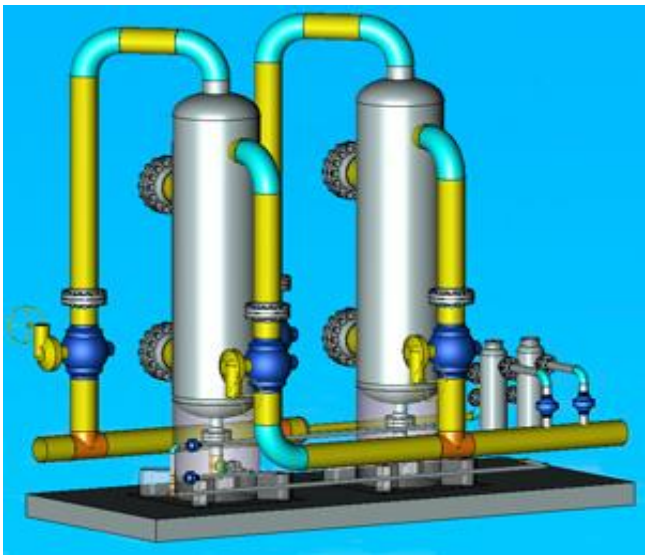


Рис. 1. Циклонный пылеуловитель

Эффективность степени очистки зависит от размера (мкм) примеси, и достигает для твердых веществ до 100 % и для капельной жидкости до 95 %, температуры рабочей среды и гидравлического сопротивления. Количество таких пылеуловителей определяется исходя из технических условий работы (максимально и минимальной производительности), чтобы при отключении из системы одного пылеуловителя, оставшиеся работали, не превышая своей максимальной производительности, и наоборот. Фильтр-сепаратор – вторая ступень очистки газа на головных и дожимных компрессорных станциях, применятся для окончательной очистки от жидкости и механических примесей, работающая под давлением природного газа. Условия работы которых прописываются в инструкциях по эксплуатации оборудования и проектной документации.

При повышении давления газа в ГПА увеличивается его температуру на выходе из компрессорной станции, что приводит недопустимым температурным напряжениям в стенки трубы и увеличением энергозатрат на транспортировку газа при увеличении его объема. Для того чтобы снизить температуру устанавливают системы воздушного охлаждения газа (рисунок 2). Такая система представлении большим количеством аппаратов воздушного охлаждения.



Рис. 2. Система охлаждения газа

Работа данного аппарата зависит от температуры наружного воздуха, в котором теплообменный аппарат через разделяющий теплоноситель (поверхность с оребренными трубами) передает температуру от горячего теплоносителя к холодному. По способу подачи подразделяются на нагнетательные и вытяжные, расположением вентилятора снизу или сверху соответственно, а по положению теплообменника на горизонтальные вертикальные, зигзагообразные и дельтообразные, в зависимости от его вида. Установка такого аппарата выбирается исходя из расчета необходимой поверхности, рабочего давления, температуры и параметров охлаждения, а также материалов для изготовления, к примеру труб с орибрением, что помогает снизить экономические затраты и повысить теплосъем. Такой аппарат воздушного охлаждения является экологически чистым и прост в эксплуатации.

Транспортировка газа на дальние расстояния по магистральным газопроводам достаточно трудоемкий процесс, где без помощи компрессорных станции просто было бы не обойтись. Агрегаты эксплуатируются в самых разнообразных условиях и температурах, как холодных, на Севере нашей страны, так и в самой Южной ее части, и уже доказали свою надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Газоперекачивающий агрегат // АКАДЕМИК URL: http://dic.academic.ru/
2. Газификация России // Нефтегазовая вертикаль. 2012 URL: bf757935eb0a3d60561553c94851940e.pdf.
3. Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org.
4. Горная энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Е.А, Козловского. 1984-1991
5. Эксплуатация компрессорных станций магистраьных газопроводов. М: изд. РГУ Нефти и газа им. Е.М. Губкина; 1999
6. Энергетики трубопроводного транспорта газа/ под ред. А.Н. Казаченко; В.Н. Никишин, Б.РГУ нефти и газа им. Е.М. Гукина; 2001.

АВТОНОМНАЯ СОЛНЕЧНАЯ УСТАНОВКА

Петрусёв А.С.
Научный руководитель: Сарсикеев Е.Ж., к.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: science-alex@mail.ru

AUTONOMOUS SOLAR PLANT

Petrusev A.S..
Scientific Supervisor: Sarsikeev E. Zh., Dr.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: science-alex@mail.ru

In this paper a method and means of increasing the power generated by solar installations during the day are considered. It is recommended to use a solar tracker with active type of tracking based on the control board without microcontrollers. This feature allows using DC commutator motor as an electric drive component, which simplifies the construction of the whole system significantly. The principle of parameters calculation and selection of rotation mechanism for particular solar panels are proposed.

На данный момент на 70% территории России отсутствует централизованное электроснабжение. В данных районах проживает порядка 20 млн. человек, которые пользуются в основном дизельными генераторами. Стоимость вырабатываемой дизельными установками электроэнергии может быть крайне высокой и достигать свыше 50 руб. за КВт·ч, что связано в основном с трудоёмкостью доставки топлива в некоторые районы. Это говорит о необходимости использования в таких областях альтернативных источников энергии, в частности солнечной. Данный вид энергии имеет весомые перспективы в нашей стране, но на данный момент солнечные установки имеют два значительных минуса – относительно невысокую эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую в течение дня и довольно высокую стоимость солнечных элементов.

Для решения первой проблемы предложено использовать акриловый концентратор, который описан в [1]. Он представляет собой оптическую систему, выполненную преимущественно из акрила (рис. 1).

Концентратор выполнен таким образом, что лучи, падающие на его поверхность, в результате серий преломления и полного внутреннего отражения перенаправляются в торцы, на которых расположены небольшие фотоэлементы.

Данный концентратор имеет ряд преимуществ в сравнении со своими аналогами:

- Низкие массогабаритные характеристики
- Отсутствия скопления конденсата на поверхности
- Широкая диаграмма направленности на солнце
- Отсутствие необходимости в мощных системах охлаждения

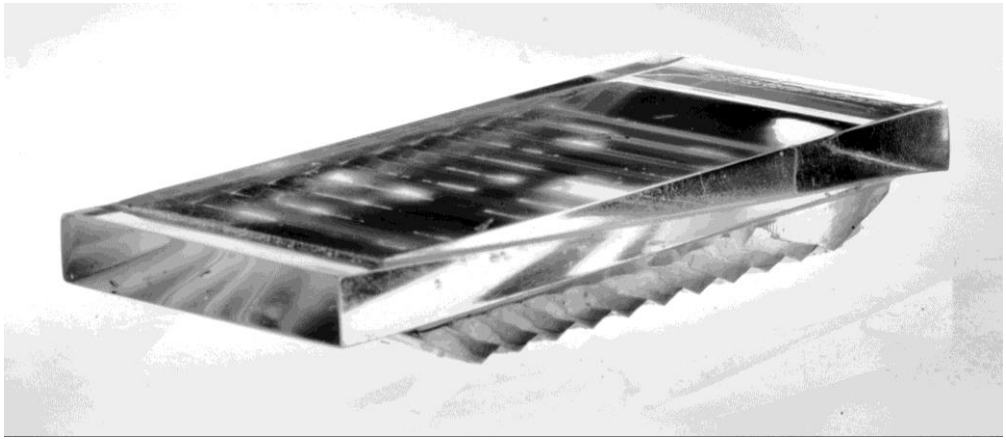


Рис. 1. Внешний вид акрилового концентратора

Он позволит снизить приблизительно в 5 раз объём необходимых фотоэлементов при той же выходной мощности, что значительно снизит стоимость системы в целом. Но для работы данного концентратора необходим солнечный трекер.

Солнечный трекер – устройство, периодически ориентирующая солнечные панели или концентратор на солнце, в результате чего большее количество солнечных лучей достигают поверхности и вырабатывается больше электроэнергии.

При использовании солнечного трекера вырабатываемая в течение дня солнечными панелями мощность повышается примерно на 30% [2]. Особенно заметен прирост в утренние и вечерние часы, которые как раз приходятся на пик электропотребления. Поэтому солнечный трекер эффективен не только для концентраторов, но и для стандартных солнечных панелей.

В работе предложена реализация солнечного трекера, имеющего преимущества в сравнении со своими аналогами.

Благодаря разработанной управляющей плате без использования микроконтроллеров в качестве электропривода можно использовать коллекторный двигатель постоянного тока, поэтому питание электропривода осуществляется напрямую от аккумуляторной батареи, которая заряжается от солнечных панелей. Отсутствие инвертора для питания трекера делает систему проще и дешевле. На управляющей плате также реализован способ регулировки времени между включениями и ручной настройки панелей в определённом направлении. Предлагаемые для трекера концевые выключатели обеспечивают большой угол поворота, позволяя эффективнее работать в утренние и вечерние часы. При этом простота конструкции и отсутствие программируемых частей задает высокий срок службы с низкой стоимостью сервисного обслуживания.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований с помощью экспериментальной модели солнечной установки [2], ведется работа по созданию полноразмерной установки суммарной мощностью 190 Вт.

Солнечная батарея представляет собой 2 солнечные панели установленной мощностью 95 Вт каждая. Для панелей сварена опорная рама массой 8 кг (рисунок 2). Производство панелей г. Зеленоград, приобретены в компании АэМэсЭнерго, г. Новосибирск.



Рис. 2. Солнечные панели на опорной раме

Для выбора электропривода поворотного механизма произведён расчёт максимального момента вращения используемой солнечной батареи. Получено, что выходной вал электропривода должен выдерживать максимальный момент вращения не менее 14,56 Н·м [3].

Из-за требований к низкой скорости вращения и высокой прочности выходного вала решено использовать мотор-редуктор, соединяющийся с выходным валом через червячный редуктор. Выбран мотор-редуктор IG-42GM компании электропривод, г. Санкт-Петербург. Также возникает необходимость использования дополнительного редуктора, для снижения скорости вращения выходного вала и повышения крутящего момента. На основе необходимых характеристик выбран червячный редуктор NMRV 30, компании МехПривод, Москва.

Выводы:

Таким образом, для солнечной панели, состоящей из двух модулей, достаточно использовать мотор-редуктор марки IG-42GM, червячный редуктор NMRV 30, которые позволят осуществлять оптимальное регулирование поворота в течение светового дня с заданной точностью угла поворота.

Разработанные технические средства обеспечивают точность регулирования и запас прочности с учетом возможного климатического влияния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Petrusyov A. S. , Sarsikeyev E. Z. , Lyapunov D. Y. Energy-efficient Photovoltaic Installation [Electronic resorces] // Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Tehnologies. - 2014 - №. 8. - p. 399-404. - Mode of access: http://www.scientific-publications.net/ru/article/1000188/

2. Петрусёв А. С. , Юрченко А. В. Эффективный способ увеличения мощности солнечных установок // Физика. - 2014 - №. 2 (960). - С. 4-8

3. Петрусёв А. С. , Сарсикеев Е. Ж. , Ляпунов Д. Ю. Разработка технических средств повышения эффективности солнечных установок [Электронный ресурс] // Вестник науки Сибири. - 2015 - №. Спецвыпуск (15). - С. 77-82. - Режим доступа: http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/1201

ИСПАРЕНИЕ И «ВЗРЫВНОЕ» ПАРООБРАЗОВАНИЕ КАПЛИ ЖИДКОСТИ С ТВЕРДЫМ НЕПРОЗРАЧНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ В ВЫСОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

Пискунов М.В., Щербинина А.А.
Научный руководитель: Стрижак П.А., профессор, д.ф.-м.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: piskunovmv@tpu.ru

EVAPORATION AND EXPLOSIVE VAPOR FORMATION OF A LIQUID DROPLET WITH A SOLID NONTRANSPARENT INCLUSION IN A HIGH-TEMPERATURE GASEOUS REGION

Piskunov M.V., Shcherbinina A.A.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Strizhak P.A.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: piskunovmv@tpu.ru

Abstract. *Radiant heat flux impact on phase change conditions of a water droplet with a solid inclusion heated in a high-temperature gas flow was experimentally determined using «solid inclusion - water» system as an example. It was emphasized the evaporation from the outer surface, boiling at the internal «inclusion – water droplet» interface and explosive breakup of a heterogeneous water droplet. A full evaporation time comparison of heterogeneous droplet heated in combustion products and air at the same temperatures was carried out.*

В настоящее время вода является важнейшим энергетическим ресурсом [1], поэтому в различных сферах жизнедеятельности внедряются программы повышения эффективности использования воды. Такие программы находят свое применение в системах очистки воды на производствах, при тушении помещений тонкораспыленной водой, при создании теплоносителей на базе дымовых газов, капель воды, а также водяного пара и т.д. Так или иначе, эти технологии позволяют неоднократно (циклически) использовать водный ресурс и снижать его потребление до минимума. Интенсивное развитие технологий термической очистки воды и эмульсий на ее основе связано, в первую очередь, с невысокой эффективностью существующих систем очистки воды.

Принцип действия современных систем термической очистки основан на достижении условий фазовых превращений (парообразования) жидкости [2], реализуемых за счет применения в качестве газовой среды продуктов сгорания горючих жидкостей или газов, а также разогретого воздуха. Таким образом, возникает проблема, характеризующаяся нехваткой экспериментальной информации об условиях осуществления механизмов парообразования при нагреве неоднородных капель жидкостей (с твердыми частицами) в условиях, типичных для систем термической очистки воды.

Условия испарения и парообразования гетерогенных (неоднородных) и однородных капель в высокотемпературной (около 1100 К) газовой среде, как показали эксперименты [3], значительно различаются. Эксперименты [3] выполнены только при условии введения в капли групп включений (варьируя концентрацию и размеры). Целесообразным представляется экспериментальное исследование нагрева одиночной капли воды с одним соразмерным включением.

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование особенностей испарения и «взрывного» парообразования капли воды с твердым непрозрачным включением при нагреве в высокотемпературной газовой среде.

В целях оценки влияния пропускания излучения газов прозрачной жидкостью на условия ее фазовых превращений для проведения исследований использовался стенд со сменным источником

генерации высокотемпературной газовой среды.

При использовании тепловой пушки исследовался процесс испарения и парообразования неоднородной капли воды в разогретом до контролируемой температуры воздухе. Меняя источник генерации газовой среды на горелку, обеспечивались условия нагрева капель воды в продуктах сгорания типичного жидкого горючего вещества – технического спирта. Настоящее исследование, в отличие от экспериментов [3], проводилось с применением высокоскоростной видеорегистрации процесса фазовых превращений неоднородной капли, закрепленной на керамическом стержне. Две высокоскоростные (до 10^5 кадров в секунду) видеокамеры обеспечивали процесс видеорегистрации. Обработка полученных видеограмм проводилась с применением программного обеспечения «TEMA Automotive», визуализация исследуемых процессов – «Phantom Camera Control».

Методика проведения экспериментальных исследований включала два этапа. Первый (подготовительный) этап – взвешивание капель дистиллированной воды (необходимая масса 15 мг) с помощью весов и изготовление твердого включения (материал – графит) с применением набора надфилей. Манипуляции по транспортировке капель воды заданного объема выполнялись с помощью электронного дозатора. Керамический стержень перемещался в высокотемпературную среду посредством автоматизированных передвижных механизмов. Второй этап – непосредственное проведение исследования процесса фазовых превращений капли воды с твердым включением. Высокотемпературная газовая среда генерировалась в полости цилиндра (длиной 1 м) из кварцевого стекла. В случае использования в качестве газовой среды продуктов сгорания горючей жидкости неоднородная капля вводилась в одно из трех отверстий цилиндрического канала в зависимости от требуемой температуры. При применении тепловой пушки необходимая температура среды устанавливалась на блоке управления и поддерживалась на заданном уровне до завершения опыта. Непосредственно после ввода капли в газовую среду производилась видеорегистрация с фиксацией изменения размеров капли (d) и толщины пленки жидкости (δ) до полного испарения воды с поверхности включения. Также определялись времена существования τ_h капли жидкости.

Систематические погрешности средств измерения размеров включения, капли воды и толщины пленки не превышали 0.01 мм. Случайные погрешности определения d и δ, характеризующие повторяемость результатов измерений, составили не более 7 % относительно среднего для серии при идентичных начальных условиях. Погрешности определения времен τ_h не превысили 1 мс.

Установлено, что для проведенных опытов с продуктами сгорания и в разогретом воздухе при высоких температурах (более 550 К) рост парового слоя на границе раздела сред «твердое включение – капля воды» реализуется фактически мгновенно (как правило, менее 1 с). Во всех случаях при меньших температурах наблюдалось только испарение со свободной поверхности капли воды. Рис. 1 иллюстрирует установленные зависимости характерных времен существования неоднородных капель воды.

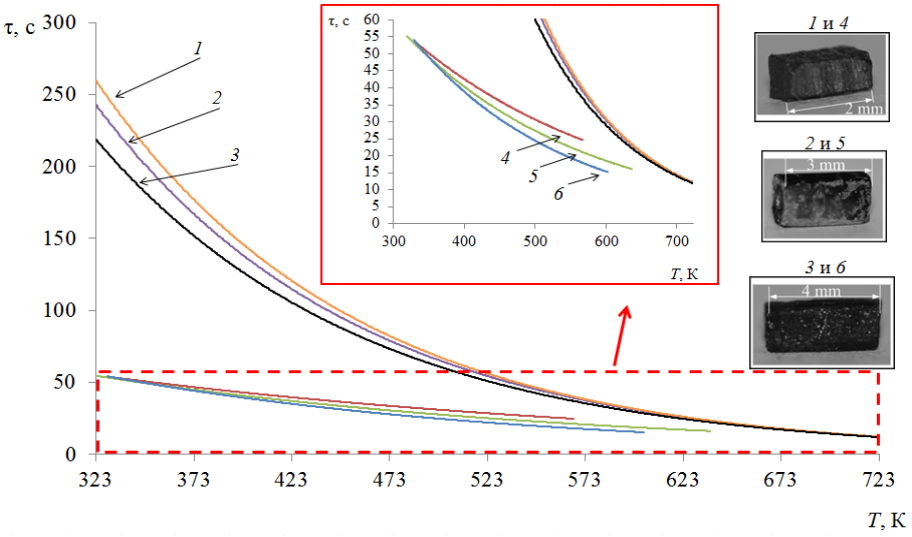


Рис. 1. Времена существования (полного испарения) неоднородных (с учетом варьирования размера включения) капель воды при разных температурах воздуха (1-3) и продуктов сгорания (4-6)

Эксперименты, проведенные в разогретом воздухе (*1-3*) при температурах менее 550 К, реализуются при больших временах полного испарения жидкости с поверхности включения в сравнении с аналогичными опытами, проведенными в потоке продуктов сгорания спирта (*4-6*). Такая существенная разница связана, в первую очередь, с подводом тепла посредством лучистого теплового потока в случае испарения капли в потоке продуктов сгорания спирта. При температурах более 550 К разница во временах существования неоднородных капель становится незначительной.

Стоит отметить, что при проведении экспериментов регистрировались разрушения (распады) гетерогенных капель вследствие интенсивного парообразования только в случае нагрева капли в потоке продуктов сгорания спирта при температурах более 600 К. Это также позволяет утверждать о влиянии энергии излучения на процесс теплообмена в системе «гетерогенная капля – газовая среда».

Результаты проведенных экспериментов с продуктами сгорания и разогретым воздухом позволили установить роль энергии излучения при реализации фазовых превращений неоднородных капель воды в высокотемпературных газовых средах. Существенное влияние радиационного теплообмена способствует достижению условий «взрывного» вскипания и разрушения капли жидкости. Кроме термической очистки воды, выявленные особенности представляют интерес для большой группы газопарокапельных технологий (например, полидисперсное пожаротушение).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (проект МД–2806.2015.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ищенко А.Н. Актуальные проблемы мониторинга водных объектов // Вода: химия и экология. – 2010. – № 7. – С. 2-5.

2. Тулепбаев В.Б., Дьяченко И.Ю. Применение вакуумных выпаривателей для очистки сточных вод гальванического производства // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2008. – Т. 16. – № 1. – С. 40-45.

3. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Influence of solid inclusions in liquid drops moving through a high temperature gaseous medium on their evaporation // Technical Physics. – 2014. – V. 59. – № 12. – P. 1770–1774.

АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛИ 20 ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ НОРМАЛИЗАЦИИ

Помазова А.В.
Научный руководитель: Панова Т.В., кандидат физико-математических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Омский Государственный Университет им. Ф.М. Достоевского»,
Россия, 644077, г. Омск, пр. Мира, 55а.
E-mail: pomazova@yandex.ru.

ANALYSIS OF RESIDUAL STRESSES IN STEEL 20 UNDER CYCLIC NORMALIZATION

Pomazova A.V.
Scientific Supervisor: Panova T.V., Cand. Sc.
Omsk F. M. Dostoevsky State University, Russia, 644077, Omsk, Prospect Mira, 55a.
E-mail: pomazova@yandex.ru.

Введение

В теплоэнергетике при расчетах остаточного ресурса [1] и расчетах на прочность [2] труб поверхностей нагрева, изготовленных из малоуглеродистой стали 20, учитываются толщина стенки и скорость ее утонения (коррозионного износа), макроскопические свойства I рода и параметры эксплуатации. При этом главный недостаток этих методик заключается в том, что они предполагают низкие значения допускаемых напряжений $[\sigma]$ (обычно $[\sigma] \leq \sigma_{0,2}/2$) и не учитывают работу металла оборудования в условиях скольжения и сдвиговой деформации [3]. В процессе эксплуатации эти процессы приводят к образованию зон напряжений, в которых фактические напряжения превышают предел текучести. Авторами [4] показано, что внутренние напряжения определяют физический ресурс, и прогнозируют поведение трубных поверхностей в процессе эксплуатации. Ранее, нами уже были проведены исследования, которые продемонстрировали возможности повышения коррозионной стойкости трубной стали 20 при циклической термообработке [5,6]. Был определен оптимальный режим термообработки, повышающий однородность микроструктуры и увеличивающий коррозионную стойкость углеродистой стали 20, применяемой в теплоэнергетике для изготовления труб поверхностей нагрева [7]. Учитывая эти данные, целью настоящей работы является исследование изменений напряжений первого и второго рода в стали 20 при циклической нормализации.

Материалы и методики эксперимента

Образцы стали 20 (состав, мас.%: углерод 0,175±0,016, кремний 0,27±0,03, марганец 0,45±0,03, хром 0,081±0,008, никель 0,033±0,008, медь 0,041±0,008, сера 0,004±0,002, фосфор 0,007±0,002, остальное железо), вырезанные из трубной заготовки с типоразмером 32,0×4,0 мм подвергались циклической нормализации при температурах 900, 910, 920, 930, 940, 950^0C, количество циклов варьировалось от одного до пяти. Нормализация проводилась в печи муфельной МИМП-10У. Исследования структурно-фазового состояния проводилось с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3М (λ_{Cu}=1,54A^0).

Результаты и их обсуждение

Реализуемые режимы термической обработки приводят к изменениям механических свойств и микроструктурных характеристик [5,6] и могут быть связаны как с изменением объема элементарной ячейки феррита стали 20, так и с характером формирующихся остаточных напряжений. Исследования структурно-напряженного состояния металла были проведены после каждого режима термообработки. При этом необходимо было установить влияние циклов термообработки на перераспределение внутренних напряжений. Перераспределение внутренних напряжений первого рода в процессе термообработки при различных температурах представлено на рис. 1.

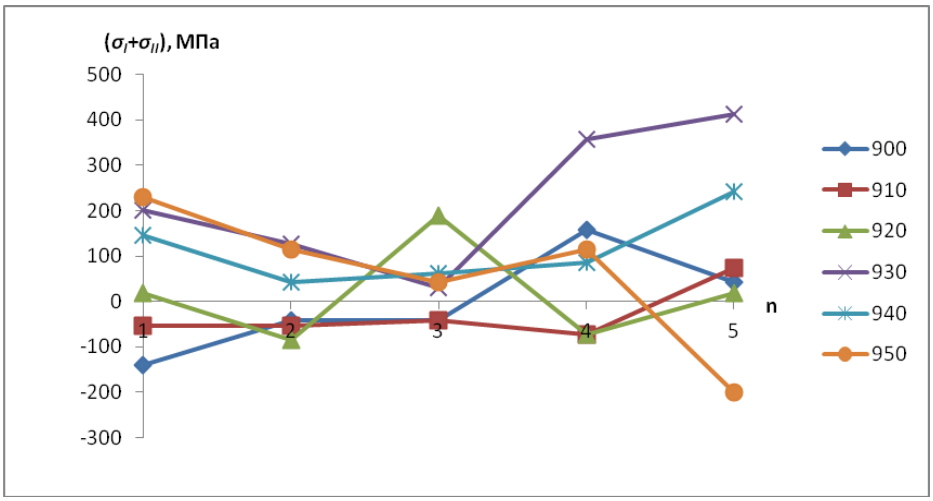


Рис.1. Зависимость напряжений первого рода от количества циклов нормализации при различных температурах

Видно, что экспериментальная зависимость внутренних напряжений первого рода носит осциллирующий характер и изменяется в процессе термической обработки. Идет перераспределение внутренних напряжений I рода от растягивающих до сжимающих. Термообработка при температурах 900^0C и 910^0C существенного изменения в величину зональных напряжений не вносит.

Установление влияния факторов дисперсности и микронапряжений показало, что в основном уширение дифракционных максимумов связано с микроискажениями. На рис. 2 представлена зависимость величины напряжений второго рода от температуры нормализации для используемых в эксперименте циклов термообработки. Наблюдаемые кривые свидетельствуют о существенной зависимости микроискажений от режимов нормализации.

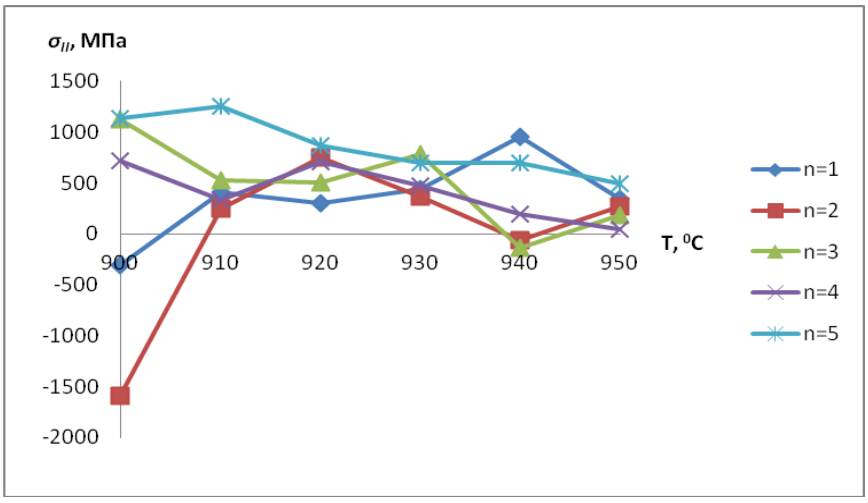


Рис.2 Зависимость размера кристаллитов от количества циклов нормализации при различных температурах

Обнаружено, что используемые режимы термообработки оказывают значительное влияние на плотность дислокаций. Для образцов, показывающих удовлетворительные результаты по механическим свойствам и микроструктурным характеристикам, данная зависимость имеет минимум в области дислокаций, соотвествующей критической плотности дислокаций: $\rho=2{,}0*10^7$ $см^{-2}$. Анализ относительного изменения объема кристаллической решетки феррита показал, что для режима

двухкратной нормализации для всего температурного интервала разброс значений происходит в пределах погрешности измерений. Для остальных режимов наблюдается изменение объема кристаллической решетки феррита, связанное с перераспределением углерода между ферритной и цементитной фазой.

Сравнение полученных данных с оценкой скорости коррозии, показало, что при режиме двукратной нормализации при 920^0С, где наблюдалась минимальная скорость коррозии, наблюдаются незначительные искажения решетки феррита и формируются минимальные остаточные напряжения.

Заключение

Проведенные исследования показали, что циклическая нормализация приводит к изменению структурно-напряженного состояния стали 20. Обнаружена корреляция между скоростью наружной коррозии и величиной напряжений первого рода. Установлено, что трубы, изготовленные из стали 20 и прошедшие рекомендованную по ТУ 14-3Р-55-2001 [7] термообработку в интервале температур 920-950^0С, имеют разный объем и уровень внутренних напряжений металла, что объясняет разный уровень эксплуатационных (коррозионных) свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО 17230282.27.100.005–2008. Основные элементы котлов, турбин и трубопроводов ТЭС. Контроль состояния металла. Нормы и требования. – Введ. 2008–06–30. – М.: РАО «ЕЭС России», 2008.

2. РД 10-249-98 с Изменением №1 РДИ 10-413(249)-00. Нормы расчёта на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды".

3. Дубов А.А. проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования // Теплоэнергетика. – 2003. - № 11. – С. 54-57.

4. Любимова Л.Л., Ташлыков А.А., Макеев А.А., Заворин А.С., Артамонцев А.И., Лебедев Б.В. Изменение внутренних напряжений в сечениях котельных труб при пластическом деформировании // Известия Томского политехнического университета. – 2006. - № 6, С. 114-119.

5. Помазова А.В., Панова Т.В., Геринг Г.И. Роль структурных факторов в повышении коррозионной стойкости трубной стали при циклической термообработке // Электроэнергетика глазами молодежи: науч. тр. V междунар. науч.- техн. конф., Т.2. - Томск: ТПУ, 2014. - С. 225-229.

6. Помазова А.В., Панова Т.В., Геринг Г.И. Влияние многократной структурной перекристаллизации стали 20 на коррозионную стойкость труб поверхностей нагрева // Теплоэнергетика. – 2015. - № 4, С. 26-31.

7. ТУ 14-3Р-55-2001. Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов. М.: РНИИТП, 2001.

ДИНАМИКА СМАЧИВАНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ ЛИНИИ ТРЕХФАЗНОГО КОНТАКТА

Пономарев К.О., Феоктистов Д.В., Орлова Е.Г.
Научный руководитель: Феоктистов Д.В., к.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kotyaponomarev@gmail.com

WETTING DYNAMICS AT HIGH VALUES OF CONTACT LINE SPEED

Ponomarev K.O., Feoktistov D.V., Orlova E.G.
Scientific Supervisor: Feoktistov D.V.
634050, National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: kotyaponomarev@gmail.com

Abstract. Experimental results analyses of dynamic contact angle change under the conditions of substrate wetting by distilled water at high values of the contact line speed was conducted. Three spreading modes for copper substrates with different roughness were selected: drop formation, spreading and equilibrium contact angle formation. Peculiarity of droplet spreading on superhydrophobic surface is found. It consists in a monotonic increase of the advancing dynamic contact angle. The effect of the drop growth rate on the value of the dynamic contact angle is found.

Введение

Динамический краевой угол (ДКУ), скорость перемещения линии трехфазного контакта (ЛТФК) и диаметр пятна контакта - основные параметры, характеризующие процесс растекания капли по поверхности. Они зависят от микроструктуры поверхности, физико-химических свойств смачивающей жидкости, условий образования капли на подложке. Результаты изучения динамики ЛТФК и изменения контактного диаметра от различных параметров опубликованы во многих работах отечественных и зарубежных ведущих ученных. Стоит отметить, что изменение ДКУ в процессе смачивания поверхностей “наступающими” и “отступающими” каплями исследованы только при медленном движении линии трехфазного контакта до 1 мм/с [1-3]. Динамика смачивания при скоростях движения линии трехфазного контакта больше 1 мм/с остается мало изученной, поскольку регистрация физических механизмов быстропротекающих процессов стала возможной в последнее десятилетие в связи с усовершенствованием фото и видеоаппаратуры. Целью работы является исследование изменения динамического контактного угла капли в условиях смачивания подложек при высоких скоростях движения линии трехфазного контакта.

Методика проведения эксперимента

Экспериментальные исследования проводились на установке (рис.1) с использованием теневой и Шлирен оптических методов [4].

В ходе проведения предварительных экспериментов определены основные факторы воздействия, которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Основные факторы воздействия

Объем жидкости	0,3 мл
Скорость накачки дистиллированной воды	0,005; 0,01; 0,02; 0,04; 0,08; 0,16 мл/с
Материал подложек	Медь, поверхность с супергидрофобным покрытием
Параметр шероховатости (Ra) поверхности подложек	отожженная медь Ra=0,591 мкм; медь Ra=5,190 мкм; медь Ra=6,210 мкм; поверхность с супергидрофобным покрытием Ra=0,751 мкм
Смачивающая жидкость	Недеаэрированная дистиллированная вода

Результаты экспериментов

По результатам серии экспериментов (рисунок 1 (а–в)) выделены три режима растекания капли дистиллированной воды по медным подложкам с достаточно типичными шероховатостями 0,591, 5,190 и 6,210 мкм.

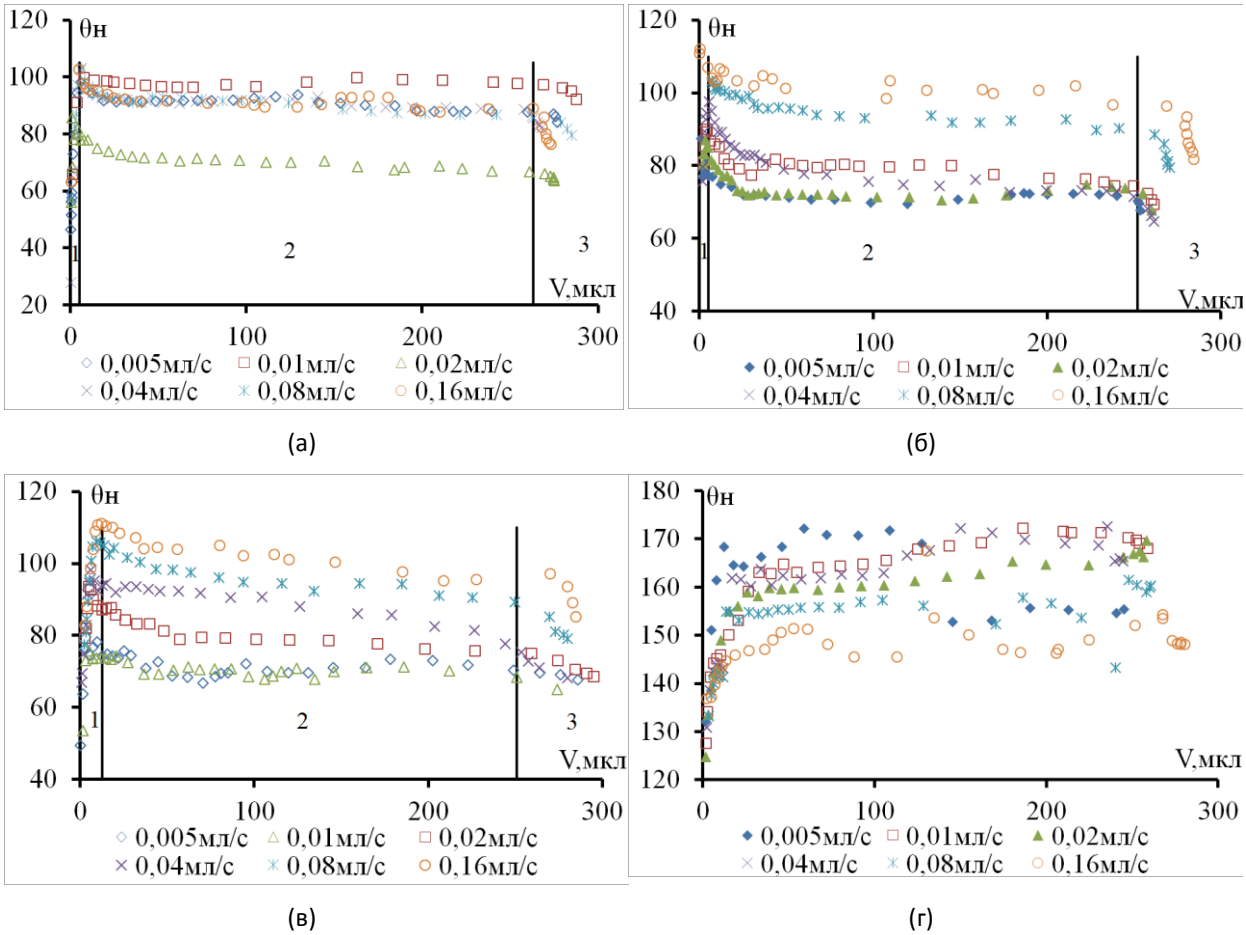


Рисунок 1. Зависимость наступающего краевого угла от объёма капли при растекании дистиллированной воды по подложкам: а) медь (Ra=0,591 мкм); б) медь (Ra=5,190 мкм); в) медь (Ra=6,210 мкм); г) супергидрофобная поверхность (Ra=0,751 мкм).

Первый – формирование капли (скорость перемещения ЛТФК и ДКУ натекания увеличиваются

“скачком”). Второй – растекание капли (характеризуется монотонным уменьшением скорости перемещения ЛТФК и ДКУ натекания). Третий – формирование равновесного краевого угла при постоянном значении смоченной площади (скорость перемещения ЛТФК стремится к нулю, а растекание капли происходит до тех пор, пока движущая сила больше нуля).

Длительность режимов в экспериментах составила: первый – 1-2% от всего времени растекания, второй – 39-50%, третий – 48-60%.

На супергидрофобной поверхности с шероховатостью 0,751 мкм (рисунок 1 (г)) в сравнении с остальными подложками выделен ряд особенностей в режимах растекания. В процессе формирования капли жидкости за “скачкообразным” увеличением скорости перемещения ЛТФК и ДКУ натекания следует режим растекания, который сопровождается уменьшением скорости ЛТФК и монотонным увеличением наступающего ДКУ.

Следует отметить, что анализ значений ДКУ натекания проводился для стадий 2 и 3.

Установлено, что увеличение объемной скорости образования капли дистиллированной воды (с 0,005 мл/с до 0,160 мл/с) при растекании по медным подложкам с шероховатостью 5,190 мкм привело к повышению максимального значения краевого угла натекания на 30%; при Ra=6,210 мкм на 37%.

Увеличение объемной скорости образования капли дистиллированной воды на медной подложке с шероховатостью 0,591 мкм не привело к повышению значения краевого угла натекания. Наступающий ДКУ в диапазоне объёмных скоростей роста капли 0,040–0,160 мл/с не зависит от объёма капли. В процессе ее растекания по таким подложкам несмачивание поверхности сменяется смачиванием. Динамический краевой угол натекания в процессе движения ЛТФК уменьшается и через некоторое время, зависящее от объёмной скорости образования капли, материала подложки и микрорельефа поверхности, становится меньше 90°.

Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» №13.1339.2014/К (шифр Федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bartashevich M.V., Marchuk I.V., Kabov O.A. Numerical simulation of natural convection in a sessile liquid droplet // Microgravity Science and Technology. – 2012. – V. 24 (1). – PP. 17–31.

2. Мисюра С.Я., Накоряков В.Е., Елистратов С.Л. Особенности испарения капель воды на нагреваемой поверхности // Доклады Академии Наук. – 2013. – Т. 448. – № 3. – С. 293–296.

3. Orlova E.G., Kuznetsov G.V., Feoktistov D.V. The evaporation of the water-sodium chlorides solution droplets on the heated substrate // EPJ Web of Conferences. – 2014. – V. 76. – PP. 1–8.

4. Кабов О.А., Зайцев Д.В. Влияние гистерезиса смачивания на растекание капли под действием гравитации // Доклады академии наук. – 2013. – Т.451. – №1. – С.37-40.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПИРОЛИЗА НА ВЫХОД ГАЗОВ ИЗ ТОРФА

Портнов Д.А., Казанов А.М., Polsongkram M.*
Научный руководитель: Казаков А.В., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
*King Mongkuts University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand
E-mail: portnov-1992@mail.ru

RESEARCH OF INFLUENCE OF THE MODES LOW-TEMPERATURE PYROLYSIS ON THE EXIT OF GASES FROM PEAT

Portnov D.A., Kazanov A.M., Polsongkram M.*
Scientific Supervisor: KazakovA.V., associate Professor
National research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
*King Mongkuts University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand
E-mail:portnov-1992@mail.ru

Annotation. Information on the modes of low temperature pyrolysis and influence on properties, structure and warmth of combustion of the received gas from peat is provided.

Пиролиз является одним из важнейших химических процессов, используемых в энергетике и различных промышленных производствах – металлургии, нефтехимии и пр. Например, методом пиролиза получают такие экономически и технически важные вещества как древесный уголь, кокс, синтез-газ, дивинил, этилен, пропилен, бензол и др. В промышленности пиролизу подвергают нефть, уголь, торф, древесину, сельскохозяйственные отходы, промышленные отходы, бытовой мусор [1–3]. Торф – горючее полезное ископаемое растительного происхождения, предшественник генетического ряда углей. Образуется в результате естественного отмирания и неполного распада болотных растений под воздействием биохимических процессов в условиях повышенной влажности и недостатка кислорода.

Генераторный газ, как топливо, имеет несомненные преимущества перед прямым сжиганием торфа и др. видов биомассы. Генераторный газ, подобно природному газу, может быть передан на большое расстояние по трубопроводам и в баллонах; его удобно использовать в быту для приготовления пищи, для отопления и нагревания воды, а также в технологических и силовых установках. Сжигание газа легко автоматизировать; продукты сгорания менее токсичны, чем продукты прямого сжигания древесины и др. видов биомассы.

Исходные данные по топливу

Для этого элементный состав исследуемой древесины был пересчитан на различные значения влажности, в диапазоне от 20 до 50 % (табл. 1).

Таблица 1

Элементный состав торфа при различных значениях влажности [4]

C, %	H, %	S, %	N, %	O, %	A, %	W, %
33,235	10,928	0,266	1,064	22,600	11,923	20
31,034	10,204	0,248	0,993	21,103	10,357	25
28,834	9,480	0,231	0,923	19,607	10,204	30
26,633	8,757	0,213	0,852	18,110	9,567	35
24,432	8,033	0,195	0,782	16,614	8,776	40
22,232	7,310	0,178	0,711	15,117	7,986	45
20,031	6,586	0,160	0,641	13,621	4,195	50

Исследование состава газа и теплоты сгорания в зависимости от различных параметров

При проведении данного исследования с использованием методов компьютерного моделирования были установлены наглядные зависимости между свойствами топлива, параметрами переработки и качеством получаемого синтез-газа (рис. 1-5).

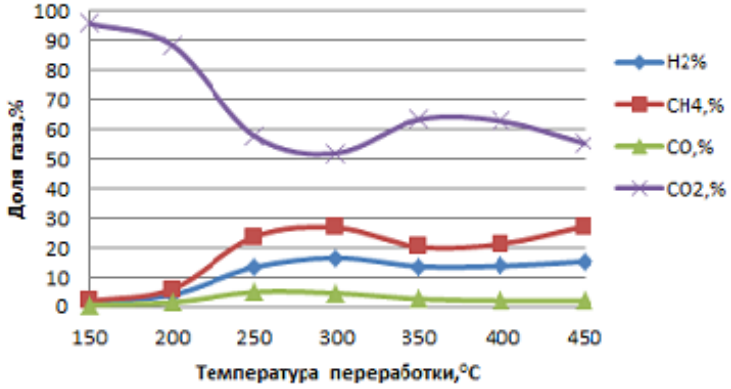


Рис. 1.Зависимость состава газа от температуры переработки торфа

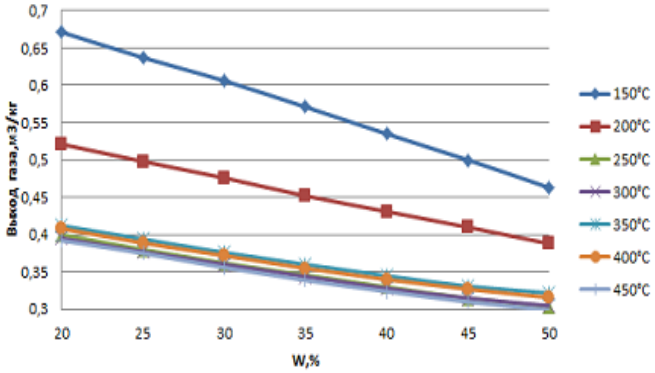


Рис. 2.Зависимость объёма вырабатываемого газа от рабочейвлажности торфа и температуры процесса

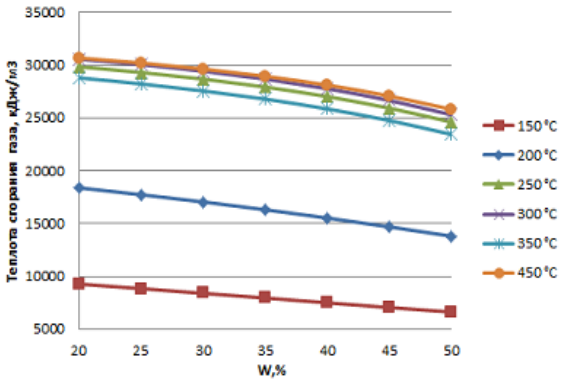


Рис. 3. Зависимость теплоты сгорания газа от рабочей влажности торфа

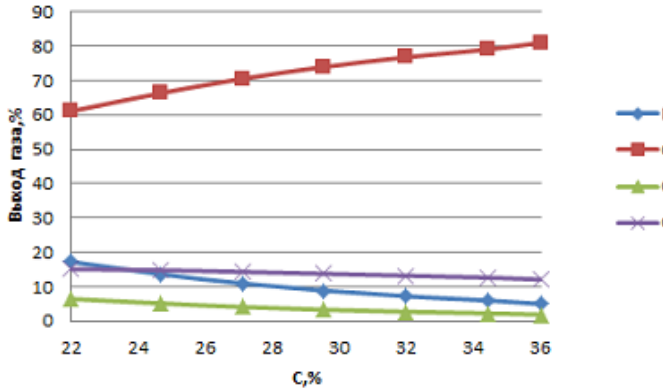


Рис.4. Зависимость состава газа от содержания углерода в исходном топливе

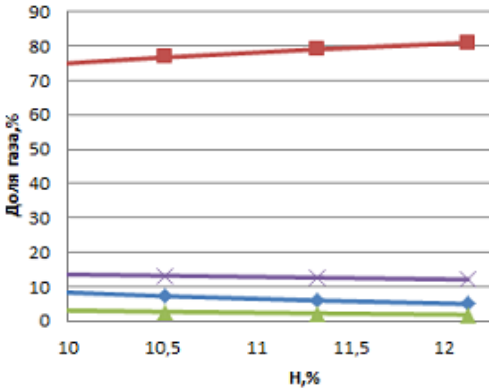


Рис. 5.Зависимость состава газа от содержания водорода в исходном топливе

Анализ результатов и выводы

Была определена важная роль влияния температуры протекания процесса газификации на его результаты, особенно на выход газа и его теплотворную способность. Также была установлена температура (300 и 450 ºС), при которой происходит увеличение выхода метана из торфа и, как следствие, рост объёма получаемого газа и его теплотворная способность. В целом, с повышением температуры, наблюдается улучшение основных параметров получаемого газа.

Помимо влажности и температуры переработки, большое влияние на процесс пиролиза оказывает элементный состав торфа. В первую очередь это касается кислорода, водорода и углерода.

На процесс выработки синтез-газа огромное влияние оказывает и такой параметр топлива, как его рабочая влажность. При этом, путём сравнения результатов газификации торфа различной степени влажности, было установлено оптимальное значение – 20-25 %. Это позволяет использовать низкотемпературный пиролиз для получения газа с приемлемыми параметрами. Однако с ростом влажности топлива, наблюдается и существенное снижение теплотворной способности конечного продукта.

Увеличение доли водорода в перерабатываемом сырье, напротив, оказывает положительное воздействие на качество газа. Калорийность газа возрастает из-за большего количества метана и водорода. Из-за избытка водорода, он начинает более интенсивно взаимодействовать с углеродом, повышая, как следствие, выход метана и снижая количество окислов углерода.

С ростом содержания углерода, происходит снижение удельной теплотворной способности газа, из-за повышения в нём доли CO и CO_2.

Подводя итог, можно сказать, что настоящее исследование подтвердило высокий потенциал использования торфа для выработки синтез-газа методом каталитического пиролиза, принцип которого изложен в работах [5-8].

Работа выполнена в рамках ГЗ НИР № 2069 (2.1322.2014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Батенин В.М., Бессмертных А.В., Зайченко В.М. Энергетический комплекс на биомассе // Тепловые процессы в технике. – 2010. – № 2. – С.91–96.

2. Пат. 2185418 Россия. МПК C10J3/00; C10J3/02; B01J23/44. Способ получения газа из торфа / А.Е. Афанасьев, Е.М. Сульман, А.Е. Усанов, О.С. Мисников; заяв. 05.12.2000; опубл. 20.07.2002. – 7 с.

3. Пат. 2259385 Россия. МПК C10F7/00; C05F11/02. Способ переработки торфа / В.А. Котельников, А.И. Подзоров; заяв. 11.03.2004; опубл. 27.08.2005. – 6 с.

4. Григорьев К.А., Рундыгин Ю.А., Тринченко А.А. Технология сжигания органических топлив: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2006. – 93 с.

5. Заворин А.С., Казаков А.В., Макеев А.А, Подоров С.В. .Исследование процесса генерации газа в автономных энергетических установках // Теплоэнергетика. – 2010. – № 1. – С. 74–78.

6. Казаков А.В., Заворин А.С., Новосельцев П.Ю., Табакаев Р.Б. Малая распределенная энергетика России: совместная выработка тепло- и электроэнергии // Вестник науки Сибири. – 2013. – №. 4. – С. 13–18.

7. Табакаев Р.Б., Казаков А.В., Заворин А.С. Перспективность низкосортных топлив Томской области для теплотехнологического использования // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 4. – С. 41–46.

8. Казаков А.В. Термическая конверсия низкосортных топлив применительно к газогенерирующим установкам: диссертация … канд. техн. наук. – Томск: Б.и., 2002. – 159 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВО ВХОДНОМ СЕЧЕНИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Портнов Д.А.
Научный руководитель: Субботин А.Н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск,пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: portnov-1992@mail.ru

MODELLING OF UNDERGROUND GASIFICATION OF COAL AT CHANGE OF EXCESSIVE PRESSURE IN THE ENTRANCE SECTION OF COAL LAYER

Portnov D.A.
Scientific Supervisor: Subbotin A.N.., Professor
National research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail:portnov-1992@mail.ru

This article shows one way to address the problem of useful resources. Method for coal processing in the layer, without extracting it to the surface gives a lot of advantages. It allows you to more effectively exploit the potential of fuel.

Уголь – один из основных элементов современного топливно-энергетического баланса в мире. Как полезное ископаемое уголь является уникальным материалом, на основе которого получают широкий спектр различных продуктов.

Актуальность развития процессов глубокой переработки угля усилилась в связи с ресурсной ситуацией по всем видам органических энергоносителей и ценовым баллом нефти [1].

Многие страны в настоящее время, чтобы снизить зависимости при производстве химической продукции от импорта нефти и природного газа, активно развивают современные технологии и так называемую угольную химию. Ищут новые решения химических и энергетических проблем, а также проблем добычи природных ископаемых [2].

В настоящее время практически все крупные угледобывающие страны мира проявляют огромный интерес к технологиям подземной газификации угля. Следует отметить, что интенсивные работы исследовательского и практического характера проводятся в настоящее время в Китае и США. В Китае построено в последние годы 8 промышленных станций по подземной газификации угля, также в Австралии в 2003 г. построено крупное предприятие данного профиля. Все они используют технологическую схему газификации угольных пластов, которая ранее применялась в бывшем СССР. Большой интерес к технологии подземной газификации проявляется в таких странах, как Вьетнам, ЮАР, Украина, Южная Корея, КНДР, Индия, Казахстан и многих других [3].

Под газификацией понимают низкотемпературные или высокотемпературные процессы, протекающие при взаимодействии органической массы твердого или жидкого топлива или продуктов их термической переработки с кислородом, диоксидом углерода, воздухом, водяным паром или их смесями, в результате которых органическая часть перерабатываемого топлива превращается в горючий газ [4]. При газификации в качестве сырья, как правило, используют торф, горючие сланцы, каменный или бурый уголь. Обычно окислителем (газифицирующими агентами) является воздух, кислород или водяной пар.

Цель.

Данное исследование проводилось с целью определения оптимальных и максимально эффективных условий для осуществления процесса подземной газификации угольного пласта.

Задачи.

Численный анализ зависимости выхода состава синтез-газа от давления во входном сечении в закачиваемом в угольный пласт окислители.

Численные результаты математического моделирования подземной газификации

Математическая модель, используемая при проведении исследований, была взята из работы [5]. Численный метод решения приведен в [3]. В результате численных расчетов были получены следующие результаты.

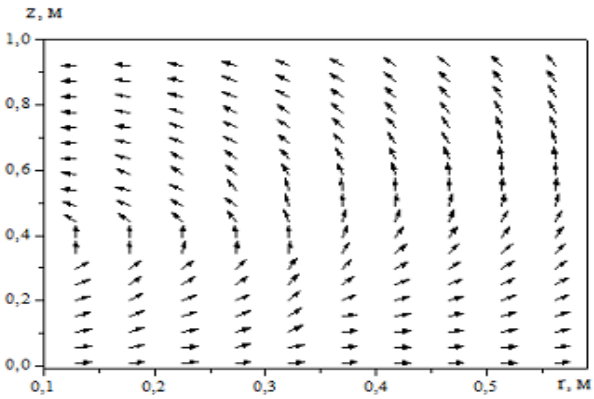


Рис.1.Направление движения газов при рассматриваемом способе газификации

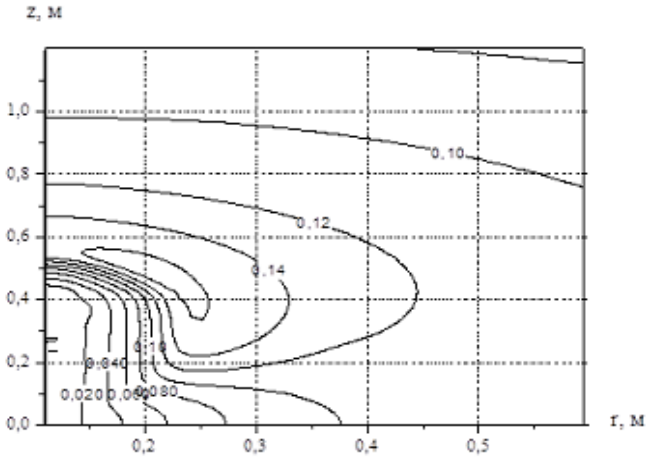


Рис. 2. Значения массовой концентрации оксида углерода в газифицируемой области

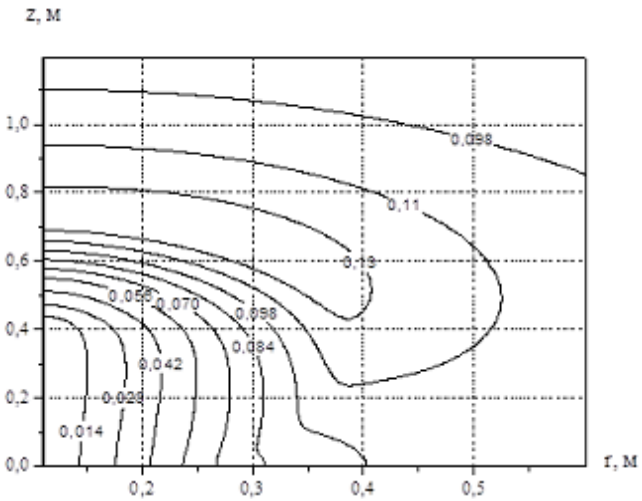


Рис. 3. Значения массовой концентрации диоксида углерода в газифицируемой области

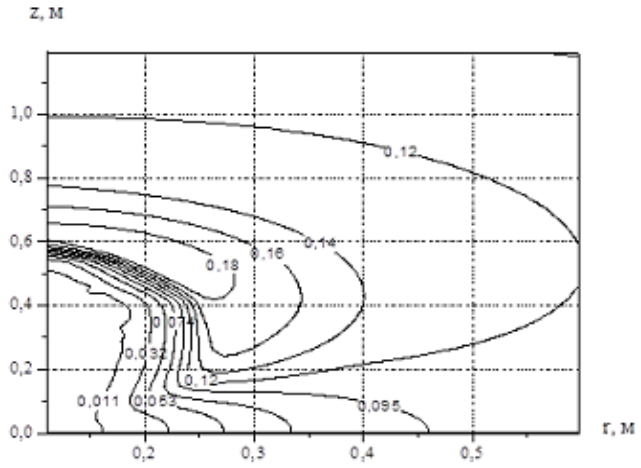


Рис. 4. Значения массовой концентрации оксида углерода в газифицируемой области при двукратном увеличении избыточного давления на входе в угольный пласт

Анализ и выводы

На рисунке 1 приведено векторное поле скорости движения газов, которое указывает лишь направление движения образующихся газообразных продуктов, в силу того, что все векторы скорости нормированы на их модуль скорости в каждой точке (приведены к одному размеру).

В рисунке 2 построены изолинии массовой концентрации оксида углерода в синтез-газе, образующемся при газификации. Концентрация CO равна 0,12 – 0,14. Массовая же концентрация оксида углерода, если осуществлять пиролиз угля в инертной среде в три раза меньше.

Из рисунка 3 следует, что массовая концентрация диоксида углерода становится достаточно малой (концентрация CO_2 при пиролизе угля в инертной среде значительно выше, примерно в три раза). Следует отметить, что концентрацию диоксида углерода можно еще более уменьшить, повысив температуру процесса газификации.

Увеличение избыточного давления в 2 раза (рис.4) привело к увеличению массовой концентрации оксида углерода в образующейся горючей смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1) Аренс В.Ж., Вертман А.А., Хчеян Г.Х. Новые подходы к использованию невостребованных ресурсов твердых полезных ископаемых // Вестник Российской Академии Естественных наук. – 2007. – №3. – С. 3–6.

2) Зоря А.Ю., Крейнин Е.В., Лазаренко С.Н. Новые возможности // Уголь Кузбасса. Межрегиональный научно-практический журнал. – 2009. – №4. – С. 74–77.

3) Кулеш Р.Н., Мазаник А.С., Субботин А.Н. Математическое моделирование тепломассопереноса при подземной газификации угля // Известия Томского политехнического университета. Техника и технологии в энергетике. – 2014. – Т. 325. – № 4. – С. 25–32.

4) Васючков Ю.В., Воробьев Б.М. Способ получения электроэнергии при бесшахтнойуглегазификации и/или подземномуглесжигании. Патент на изобретение №2100588 РФ.

5) Кузнецов Г.В., Субботин А.Н. Тепломассоперенос в условиях подземной газификации угля // Тепловые процессы в технике. – 2010. – № 9. – С. 422–426.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ДЛЯ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛООТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ С СОЛНЕЧНЫМИ ПАНЕЛЯМИ В ОКНАХ

Румянцев Е.С., Смирнов Н.Н., Лапатеев Д.А.
Научные руководители: Тютиков В.В., профессор, д.т.н., Захаров В.М., доцент, к.т.н.
Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина
Россия, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, 153003
E-mail: colia@rambler.ru

POWER EFFECT IN POWER SUPPLY SYSTEMS OF BUILDINGS DUE TO ENERGY-EFFICIENT WINDOWS WITH HEAT-REFLECTIVE SHIELDS AND SOLAR CELLS

Rumyantsev E.S., Smirnov N.N., Lapateev D.A.
Scientific Supervisors: Prof., Dr. Tyutikov V.V., docent, cand. Zakharov V.M.
Ivanovo State Power Engineering University
Russia, Ivanovo, Rabfakovskaya Str., 34, 153003
E-mail: colia@rambler.ru

Abstract: The study was based on the results of field tests of windows with heat-reflective shields in a certified climate chamber. The method to determine the minimum indoor air temperature under standby heating using heat-reflective shields in the windows and multifunctional energy-efficient shutter with solar battery have been developed. Annual energy saving for the conditions of different regions of Russia and France was determined. Using windows with heat-reflecting screens and a solar battery results in a triple power effect: reduced heat loss-es during the heating season due to increased window resistance; lower cost of heating buildings due to lowering of indoor ambient temperature; also electric power generation

В сертифицированной климатической камере АНО «Ивановстройиспытания» были проведены исследования [1] по изучению влияния применения теплоотражающих экранов в окнах на повышение сопротивления теплопередаче окон и снижения тепловых потерь.

Таблица 1.

Данные испытания теплоотражающих экранов в окнах с низкоэмиссионным покрытием

Вариант	Тепловой поток q, Вт/м^2	Температура на внутреннем стекле t_w, ^{0}C	Приведенное сопротивление теплопередаче R, м^2*^{0}C/Вт	$R/R_{контроль1}$	$R/R_{Контроль2}$
Контроль 1 4М1х10х4М1х10х4М1	76,1	12,5	0,47	-	-
Контроль 2 4М1х10х4М1х10х4И (с покрытием)	58,9	14,15	0,61	1,29	-
2 экрана с холодной стороны	20,77	18,65	1,757	3,74	2,89

Как показали расчёты и опытные данные (табл. 1) при применении в окнах теплоотражающих экранов, установленных снаружи, увеличивается сопротивление теплопередачи до 1,76 м$^{2.0}$C/Вт и значительно повышается температура на внутреннем стекле, следовательно мы можем дополнительно понизить температуру воздуха внутри помещения (в зависимости от влажности внутри помещения) во время отсутствия людей.

Нам было интересно выяснить каким образом можно определить значение температуры до которой система автоматизации сможет понизить температуру воздуха $t_o^{вн}$ при дежурном режиме отопления при условии недопущения выпадения конденсата на внутренней поверхности стекла окна с повышенными теплозащитными свойствами (с применением теплоотражающих экранов).

После проведения математических преобразований было определено, что вышеуказанную температуру $t_{\partial}^{вн}$ можно вычислить следующим образом:

$$t_{\partial}^{вн} = \frac{\tau_p \cdot \alpha_{вн} \cdot R_{окна} - t_н}{\alpha_{вн} \cdot R_{окна} - 1} + \Delta t_{зап}, \quad (1)$$

где τ_p - температура точки росы при параметрах воздуха в рабочее время, ^{0}C;

$\Delta t_{зап}$ - температурный запас по недопущению конденсации (принимаем в 1 ^{0}C);

$R_{окна}$ - приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной зоны окна, м$^{2.0}$C /Вт;

$\alpha_{вн}$ - коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к стеклу, принимаем 8,7 Вт /м$^{2.0}$C;

$t_н$ - температура наружного воздуха, ^{0}C.

Температуру точки росы воздуха, находящегося в помещении в рабочее время, можно определить по формуле Магнуса-Тетенса [2] с погрешностью ±0,2 ^{0}C (в диапазоне температур от 5 до 25 ^{0}C, и в диапазоне относительных влажностей от 10 до 70 %):

$$\tau_p = \frac{b \cdot \gamma(t_р^{вн}, \varphi_p^{вн})}{a - \gamma(t_р^{вн}, \varphi_p^{вн})}, \quad (2)$$

где a = 17.27; b = 237,7;

$$\gamma(t_р^{вн}, \varphi_p^{вн}) = \frac{a \cdot t_р^{вн}}{b + t_р^{вн}} + \ln(\frac{\varphi_p^{вн}}{100}). \quad (3)$$

Согласно полученным формулам в вычислительных средах Mathcad и Excel нами была составлена программа по вычислению минимальной температуры воздуха при дежурном режиме отопления и использовании окон с теплоотражающими экранам.

Моделировалось изменение приведенного сопротивления светопрозрачной части окна R от 0,5 до полученных в результате эксперимента 1,757 м^2*^{0}C/Вт, температура наружного воздуха $t_н$ задавалась от минус 10 до минус 30 ^{0}C, температура воздуха в рабочее время фиксировалась на уровне 20 ^{0}C. Расчёт был произведён для относительной влажности φ, равной 35 и 50 %. Результаты расчётов можно увидеть на рисунке 1.

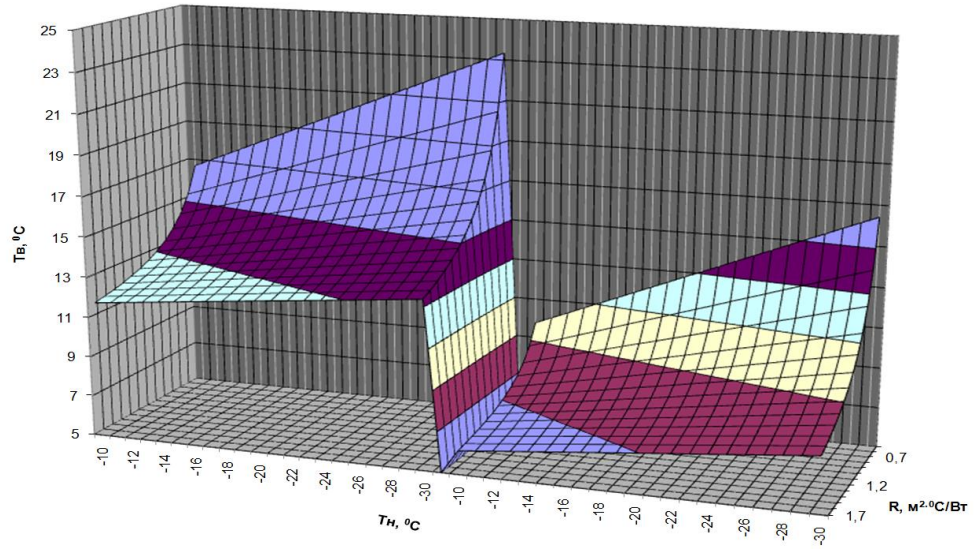


Рис. 1. Зависимость изменения минимально-допустимой температуры воздуха $T_в$ при дежурном режиме отопления от R и $t_н$. Левая половина графика - при φ=50 %, правая – при φ=35 %.

Авторами также была разработана и запатентована конструкция панели из теплоотражающих экранов с применением с наружной стороны солнечной батареи. Использование солнечной батареи позволяет вырабатывать электрическую энергию, обеспечивающую не только автономную работу окна с теплоотражающими экранами, но и частично (или полностью) покрывающую электрическую нагрузку потребителя, а также, при больших объёмах генерации, подаваемую во внешнюю электрическую сеть, причём КПД преобразования солнечного света в электроэнергию достигает 20 %. На рисунке 2 приведен наружный ставень с четырьмя теплоотражающими экранами. Наружный ставень содержит раму 1, выполненную, например, из пластикового материала, и теплоотражающие экраны 2, выполненные, например, из алюминиевой фольги. Расстояние между соседними теплоотражающими экранами 2 может составлять от 5 до 10 мм. Наружные теплоотражающие экраны 2 выполнены из алюминиевого листа толщиной не менее 200 мк, для обеспечения надежности конструкции и целостности экранов, внутренние теплоотражающие экраны выполнены из алюминиевой фольги толщиной 7-15 мк. С наружной стороны ставень снабжен солнечной батареей 3, состоящей, например, из тонкопленочных фотоэлементов, которая подключается к контроллеру (или к модульному центру) при помощи токопроводов 4. По периметру рамы 1 со стороны закрываемого проёма закреплен уплотняющий шнур 5. Наружный ставень устанавливают таким образом, чтобы в положении, когда проём закрыт, он плотно примыкал к наружной поверхности стены здания и обеспечивал исключение конвекции. Предусмотрено автоматическое (по средством электропривода) управление, обеспечивающее экономию времени на перемещение ставен при большом количестве окон, например, в производственных помещениях.

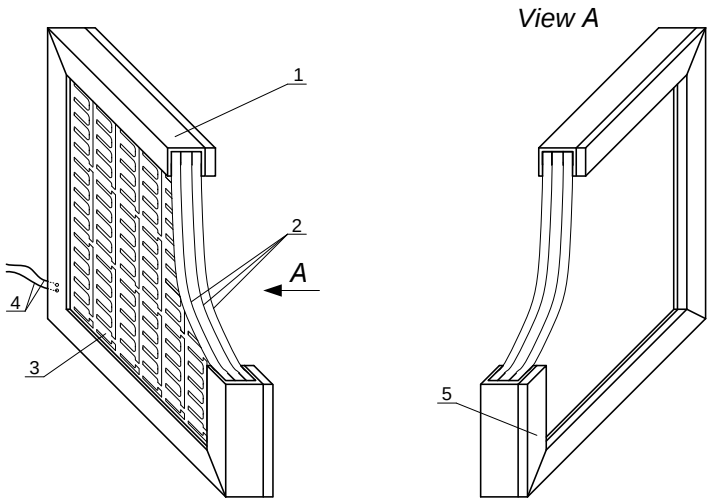


Рис. 2 Многофункциональный энергоэффективный ставень

Для определения экономии тепловой энергии за счёт применения теплоотражающих экранов был проведён анализ использования экранов для городов РФ и Франции, представляющие различные климатические зоны. Определялись потери теплоты за отопительный период с 1 квадратного метра окна. Данные расчётов представлены в таблице 2.

Максимальную экономию тепловой энергии мы получаем во всех городах в случае использования панельного теплоотражающего экрана и системы автоматизации, рассчитанной на поддержание в нерабочее время дежурного режима отопления с минимально-допустимой температурой воздуха, исходя

из условия недопущения конденсации, причём максимальную экономию (0,235 Гкал) мы получили для условий города Норильска. Для южных городов России и большинства населённых пунктов Франции в случае использования предложенных энергосберегающих мероприятий годовое потребление тепловой энергии на компенсацию трансмиссионных потерь будет минимально (от 0,11 до 0,28 Гкал/м^2).

Таблица 2.

Потери теплоты за отопительный период с одного квадратного метра светопрозрачных конструкций, Гкал

Город	Конт-роль, $Q_к$	С применением дежурного режима отопления **($t_{деж}$=12^{0}C и 16^{0}C),** $Q_{деж\ (12/16)}$	С применением экрана, $Q_э$	С применением экрана и дежурного режима отопления **($t_{деж}$=12^{0}C и 16^{0}C),** $Q_{деж(12/16)+э}$	С применением экрана и дежурного режима отопления с пониженной температурой, $Q_{деж(min)+э}$
Норильск	0,389	0,315	0,237	0,168	0,154
Москва	0,154	0,112	0,096	0,075	0,062
Сочи	0,043	0,023	0,027	0,017	0,011
Страсбург	0,111	0,088	0,057	0,049	0,028
Париж	0,099	0,076	0,051	0,042	0,025
Лион	0,099	0,076	0,052	0,044	0,026
Марсель	0,07	0,046	0,036	0,028	0,018

Получаем, что при применении окон с теплоотражающими экранами и солнечной батареей наблюдается тройной энергетический эффект: в отопительный период уменьшаются теплопотери за счёт увеличения сопротивления окна, снижаются затраты теплоты на нагрев помещения за счёт понижения температуры воздуха внутри помещения при дежурном режиме отопления, а также происходит выработка электрической энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бомон С., Хольтсвейлер Э., Захаров В.М., Смирнов Н.Н., Яблоков А.А., Лапатеев Д.А. Разработка и испытание автоматизированных окон с теплоотражающими экранами, отвечающих Российским и Европейским требованиям в области энергосбережения // Вестник ИГЭУ. –2013. – №5. – С. 13-24.

2. Barenburg, A.W.T.. Psychrometry and Psychrometric Charts, 3rd Edition. – Cape Town, S.A.: Cape and Transvaal Printers Ltd., 1974.

ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БУРОГО УГЛЯ ТАЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДЫ В ТОПКЕ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО КОТЛА

Сёмушкин В.П., Воронцова Е.С.
Научный руководитель: Гиль А.В., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ves@tpu.ru

TALOVSKOE DEPOSIT BROWN COAL CHARACTERISTICS STUDY FOR PULVERIZED –COAL FIRED BOILER FURNACE ATMOSPERE NUMERICAL SIMULATION

Semushkin V.P., Vorontsova E.S.
Scientific Supervisor: Gil A.V., PhD
National research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: ves@tpu.ru

Abstract. *Talovskoe deposit brown coal and its characteristics was researched. Computation method was used for lower calorific value, fuel consumption and heat for moisture evaporation calculations. Calculated data and coal moisture. The results are presented in graphical form. Talovskiy coal optimum moisture content should be within the range of 35-45% for fire and explosion safety. It is necessary to conduct a numerical simulation in order to examine Talovskiy coal application possibility as a non-project fuel for the existing equipment. The conducted research will allow to make a conclusion regarding power plant equipment reconstruction and modernization necessity.*

Одной из основ развития экономики современного общества является топливно-энергетический комплекс (ТЭК). Процессы развития науки и техники, уровень производственной базы и улучшение условий труда во многом зависят от состояния энергетики страны. Разработанные энергетические стратегии в ряде стран мира определяют свое место на мировом энергетическом рынке и предусматривают экстенсивный путь решения проблем отрасли, за счет увеличения добычи энергоресурсов. В связи с этим, в регионах нашей страны повышается роль местных топлив при производстве тепловой и электрической энергии.

Одним из таких видов топлива в Томской области является бурый уголь марки Б1 Таловского месторождения. Такие факторы, как непосредственная близость месторождения, сокращение транспортных расходов и закупочной стоимости топлива, становятся основополагающими при необходимости принятии решения по замещению привозных проектных энергоносителей на электростанциях г. Томска. Однако,
из-за своих специфических характеристик, относительно используемого топлива, его применение требует предварительных исследований.

Исходя из характеристик и состава [1], данный уголь относится к низкокалорийным, высоковлажным, среднезольным, малосернистым, высокореакционным, неспекающимся с невысокой тугоплавкостью золы. В таблице 1 представлены характеристики угля [2], принятые в качестве исходных.

Таблица 1.

Характеристики таловского угля в рабочем состоянии

W_t^r	A_t^r	V^{daf}	Q_i^r	C^r	H^r	O^r	S^r	N^r
%	%	%	МДж/кг	%	%	%	%	%
50,7	18,2	63,1	8,4	20,08	2,10	8,50	0,06	0,36

Таловский уголь имеет высокую теплоту сгорания сухой массы среди низкокачественных топлив. Для ее использования необходимо эффективное удаление влаги. Значение выхода летучих

показывает, что подсушенный уголь будет иметь высокую реакционную способность при воспламенении и горении. Поэтому для сжигания таловского угля в котельных установках тепловых электрических станций необходимо специальное оборудование: система пылеприготовления и горелочные устройства для обеспечения интенсивного массообмена [3].

Современные компьютерные технологии и наличие различных пакетов прикладных программ для численного моделирования с графическим отображением физико-химических процессов, позволяют оценить целесообразность применения данного вида топлива, эффективность и экологичность его использования, а также избавиться от дорогостоящих экспертиз и проверок в ходе эксплуатации.

Пакет прикладных программ ANSYS FLUENT предназначен для решения подобных задач, при помощи численного моделирования и визуальных инструментов, а также, благодаря автоматически обновляемым графикам погрешностей расчёта различных физических и тепловых параметров. В его основе лежит математическая модель пространственного турбулентного течения, процессов тепломассопереноса и горения твердого топлива в топочных устройствах ТЭС. Модель основана на смешанном Эйлер-Лагранжевом описании двухфазной среды и представляется следующими уравнениями [4]:

- уравнение неразрывности

$$\frac{\partial(\rho U_i)}{\partial x_i} = 0;$$

- уравнение количества движения (i = 1,2,3)

$$\frac{\partial \rho U_j U_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu+\mu_t)\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j}+\frac{\partial U_j}{\partial x_i}-\frac{2}{3}\frac{\partial U_k}{\partial x_k}\delta_{ij}\right)-\frac{2}{3}\rho k\delta_{ij}\right]_i - \rho g\delta_{2i};$$

- уравнение переноса энтальпии газовой смеси

$$\frac{\partial \rho U_k H}{\partial x_k} = -\frac{\partial}{\partial x_k}\left(\left(\frac{\lambda}{C_p}+\frac{\mu_t}{\mathrm{Pr}_t}\right)\frac{\partial H}{\partial x_k}\right) - div\, q_{rad,g} + \langle \vartheta \rangle + H\left(\left\langle \kappa^{coke}\right\rangle + \left\langle \kappa^{volat}\right\rangle\right);$$

- уравнение переноса концентраций компонент α газовой смеси

$$\frac{\partial \rho U_k C_a}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k}\left((\rho D_a + \frac{\mu_t}{Sc_t})\frac{\partial C_a}{\partial x_k}\right) + r_a;$$

- уравнения k-ε модели турбулентности

$$\frac{\partial \rho U_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left((\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k})\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + \mu_t |S|^2 - \rho\varepsilon;$$

$$\frac{\partial \rho U_j \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left((\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon})\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right) + \rho C_1 \varepsilon |S| - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k+\sqrt{\nu\varepsilon}};$$

- уравнение радиационного переноса

$$\alpha_g E_r = \frac{\partial}{\partial x_k}\left(\frac{1}{3\varsigma}\frac{\partial E_r}{\partial x_k}\right) + \sigma_0 \alpha_g T_g^4 - \langle s_{rad} \rangle;$$

где U – компоненты вектора скорости; ρ, P, T, c, μ – плотность, давление, температура, удельная теплоемкость, динамическая вязкость смеси соответственно; C – концентрация компонентов; k, ε – кинетическая энергия турбулентности и скорость ее диссипации; q_{rad} – компоненты вектора радиационного теплового потока; σ – постоянная Стефана–Больцмана; ς – коэффициент ослабления среды; α_g – коэффициент поглощения.

Исходя из того, что все характеристики таловского бурого угля, в том числе и влажность, известны в широком диапазоне из результатов предыдущих исследований, существует необходимость определения ее оптимального значения для дальнейшего численного моделирования.

Для выбора оптимальной влажности расчетным методом теплового расчета [5,6] получены значения низшей теплоты сгорания, расхода топлива и тепла на испарение влаги. На рисунках 1-3 представлены зависимости расчетных показателей от влажности угля в принятом диапазоне (от 20% до 60% – максимальной для таловского угля). Влажность в пределах от 20 до 40% взята для проверки верности расчетных исследований.

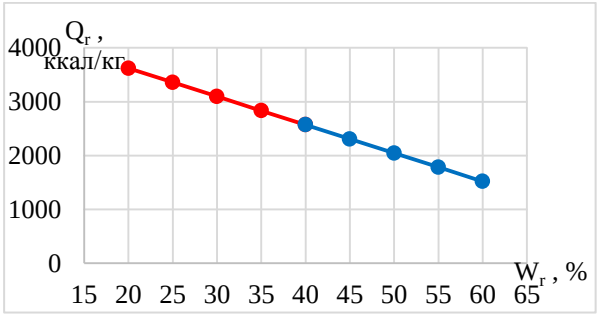


Рис. 1. Зависимость низшей теплоты сгорания от влажности бурого угля

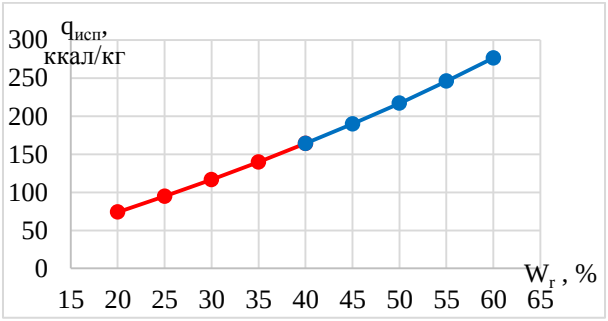


Рис. 2. Зависимость тепла, затраченного на испарение влаги от влажности бурого угля

Поскольку влажность топлива высокая, то в качестве сушильного агента принят воздух с рециркуляцией продуктов сгорания из верхней части топочной камеры и из-за золоуловителя, что позволяет поддерживать высокую температуру (350 °С) сушильного агента с обеспечением требований по взрывопожаробезопасности. Доля отбираемых дымовых газов на рециркуляцию составляет 5 %.

При влажности $W_t^r = 20 - 35\%$, низшая теплота сгорания Q_i^r имеет значения 3621,3-2532,87 ккал/кг, тепло, затраченное на испарение –7 3,93-139,75 ккал/кг.

При $W_t^r = 40 - 60\%$, $Q_i^r = 2570,06 - 1518,82\,ккал/кг$, $q_{исп} = 164,09 - 276,48\,ккал/кг$.

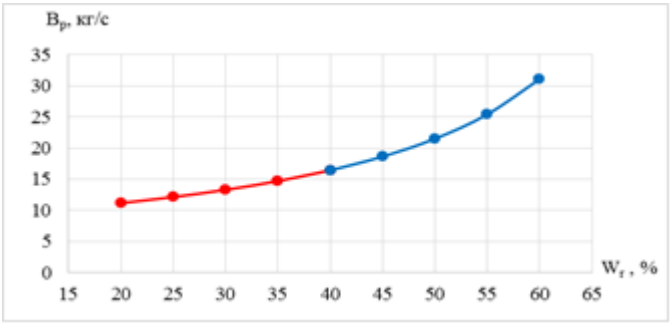


Рис 3. Зависимость расхода топлива от влажности бурого угля

Расход топлива при $W_t^r = 20 - 35\%$ равен 11,18-14,71 кг/с и 16,45-31,08 кг/с при влажности 40-60%.

Из рисунков 1 и 2 видно, что зависимости имеют линейный характер, что свидетельствует о верности проведенных расчетных исследований. Зависимость на рисунке 3 показывает, что расход топлива резко увеличивается при значениях влажности в пределах от 45 до 60%. Соответственно оптимальная влажность таловского угля при обеспечении требований по взрывопожаробезопасности должна быть в пределах 35-45%. Исходя из практики сжигания высоковлажных и взрывоопасных углей, рекомендуется применять систему пылеприготовления по замкнутой схеме с прямым вдуванием и молотковыми мельницами или мельницами-вентиляторами, применяемых для бурых углей при сушке смесью топочных газов с горячим воздухом.

Бурый уголь Таловского месторождения может использоваться в качестве проектного топлива для энергетических котлов [7], в топочной камере которых обеспечивается стабильное воспламенение и выгорание. Для проверки возможности использования таловского угля в качестве непроектного для действующего оборудования, исследования режимов работы и получения данных, свидетельствующих о необходимости проведения реконструкции или модернизации оборудования, следует провести численные исследования в специализированных пакетах прикладных программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Казакова О.А., Заворин А.С., Казаков А.В. Исследование Таловского месторождения Томской области : монография. – Томск: STT, 2010. -172 с.
2. Казаков А.В., Заворин А.С. Конверсия некондицируемых топлив в низкотемпературном режиме : монография. – Томск: STT, 2011. -258 с.
3. А.С. Заворин, С.К. Карякин, С.Г. Маслов и др. Теплотехнические свойства углей Таловского месторождения Томской области // Известия Томского политехнического университета. –2002. – Т. 305. – № 2. – С. 131–136.
4. Красинский Д.В., Саломатов В.В., Энхжаргал Х. Расчетный анализ параметров проектируемой кэс на буром угле шивэ-овооского месторождения монголии // VIII Всероссийская конференция с международным участием «Горение твердого топлива». – Новосибирск, 13–16 ноября 2012 г. – Т. 1 – С. 525.
5. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
6. Михайлов Н.М. Вопросы сушки топлива на электростанциях – М.,Л.: Госэнергоиздат, 1957. - 152 с.
7. A. V. Gil. Application of numerical analysis for physical and chemical combustion processes in design of boiler units [Electronic resources] // Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS) : proceedings of the International Conference, Tomsk, 16-18 October, 2014 / National Research Tomsk Polytechnic University (TPU) ; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). — [S. l.]: IEEE, 2014. — [4 p.]. — Title screen. — Доступ по договору с организацией-держателем ресурса. Режим доступа: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6986880 – 05.04.15.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Сёмушкин В.П., Юдин В.А.
Научный руководитель: Хаустов С.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: khaustovsa@tpu.ru

USING OF MODERN 3D MODELING METHODS FOR BOILER DESIGN

Semushkin V.P., Yudin V.A.
Scientific Supervisor: Khaustov S.A.
National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: khaustovsa@tpu.ru

На сегодняшний день процесс конструирования котельных агрегатов напрямую связан с нормативным методом [1], который не в полной мере раскрывает картину правильности принятых решений.

Для того, чтобы наглядно оценить или спрогнозировать процесс длительной эксплуатации спроектированного энергетического оборудования необходимо прибегнуть к использованию современных методов численного моделирования. В настоящее время существует огромное множество прикладных программ для расчета, моделирования и графического отображения физико-химических процессов, протекающих в процессе работы котла. Это широко известные среди специалистов в области энергетики пакеты прикладных программ ANSYS FLUENT и FIRE 3D. Использование этих профессиональных программных продуктов позволяет [2]:

- избавиться от трудоемких и дорогостоящих проверок и экспертиз;
- прорабатывать большее количество конструктивных вариантов за короткий срок;
- оценить технико-экономические и экологические стороны эксплуатации еще на стадии проектирования.

Исходя из всего вышеперечисленного, следует цель – разработка проекта эффективной, высокопроизводительной котельной установки на базе барабанного котла П-образной компоновки паропроизводительностью 210 т/ч для работы на буром угле Подмосковного бассейна в составе энерготехнологического комплекса Райчихинской ГРЭС.

Научная новизна работы состоит в использовании универсального современного программно-вычислительного комплекса для проведения инженерных расчетов методом конечно-элементного анализа ANSYS CFD.

Топочная камера (рис. 1 а) котла Е-210-11-515 БТ оборудована шестью прямоточными щелевыми горелками, установленными тангенциально к условной окружности диаметром 1 м (рис. 1 б). С целью эффективного смесеобразования и интенсивного воспламенения топлива горелки расположены в один ярус, а тепловая мощность каждой (рис.1 в) составила 25 МВт.

Численные исследования, велись согласно значениям, полученным в результате нормативного теплового расчета. По результатам которого, распределение температур рабочего тела и дымовых газов по поверхностям нагрева спроектированного котельного агрегата имеет вид, представленный на рисунках 2 и 3. Сводные технические характеристики спроектированного котла приведены в таблице 1.

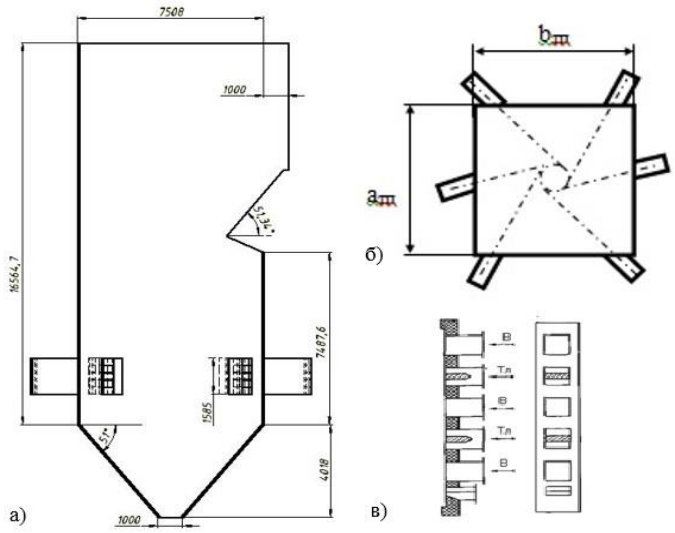


Рис. 1. Топочная камера с тангенциальным расположением прямоточных горелок котла Е-210-11-515 БТ

Таблица 1

Сводные технические характеристики котла Е-210-11-515 БТ

Паропроизводительность, D	Расход топлива, $B_р$	КПД (брутто), $\eta_к$	Температура пара, t		Давление пара, P	
			насыщенного	перегретого	в барабане	перегретого
т/ч	кг/с	%	°С		МПа	
210	16,70	90,84	329	515	13,7	11

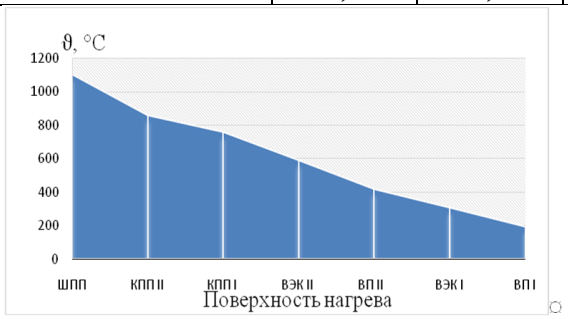


Рис. 2. Средние значения температуры дымовых газов в поверхности нагрева

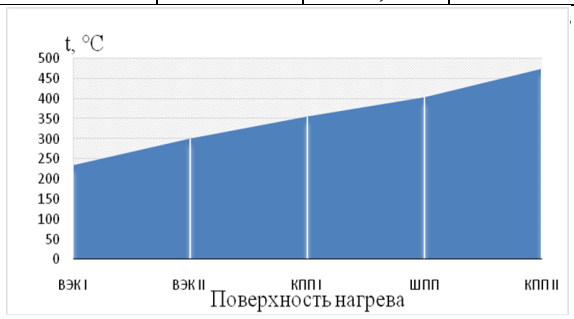


Рис. 3. Средние значения температуры рабочего тела в поверхности нагрева

В процессе аэродинамического расчета определены сопротивления газового тракта – 180,42 мм. вод. ст. и перепад давлений по газовому тракту – 133,7 мм. вод. ст. Спроектированы газопроводы и произведен выбор золоуловителей и дымососов: два электрофильтра типа УГ2-3-53-01 с производительностью по газам 286000 м^3/час и два дымососа двустороннего всасывания типоразмера ДН-18×2 с частотой вращения, равной 590 об/мин. По условиям отвода газов и рассеивания содержащихся в них SO_2 и других вредных веществ рассчитана дымовая труба, высота которой по СНиП II-Г.9-65 составляет 200 м.

С помощью средств численного моделирования, таких как ANSYS FLUENT, анализировался процесс горения твердого топлива в топочной среде [3]. Полученные результаты, представлялись в виде векторных полей, линий тока и контурных графиков: распределения температуры и скоростей движения среды по объему топочной камеры.

Вследствие, тангенциального размещения горелок и прямоточной подачи топливно-воздушной смеси, температура в пристеночной области распределяется достаточно равномерно, что обеспечивает

равномерный прогрев теплоносителя и не допускает перегрева и пережога материала стен (рис. 4). Кроме того, наблюдается кольцевое ядро горения, расположенное в центре топочной камеры, что соответствует выбранной организации сжигания бурого угля. Температура горения в ядре факела составляет около 1750 ºС (рис. 4).

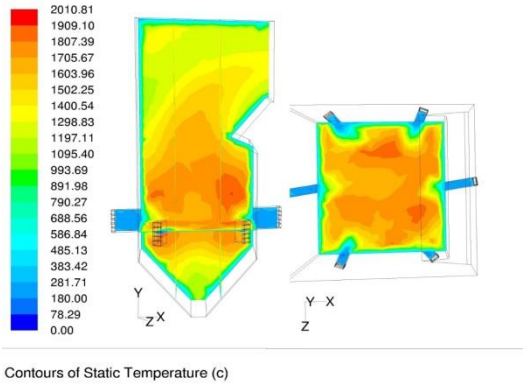


Рис. 4. Распределение температуры в объёме топки котлоагрегата

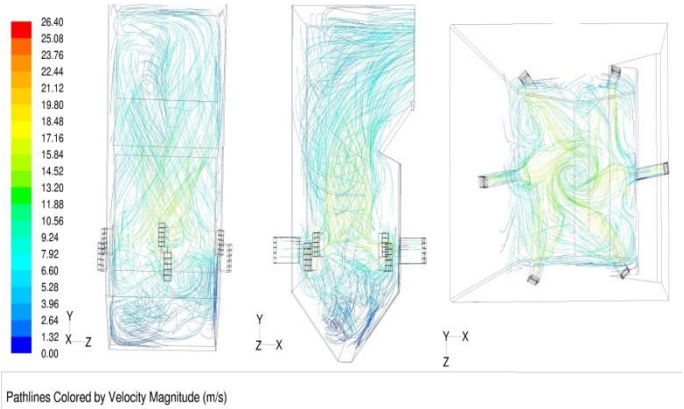


Рис. 5. Линии тока по скоростям с цветовой индексацией

В объеме топки исследуемого котла наблюдается выраженная вихревая аэродинамика с неравномерным распределением скоростей движения топочной среды по продольному сечению (рис. 5), что объясняется интенсивным вихревым перемешиванием потоков в ядре горения. Вследствие аэродинамического торможения скорость горелочной струи снижается с 21 м/с до 12 м/с. В области выходного окна скорость дымовых газов составляет около 5 м/с и не противоречит значению, рассчитанному по нормативной методике [1].

По результатам численного моделирования, выбранная конфигурация горелочного оборудования способствует стабильному воспламенению пылевоздушной смеси и устойчивому горению. Расчетные объемные температурные поля (рис. 4) свидетельствуют надёжной работе проектируемой топочной камеры по условиям распределения тепловых потоков для исключения негативных гидродинамических эффектов в контуре циркуляции. В целом выбранная конструктивная схема котельного агрегата соответствует всем требованиям надежности и экологичности. Представленный в работе проект котельной установки на базе котла Е-210-11-515 БТ может стать основой для разработки и выполнения конструкторско-проектных решений, мероприятий по замене и модернизации основного оборудования Райчихинской ГРЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – СПб.: Издательство НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Гиль А.В., Заворин А.С., Лебедь Д.В., Старченко А.В. Численное исследование сжигания резервного топлива в топке котла БКЗ-210-140 // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325. – № 4. – С. 65–75.
3. Хаустов С.А., Заворин А.С. Численное исследование аэродинамики жаротрубной топки с реверсивным факелом // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 4. – С. 5–9.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ ГАЗИФИКАЦИИ УГОЛЬНОГО КОКСА

Слюсарский К.В., Короких А.Г.
Научный руководитель: Короких А.Г., доцент, д.ф-м.н.
Томский политехнический университет, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: konstantinsv@tpu.ru

EFFECT OF OXIDIZING MEDIUM TEMPERATURE ON THE GASIFICATION RATE OF COAL CHAR

Slyusarskiy K.V., Korotkikh A.G
Scientific Supervisor: Ass.Prof., Dr. Korotkikh A.G.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050 E-mail: konstantinsv@tpu.ru

В настоящее время особое внимание уделяется вопросам газификации твердых топлив, в частности каменного угля и антрацита, с целью замещения традиционных органических топлив для сжигания на электростанциях в процессе производства тепловой и электрической энергии, а также получения синтез-газа и водорода для нужд химической и металлургической промышленностей [1, 2]. Применение технологии газификации твердого топлива на тепловой электростанции позволяет решить проблему загрязнения окружающей среды и утилизации дымовых газов.

Процесс газификации твердого топлива осуществляется в газогенерирующих установках при подаче газообразного окислителя, в которых протекают основные гетерогенные химические реакции углерода с кислородом и водяным паром с образованием моно- и диоксида углерода, а также углерода с углекислым газом [3]:

$$C + CO_2 = 2CO.$$

Экспериментальное исследование процесса газификации твердого топлива и гетерогенных реакций углерода с диоксидом углерода является важным, т. к. данные реакции тесно связаны с гетерогенными реакциями углерода с кислородом и водяным паром [3]:

$$C + O_2 = CO_2, \quad C + H_2O = CO + H_2, \quad C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2.$$

В данной работе представлены значения скорости изменения массы угольного кокса в зависимости от температуры окислительной среды и сорта твердого топлива, а также значения энергии активации гетерогенной реакции окисления углерода на основе обработки экспериментальных данных термического анализа образцов кокса для трех марок топлив Кузнецкого и Канско-Ачинского угольных бассейнов в среде диоксида углерода в диапазоне температур 900–1200°C.

В экспериментальном исследовании использовались образцы углей Кузнецкого и Канско-Ачинского месторождений с размером частиц менее 80 мкм. Содержание углерода в образцах антрацита составило 89 масс. %, каменного угля – 74 масс. % и бурого угля – 66 масс. %.

Перед проведением термического анализа исследуемые образцы твердого топлива сначала подвергались пиролизу в среде аргона при нагреве в печи SNOL 30/1100 со скоростью 50 °C/мин до температуры 1000 °C с целью получения угольного кокса, удаления влаги и легколетучих компонентов из исходного топлива. Образцы топлив помещались в керамические тигли и выдерживались в печи в течение одного часа, затем охлаждались до температуры 400 °C.

Термический анализ полученных образцов угольного кокса массой ~ 20 мг проводился с использованием совмещенного ТГ-ДСК анализатора Netzsch STA 449 F3 Jupiter. Исследуемые образцы угольного кокса нагревались в печи при подачи сначала аргона со скоростью 50 °C/мин до температуры

900, 1000, 1100 или 1200 °С. Объемный расход аргона был равен 10 мл/мин. При достижении заданной температуры нагрева в печи инертная газовая среда изменялась на смесь диоксида углерода с аргоном в соотношении 24/1, при этом объемный расход составлял 250 мл/мин. Время изотермической выдержки образцов угольного кокса при исследовании процесса окисления углерода составляло от 60 до 120 мин. в зависимости от температуры нагрева печи.

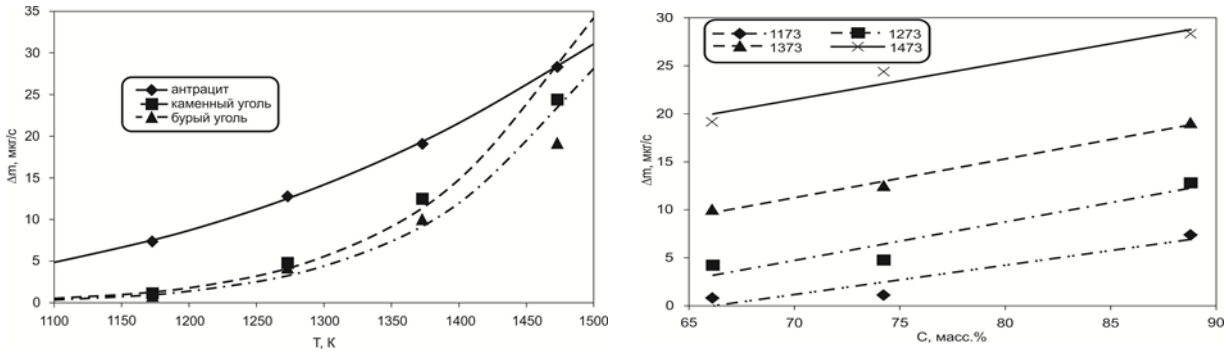
Проведено три параллельных измерения синхронного ТГ-ДСК анализа для каждого образца угольного кокса при различных значениях температур нагрева в печи. В период нагрева образцов угольного кокса до заданной температуры в аргоне уменьшение массы навески составляло от 2 до 4 % от начальной массы в зависимости от марки топлива. При подаче диоксида углерода в нагретую печь наблюдались эндотермические реакции окисления углерода с уменьшением массы навески образцов на 60 % – каменноугольного кокса и 82–83 % – кокса антрацита и бурого угля. С увеличением температуры диоксида углерода в печи время процесса газификации исследуемых образцов уменьшается, скорость изменения массы и химических реакций окисления углерода возрастает.

Согласно уравнению Аррениуса [4] скорость изменения массы топлива при гетерогенной реакции окисления углерода описывается выражением:

$$v = A_0 \exp\left(-E_a / RT\right), \quad (1)$$

где v – скорость изменения массы, кг/с; A_0 – предэкспонент, кг/с; E_a – энергия активации, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(кг К); T – температура, К.

На основе полученных данных ТГ-анализа определены зависимости скорости изменения массы исследуемых образцов угольного кокса от температуры диоксида углерода (рис. 1*а*).



а) *б*)

Рис. 1. Скорость изменения массы исследуемых образцов угольного кокса от температуры окислительной среды (а) и содержания углерода в образцах твердого топлива (б)

С увеличением содержания углерода в составе исходного образца твердого топлива скорость изменения массы угольного кокса увеличивается, за счет увеличения концентрации углерода на реакционной поверхности образца. Причем для угольного кокса антрацита с 89 масс. % содержанием углерода скорость изменения массы образца на 4–5 мкг/с больше, чем для коксов бурого и каменного углей, содержащих 66 и 74 масс. % углерода при температуре окружающей среды 1100 °С. Отметим, что с увеличением температуры диоксида углерода в печи характер зависимости изменения массы образцов изменяется (рис. 1*б*). Определены значения энергии активации и предэкспоненты реакции окисления углерода для исследуемых образцов угольного кокса в среде диоксида углерода в диапазоне температур 900–1200 °С. Полученные значения констант уравнения (1) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Энергия активации и предэкспонент реакции окисления углерода для исследуемых образцов кокса

Параметр	Значения констант кинетики реакции для образцов угольного кокса		
	антрацита	каменного угля	бурого угля
E_a, кДж/моль	64	148	151
A_0, кг/с	0.0052	4.9324	5.1801

Полученные значения энергии активации и предэкспоненты исследуемых образцов твердых топлив соответствуют диапазону справочных данных для высокосортных и низкосортных марок углей [2]. Анализ полученных значений констант реакции показал, что с увеличением содержания углерода в составе твердого топлива и угольном коксе энергия активации и предэкспонент реакции уменьшаются, что свидетельствует о том, что скорость газификации высокосортных углей сильнее зависит от температуры газовой среды. С увеличением содержания золы в составе топлива, зависимость скорости изменения массы и газификации от температуры газовой среды снижается.

ВЫВОДЫ

1. Исследован процесс окисления углерода для трех различных марок угольного кокса в среде диоксида углерода при различных значениях температур, с целью определения скорости химических реакций, энергии активации для расчета и оптимизации режимов работы газогенератора. В качестве образцов твердого топлива использованы каменный и бурый угли, антрацит Кузнецкого и Канско-Ачинского угольных бассейнов с различным содержанием углерода.

2. Получены данные термогравиметрического анализа при газификации образцов угольного кокса в среде диоксида углерода в диапазоне температур 900–1200 °С, по которым определены зависимости скорости изменения массы образцов угольного кокса от температуры окислительной среды и содержания углерода в исходном твердом топливе. Рассчитаны значения предъэкспоненты и энергии активации гетерогенной реакции окисления углерода в среде диоксида углерода. С увеличением содержания углерода в составе твердого топлива и угольном коксе энергия активации и предэкспонент реакции уменьшаются, что свидетельствует о том, что скорость газификации высокосортных углей сильнее зависит от температуры окислительной среды. С увеличением содержания золы в составе твердого топлива, зависимость скорости изменения массы и газификации от температуры газовой среды снижается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сулимов Д.Д. Газотурбинные установки ОАО «Авиадвигатель» для работы на синтез-газе, полученном в результате газификации угля // Теплоэнергетика. – 2010. – № 2. – С. 27–29.

2. Roberts D.G., Hodge E.M., Harris D.J., Stubington J.F. Kinetics of char gasification with CO_2 under regime II conditions:effects of temperature, reactant, and total pressure // Energy Fuels. – 2010. – Vol. 24. – P. 5300–5308.

3. Kim S.K., Park C.Y., Park J.Y., Lee S., Rhu J.H., Han M.H., Yoon S.K., Rhee Y.W. The kinetic study of catalytic low-rank coal gasification under CO_2 atmosphere using MVRM // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2014. – Vol. 20. – P. 356–361.

4. Померанцев В.В. Основы практической теории горения. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОНВЕРСИИ В ТОРФЯНОМ СЛОЕ

Субботин Д.В., Казанов А.М.
Научный руководитель: Казаков А.В., доцент, к.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dvs5@tpu.ru

RESEARCH LOW TEMPERATURE CONVERSION IN THE PEAT LAYER

Subbotin D.V., Kazanov A.M.
Scientific Supervisor: Kazakov A.V., associate professor, Ph.D.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: dvs5@tpu.ru

Abstract

This article describes the prospects of using of peat as the raw material for gasification to produce high potential synthesis gas. Shown that recycling low grade fuels and, in particular, peat does possible using these energy sources as alternatives to more traditional coal and natural gas. Were analyzed features low temperature conversion of peat in layer and made computer simulations of this process under different conditions. Been found the influence of temperature on the basic peat processing properties of the resulting gas, such as combustion heat and the elemental composition of the gaseous components.

Аннотация

В данной статье рассмотрены перспективы использования торфа как сырья для газификации с получением высокопотенциального синтез-газа. Показано, что переработка низкосортного топлива и, в частности, торфа делает использование этих энергоресурсов возможной альтернативой применению более традиционных угля и природного газа. Проанализированы особенности низкотемпературной конверсии торфа в слое и проведено компьютерное моделирование данного процесса при различных условиях. Установлено влияние температуры переработки торфа на основные свойства получаемого газа, такие как теплота сгорания и элементный состав газообразных компонентов.

ВВЕДЕНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ

Снижение использования в современной энергетике качественных твердых топлив при одновременном повышении доли низкосортных видов топлив, ужесточение экологических требований, нестабильная ситуация с ценами на нефть и нефтепродукты вызывают всё больший интерес к альтернативным источникам сырья – местным низкокачественным топливам, растительной биомассе и отходам промышленных предприятий.

При грамотном использовании низкосортное топливо является ценнейшем технологическим и энергетическим ресурсом для получения наряду не только тепловой и электрической энергии, но и различных товарных продуктов и химического сырья [1-4].

В настоящее время развитие энергетического комплекса Российской Федерации ориентируется на увеличение доли использования низкосортных топлив. Помимо этого программы энергосбережения затрагивают вопрос о вовлечении значительных запасов невостребованного энергетического топлива, которым являются высокозольные и высоковлажные угли, торф, отходы деревообработки, горючие сланцы и отходы углеобогащения.

Применение низкосортных топлив, по ряду экономических и технологических причин, может быть осуществлено, как правило, только вблизи районов их залегания и добычи. В первую очередь это связано с очень высокими расходами на транспортировку такого топлива, особенно в его естественном виде. Однако данный разряд энергоносителей может быть использован для покрытия собственных потребностей отдельных регионов, богатых такими ресурсами. Также достаточно перспективным можно считать методы конверсии низкосортного топлива в более высокоэнергетические, путём, например, их газификации [3].

Обычное сжигание органического топлива, в том числе и торфа, происходит при высоких температурах (более 1000 °С) с выделением в окружающую среду большого количества вредных веществ, которые загрязняют атмосферу. Высокая температура горения повышает требования к качеству конструкции теплогенераторов и котлов. Важным является поиск новых методов получения и применения тепловой энергии, которые повысят общую эффективность использования местных ресурсов, а также, помогут улучшить экологическую обстановку. Одним из решений данной проблемы может быть низкотемпературная конверсия органических соединений с получением горючего газа [5].

Генераторный газ, как топливо, имеет несомненные преимущества перед прямым сжиганием торфа и других видов биомассы. Сжигание газа легко автоматизировать; продукты сгорания менее токсичны, чем продукты прямого сжигания торфа и др. видов биомассы. Также, одним из возможных способов его применения является его использования в топливных элементах для получения электроэнергии за счёт химических реакций [6].

Для оценки потенциала низкотемпературной конверсии было проведено компьютерное моделирование данного процесса при различных температурах (рис. 1-3).

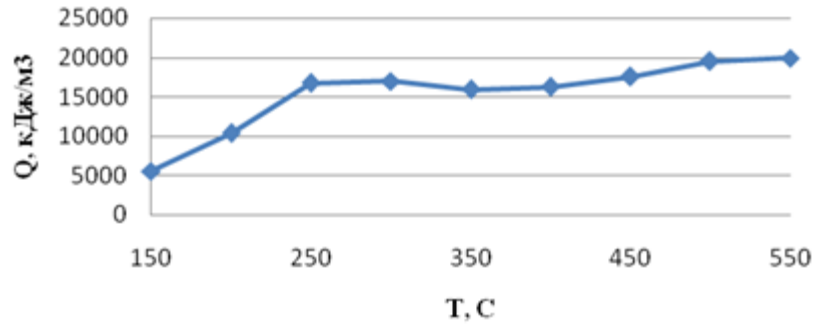


Рис. 1. Зависимость теплоты сгорания получаемого газа от температуры переработки

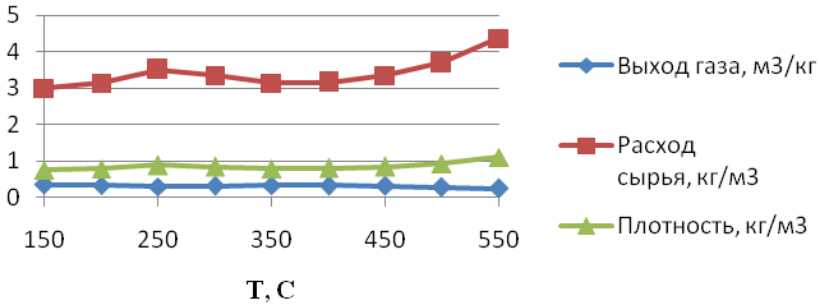


Рис. 2. Влияние температуры конверсии на свойства газа и расход торфа

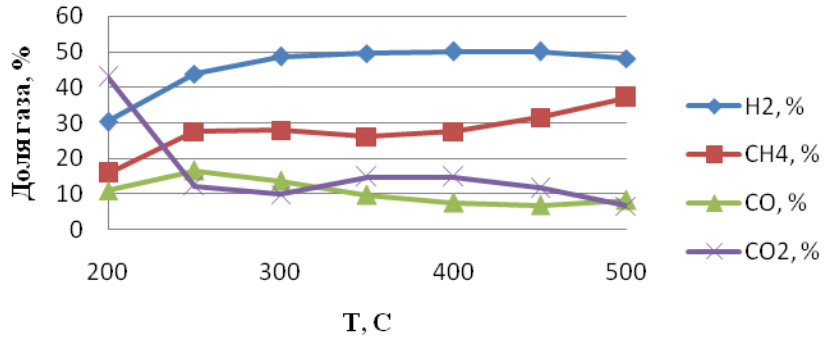


Рис. 3. Влияние температуры переработки на выход газообразных компонентов

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Полученные результаты наглядно показывают высокую эффективность конверсии торфа в диапазоне заданных температур. Наиболее оптимальным выглядит режим конверсии при температуре 300 ºС, так как в этом случае наблюдается достаточно высокая теплотворная способность получаемого газа и приемлемый расход торфа. В целом же повышение температуры конверсии способствует повышению качества конечного продукта, в связи с увеличением общего выхода газа и повышением доли высокопотенциальных горючих компонентов в нём.

Низкотемпературная конверсия (пиролиз) в слое позволяет повысить эффективность процесса термической переработки органики, в частности торфа, за счет увеличения выхода горючих газов с высокой теплотой сгорания и снижения температуры самого процесса пиролиза. Другим достоинством при этом является возможность снижения вредных выбросов за счет снижения температуры окислительных процессов.

Работа выполнена в рамках ГЗ НИР № 2069 (2.1322.2014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Табакаев Р.Б., Казаков А.В., Заворин А.С. Перспективность низкосортных топлив Томской области для теплотехнологического использования // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 4. – С. 41–46.

2. Казаков А.В., Заворин А.С., Новосельцев П.Ю., Табакаев Р.Б. Малая распределенная энергетика России: совместная выработка тепло- и электроэнергии // Вестник науки Сибири. – 2013. – №. 4. – С. 13–18.

3. Заворин А.С., Казаков А.В., Макеев А.А, Подоров С.В. .Исследование процесса генерации газа в автономных энергетических установках // Теплоэнергетика. – 2010. – № 1. – С. 74–78.

4. Табакаев Р.Б., Заворин А.С., Казаков А.В., Черемисин И.Г. Теплотехнология переработки низкосортного топлива в высококалорийные топливные брикеты // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014. – № 6. – С. 29–33.

5. Батенин В.М., Бессмертных А.В., Зайченко В.М., Косов В.Ф., Синельщиков В.А. Термические методы переработки древесины и торфа в энергетических целях // Теплоэнергетика. – 2010. – № 11. – С. 36–42.

6. Попов В.М., Шабаров А.М., Гущин А.И., Базов И.А. Энергетическое использование фрезерного торфа – М.: Энергия, 1974. – 261 с.

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ ТАДЖИКСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА РАВЕНСТВА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПРИРОСТОВ

Султонов Ш. М.
Научный руководитель: Секретарев Ю. А., профессор, доктор техн.наук
Новосибирский государственный технический университет,
Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т. К. Маркса 20,
E-mail: sultonzoda.sh@mail.ru

OPTIMUM LOAD DISTRIBUTION BETWEEN HYDROELECTRIC POWER STATIONS OF THE TAJIK POWER SUPPLY SYSTEM ON THE BASIS OF THE METHOD OF EQUALITY OF THE RELATIVE INCREASES

Sultonov Sh. M.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Sekretarev Yu. A.
Novosibirsk State Technical University, Russia, 630073, Novosibirsk, K. Marksa str., 20,
E-mail: sultonzoda.sh@mail.ru

Гидроэнергетика является основой энергетики Таджикистана. Таджикистан обладает огромными потенциальными запасами гидроресурсов, из которых реализованы лишь 5%. Следует отметить, что более 98% электроэнергии, вырабатываемой в Таджикистане, получают на гидроэлектростанциях. Но так как выработка электроэнергии на ГЭС имеет сезонный характер в зимнем периоде в стране ощущается нехватка электроэнергии. Отсутствие связей с энергосистемами соседних стран и резкое уменьшение внутреннего спроса в летний период вынуждает систему работать с избыточным резервом мощности. В летное время имеется избыток электроэнергии в объеме 3-7 млрд кВт·ч. Зимний дефицит электроэнергии составляет от 2,3 до 2,5 млрд. кВт*ч. В связи с этим в зимний период страна вынуждена вводить официальные ограничения на поставку электроэнергии [1]. Учитывая все это необходимо найти пути решения проблемы дефицита электроэнергии. Необходимо применят различные методы, которые позволяли бы оптимально использовать гидроэнергоресурсов и тем самым повысить выработку электроэнергии в стране в зимнем периоде. Одной из задач которое необходимо решить для оптимального режима работы станций в энергосистемы Таджикистана является оптимальное распределение нагрузки между гидроэлектростанциями энергосистемы, соответствующее минимуму суммарного расхода воды, с учетом потерь активной мощности в сетях. Для решения задачи оптимального распределения нагрузки между станциями можно использовать различные методы оптимизации. Метод равенства относительных приростов, созданный на базе метода неопределенных множителей Лагранжа, получил широкое применение при решении задач оптимизации в электроэнергетике, его удобно применять при нахождении оптимального распределения нагрузки между станциями энергосистем [2]. Допустим, что в энергосистеме работает n гидростанций (i=1,2,..n). Каждая ГЭС за период T может израсходовать определенное количество воды. Задача заключается в том, чтобы в каждом расчетном интервале всего периода T получить оптимальное распределение нагрузки между станциями при заданном расходе [3].

Математическая модель:

1. Целевая функция:

$$Q = \sum_{t=1}^{k} \left(\sum_{i=1}^{n} Q_{it} \Delta \tau_t \right) \Rightarrow \min \qquad (1)$$

где t=1, 2, .., k – интервал времени, продолжительностью $\Delta \tau_t$ (всего интервалов - k).

2. Уравнения связи – расходная характеристика каждой ГЭС, - $Q_i(P_i)$.

3. Уравнения ограничений:

а) Для каждого расчетного интервала имеется балансовое уравнение активной мощности (k - уравнений):

$$W_{Pt} = P_{нt} + \Delta P_{\sum t} - \sum_{i=1}^{n} P_{it} \tag{2}$$

где: $\Delta P_{\Sigma t}$ - суммарные потери активной мощности в электрической сети.

б) Для каждой ГЭС задается ограничения по стоку (n-уравнений):

$$W_i = W_{Qi} - \sum_{t=1}^{t=k} Q_{it} \cdot \Delta\tau_t = 0 \tag{3}$$

где: W_{Qi} – заданные ограничения стока воды для *i*-й ГЭС;

Q_{it} - расход воды для *i*-й ГЭС в интервал времени *t*.

Функция Лагранжа имеет вид:

$$\Phi = \sum_{t=1}^{k}\sum_{i=1}^{n} Q_{it} + \sum_{t=1}^{k} \lambda_t \left(\sum_{i=1}^{n} P_{it} - P_{нt} - \Delta P_{\sum t}\right) + \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \left(\sum_{t=1}^{k} Q_{it}\Delta\tau_i - W_{Qt}\right) \Rightarrow \min \tag{4}$$

Критерий оптимального распределения нагрузки между станциями энергосистемы является равенства относительных приростов станций. Находя минимум относительно P_{it}, λ_t, λ_i получим уравнения оптимального распределения активной нагрузки между ГЭС:

$$\begin{cases} \lambda_1 \dfrac{q_{1t}}{1-\sigma_{1t}} = \lambda_2 \dfrac{q_{2t}}{1-\sigma_{2t}} = \ldots = \lambda_n \dfrac{q_{nt}}{1-\sigma_{nt}} \\ P_{1t} + P_{2t} + \ldots + P_{nt} = P_{нt} + \Delta P_{\sum t} \end{cases} \tag{5}$$

где: λ_i - неопределенный множитель Лагранжа, величина которого подбирается так, чтобы обеспечить ограничение стока воды на *i*-й ГЭС (3);

$q_{it} = \dfrac{\partial Q_i}{\partial P_i}$ - относительный прирост расхода воды на *i*-й ГЭС в интервал времени *t*;

$\sigma_{it} = \dfrac{\partial \Delta P_{\sum t}}{\partial P_i}$ - относительный прирост потерь активной мощности в сети, отнесенный к *i*-й ГЭС.

Методика расчета сводится к подбору на каждой ГЭС коэффициента λ_i и решения системы уравнений (5) с последующей проверкой ограничений (3). Данная задача достаточно сложна для расчета, так как изменение λ_i на одной из ГЭС влияет на режимы других станций, на которых приходится корректировать свои λ. Особенностью Вахшского каскада ГЭС является тот факт, что регулирующей станцией по водотоку является Нурекская ГЭС, а все остальные ГЭС (за исключением Кайракумской ГЭС) работают на транзитном стоке, определяемом Нурекской ГЭС. Это так же накладывает свои особенности при расчете оптимальных режимов.

Основными исходными данными при использовании метода Лагранжа являются характеристики относительных приростов (ХОП) всех ГЭС и определение заданного количества расхода воды W_{Qi} для каждой ГЭС. В [4] было показано построение ХОП, представлены в виде полиномов для

рассматриваемых ГЭС. Однако полиномиальная форма ХОП ГЭС пригодна лишь для средне интервальных характеристик. Для мгновенных характеристик это дает большую погрешность, особенно в случае ограничений по максимальной мощности агрегатов, так как в этом случае ХОП ГЭС получается сложной формы. Например, ХОП Сангтудинской ГЭС-1 имеют следующий вид (рисунок 1).

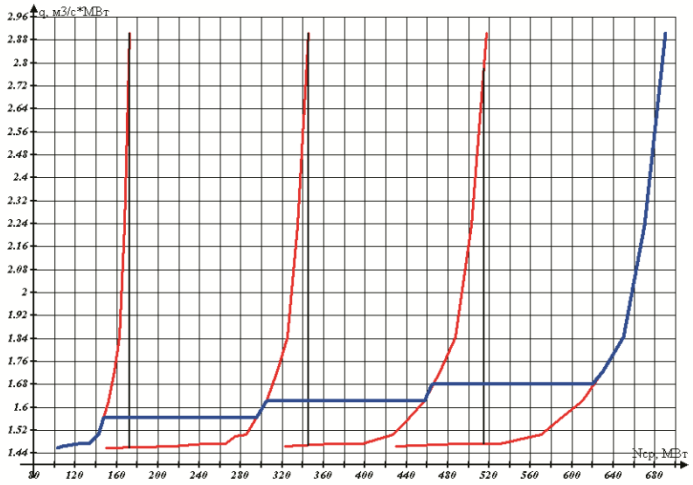


Рис.1. Характеристика относительного прироста Сангтудинской ГЭС-1

Такие характеристики лучше всего представлять в виде массива точек (N_j, q_j), а находить один параметр через другой с помощью кусочно-линейной аппроксимации.

Заключение

Таким образом, используя метод равенства относительных приростов для оптимизации режимов работы ГЭС энергосистемы Таджикистана можно решить вопрос снижения дефицита электроэнергии в стране путем повышения выработки электроэнергии в энергосистеме. Характеристики относительных приростов, построенные и представлены в виде кусочно-линейной аппроксимации для Нурекской, Байпазинской, Сангтудинской-1, Сангтудинской-2, Головной и Кайрокумской ГЭС являются основным исходным данным при использовании метода относительных приростов для оптимизации режимов энергосистемы Таджикистана. Работа является актуальной для Таджикистана. Внедрение этого метода в энергосистеме Таджикистана является своевременным и поможет решить ряд проблем, которые до сих пор ни нашли своё решение при управлении энергосистемой.

Список литературы

1. Секретарев Ю.А. Применение оптимизационных методов для наивыгоднейшего распределения активной мощности между гидроэлектростанциями энергосистемы Таджикистана. / Ю.А. Секретарев, Ш.М. Султонов, А.Д. Мехтиев // Вестник Таджикского технического университета №4. 2014. С. 60-64.

2. Гидроэнергетика: учебное пособие / Т.А. Филиппова, М.Ш. Мисриханов, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина. – 2-е изд., перераб. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 620с.

3. Горнштейн В.М. Наивыгоднейшие режимы работы гидростанций в энергетических системах. - М.: Госэнергоиздат, 1959 - 248 с.

4. Sultonov S. Implementation of the Method of Lagrange for Optimal Modes of Energy System of Tajikistan / S. Sultonov, Y. Sekretarev, S. Mitrofanov // Applied Mechanics and Materials. - 2015. - Vol. 698. - pp. 726-731

АППРОКСИМАЦИЯ ГРАНИЦ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ УРАВНЕНИЙ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ

Тихомиров Е.О., Сенько В.В.
Научный руководитель: Сенько В.В., к.т.н., доцент
Самарский государственный технический университет
Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, 443100
E-mail: tikhomirov-aees-3-2@yandex.ru, senko-aees@yandex.ru

BOUNDARY APPROXIMATION STABILITY AREA BECAUSE OF SOLUTION MODIFIED EQUATION LIMIT LOAD OPERATION

Tikhomirov E.O., Senko V.V.
Scientific coordinator: Senko V.V., Cand.Sc., associate professor
Samara State Technical University
Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244, 443100
E-mail: tikhomirov-aees-3-2@yandex.ru, senko-aees@yandex.ru

На современном этапе электроэнергетика РФ постепенно переходит к новой технологической платформе, в основу которой положена концепция интеллектуальных электрических сетей (Smart Grid). Разработка и эксплуатация интеллектуальных электроэнергетических систем (ЭЭС) требует создания новых подходов к решению задач оперативного управления. В этих условиях построение границ области статической устойчивости (СУ), разработка новых методов ее аппроксимации являются актуальными задачами. Одним из эффективных методов построения границ области устойчивости (ОУ) является решения уравнений предельных режимов (УПР).

Модифицированная форма записи УПР имеет вид [2]:

$$\left.\begin{array}{l} \mathrm{F}\left[\mathrm{X},\mathrm{Y}(\mathrm{T})\right]=0; \\ \mathrm{V}\left[\mathrm{X},\mathrm{Y}(\mathrm{T}),\mathrm{R}\right]=\left(\dfrac{\partial \mathrm{W}}{\partial \mathrm{X}}\right)^{\mathrm{T}}\mathrm{R}=0; \\ \mathrm{U}(\mathrm{S})=\mathrm{R}^{\mathrm{T}}\mathrm{R}-1=0; \end{array}\right\} \quad (1)$$

где F – нелинейная вектор-функция; $X=\left[x_1 x_2 \ldots x_n\right]^T$ – вектор нерегулируемых параметров режима (зависимых переменных); $Y=\left[y_1 y_2 \ldots y_m\right]^T$ – вектор регулируемых параметров режима (независимых переменных); V – n-мерная вектор функция; $\mathrm{R}=\left[\mathrm{r}_1\mathrm{r}_2\ldots\mathrm{r}_\mathrm{n}\right]^{\mathrm{T}}$ – собственный вектор матрицы $\dfrac{\partial F}{\partial X}$.

Рассмотрим методику аппроксимации границы области устойчивости поверхностью второго порядка, которая трудоемка, зависящая от близости модели ЭЭС к консервативной.

Решая систему УПР, определим значения двух точек $M_1(Y_{i1}, Y_{j1})$ и $M_2(Y_{i2}, Y_{j2})$, принадлежащих предельной поверхности L_Y.

Уравнение квадрики, проходящей через эти две точки:

$$A_{ii}Y_i^2 + 2A_{ij}Y_iY_j + A_{jj}Y_j^2 - c^2 = 0,$$

где $A_{ii}, A_{ij}, A_{jj}, c$ – коэффициенты квадрик.

Уравнение касательной линии к границе L_Y в точке (Y_{i1}, Y_{j1})

$$(F_{Y_i})_{|Y_i=Y_{i1}}(Y_i-Y_{i1})+(F_{Y_j})_{|Y_j=Y_{j1}}(Y_j-Y_{j1})=0.$$

Продифференцировав по каждой из переменных Y_i и Y_j:

$$(F_{Y_i})=2A_{ii}Y_i+2A_{ij}Y_j;$$
$$(F_{Y_j})=2A_{ij}Y_i+2A_{jj}Y_j.$$

Уравнения касательных:

$$\left.\begin{aligned}2(A_{ij}Y_{i1}+A_{ij}Y_{j1})(Y_i-Y_{i1})+2(A_{ij}Y_{i1}+A_{jj}Y_{j1})(Y_j-Y_{j1})=0;\\ 2(A_{ii}Y_{i2}+A_{ij}Y_{j2})(Y_i-Y_{i2})+2(A_{ij}Y_{i2}+A_{jj}Y_{j2})(Y_j-Y_{j2})=0.\end{aligned}\right\}$$

$$2(A_{ii}Y_{i1}+A_{ij}Y_{j1})=R_{i1};$$
$$2(A_{ij}Y_{i1}+A_{jj}Y_{j1})=R_{i2};$$
$$2(A_{ii}Y_{i2}+A_{ij}Y_{j2})=R_{j1}.$$

Система уравнений, которая дает значения коэффициентов квадрик:

$$\left.\begin{aligned}A_{ii}Y_{i1}+A_{ij}Y_{j1}-0,5R_{i1}=0;\\ A_{ij}Y_{i1}+A_{jj}Y_{j1}-0,5R_{i2}=0;\\ A_{ii}Y_{i2}+A_{ij}Y_{j2}-0,5R_{j1}=0;\\ A_{ii}Y_{i1}^2+2A_{ij}Y_{i1}Y_{j1}+A_{jj}Y_{j1}^2-c^2=0.\end{aligned}\right\}$$

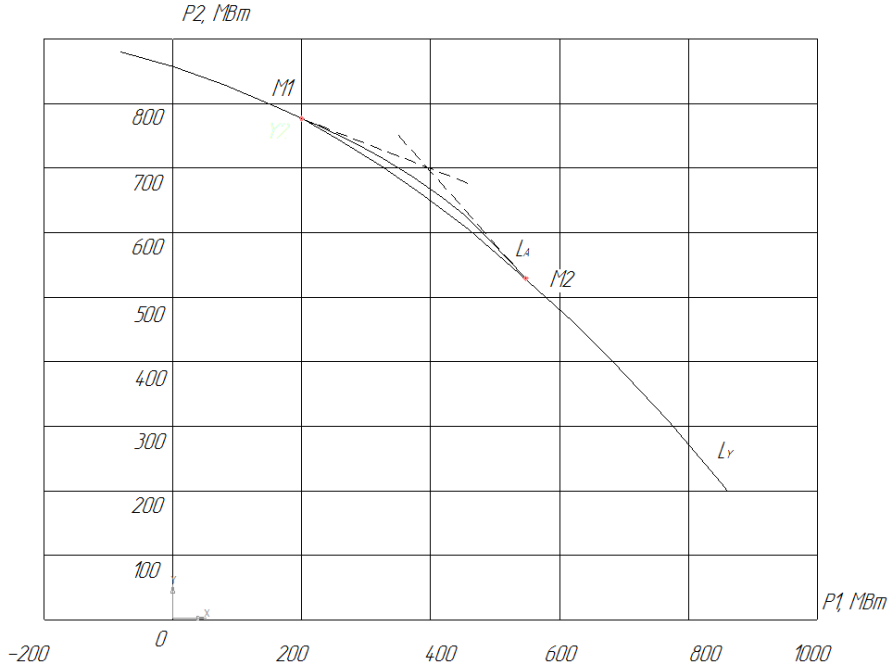


Рис.1. Результаты аппроксимации ОУ с использованием поверхностей второго порядка (квадрик)

Таблица 1

Результаты расчета коэффициентов аппроксимирующих квадрик

I	$Y_{1(I)}$ МВт	$Y_{2(I)}$ МВт	R_{11}; R_{12}	R_{21}; Det Mj	A_{11}; A_{12} о.е.	A_{22}; C о.е.
1	200.00	860.24	0.80	1.00	0.000713	0.000512
2	399.87	682.81	0.98	-0.023	0.000299	510.09
1	399.87	682.81	0.98	1.00	0.000818	0.000593
2	537.62	537.89	1.13	-0.032	0.000238	537.12
1	537.62	537.89	1.13	1.00	0.001006	0.000880
2	657.45	389.80	1.36	-0.004	0.000050	574.09
1	657.45	389.80	1.36	1.00	0.001408	0.002344
2	776.41	200.46	1.93	-0.014	-0.000629	642.42

Можно сделать вывод о более точном (по сравнению с методикой, использующей выпуклый многоугольник) аппроксимации ОУ и о эффективности предложенного алгоритма определения коэффициентов квадрик на основе УПР.

Авторами в среде Mathcad была разработана учебная компьютерная модель расчета параметров предельных режимов в заданном направлении утяжеления, позволяющая реализовать алгоритм построения границ ОУ. С помощью этой модели были проведены вычислительные эксперименты построения границ области устойчивости на примере консервативной трехузловой модели ЭЭС. Проведены расчеты границ области СУ на основании уточнения начальных приближений и вычислении оптимальной длины шага метода Ньютона на каждой итерации. Вычислительные эксперименты показали, что использование модифицированных УПР позволяет достаточно точно строить как сами границы области устойчивости (L_Y), так и их аппроксимации для задач оперативной оценки текущего режима. Авторами было реализовано два подхода аппроксимации – кусочно-линейная и нелинейная, которая базируется на применении поверхностей второго порядка (квадрик).

Разработанная автором алгоритмы и компьютерная модель используются в учебном процессе СамГТУ при проведении занятий по дисциплинам «Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах» и «Устойчивость электроэнергетических систем».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Калентионок Е.В. и др. Оперативное управление в энергосистемах: учеб. пособие / Е.В. Калентионок, В.Г. Прокопенко, В.Т. Федин. – Минск: Выш. шк., 2007. – 351 с.
2. Крюков А.В. Предельные режимы электроэнергетических систем / А.В. Крюков – Иркутск: ИрГУПС. – 2012. – 236 с.
3. Крюков А.В., Сенько В.В. Расчеты предельных режимов электроэнергетических систем для целей оперативного управления. // Изв. ВУЗов. Электромеханика. – 2014. – №3. С. 21-23.
4. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск, 2005. 273 с.
5. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Ле Конг Зань Математические модели узлов нагрузки электроэнергетических систем, построенные на основе фазных координат. Иркутск: ИрГУПС, 2013. 176 с.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Уфа Р.А.,
Научный руководитель: Гусев А.С., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: hecn@tpu.ru

In this paper hybrid simulation approach for adequate modeling of Voltage Source Converter (VSC) of High-voltage direct current (HVDC) systems as part of real electric power systems (EPS) is presented. The proposed VSC model allows to carry out the adequate simulation of different switching processes in VSC HVDC and EPS as a whole without any decomposition and limitation on their duration.

Введение.

Достигнутый к настоящему времени прогресс в области силовой полупроводниковой техники позволяет более эффективно применять в электроэнергетических системах (ЭЭС) технологии высоковольтной передачи энергии постоянным током (ВППТ) и гибких линий электропередачи переменного тока (FACTS Flexible Alternative Current Transmission Systems). Основным элементом большинства устройств данных технологий является преобразовательный комплекс на основе статического преобразователя напряжения (ПН) на базе быстродействующих полностью управляемых силовых полупроводниковых ключей.

Однако, внедрение данных устройств значительно усложняет динамические свойства ЭЭС, связанные с их назначением и спецификой функционирования, в частности: междуфазный режим работы ПН; использование быстродействующих полностью управляемых силовых полупроводниковых ключей; непрерывная работа во всевозможных нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы ЭЭС, значительно затрудняет решение важнейших исследовательских, проектных и эксплуатационных задач [1]. Ввиду известных причин единственным инструментом для решения обозначенных задач являются средства моделирования ЭЭС [2].

Для обеспечения адекватного воспроизведения процессов и режимов работы преобразовательного комплекса и ЭЭС в целом средства моделирования должны удовлетворять следующим требованиям: - бездекопозиционное, адекватное моделирование процессов в ПН и трехфазных ЭЭС в целом; - обеспечение непрерывного методически точного решения в реальном времени и на неограниченном интервале с гарантированной точностью жестких нелинейных систем дифференциальных уравнений высокого уровня, достаточно полно и достоверно описывающих единый спектр всевозможных процессов в оборудовании и ЭЭС в целом; - взаимодействие с различного рода внешними программными и программно-техническими средствами: ОИК, SCADA и др.

Соответствие обозначенным требованиям является условием применимости средств расчета процессов и режимов ЭЭС для решения вышеуказанных задач.

Между тем, отмеченная специфика ПН, определяет практически нереализуемые в используемых в настоящее время средствах сугубо численного моделирования ЭЭС требования к математическим моделям силового оборудования и ЭЭС в целом, а также условий решения этих моделей: трехфазного моделирования ЭЭС; отсутствия ограничений на размерность модели и интервал воспроизведения процессов; использования соизмеримого со временем переключения силовых ключей шага

интегрирования. В результате неизбежным становится применение известных по характеристикам данных средств моделирования ограничений и упрощений: применение однолинейных схем расчета; ограничение интервала воспроизведения процессов; использование неприемлемо большого шага моделирования и др. [1, 2].

Причиной обозначенных упрощений и ограничений являются определяемые теорией методов дискретизации для решения обыкновенных дифференциальных уравнений ограничительные условия применимости их численного интегрирования. Вследствие чего адекватное моделирование трехфазных моделей реальных ЭЭС, содержащих технологии ВППТ и FACTS, оказывается не возможным.

Альтернативой сугубо цифровому моделированию является гибридное моделирование, эффективность которого зависит от выбранной концепции. Концепция, максимально удовлетворяющая требованиям ранее обозначенных исследовательских, проектных и эксплуатационных задач ЭЭС, включающих технологии ВППТ и FACTS, реализована во Всережимном моделирующем комплексе реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС) [3, 4].

Основные положения концепции [3, 4]:

- силовое оборудование ЭЭС описывается всережимными математическими моделями, реализованными посредством гибридных сопроцессоров.
- методически точное с гарантированной инструментальной погрешностью решение систем дифференциальных уравнений осуществляется с помощью метода непрерывного неявного интегрирования.
- всевозможные коммутации силового оборудования и обеспечение неограниченной наращиваемости моделируемой ЭЭС осуществляется на модельном физическом уровне.
- взаимосвязь между модельным физическим и математическим уровнями, управление параметрами моделируемого оборудования, коммутационными элементами осуществляется посредством соответствующих преобразователей напряжение-ток.
- модели систем автоматического управления, релейной защиты и автоматики реализуются посредством микропроцессорных узлов, содержащих центральный процессор и функционально-ориентированные периферийные процессоры, а также Сервера в зависимости от требуемого состава входных сигналов и скорости исполнения алгоритмов.

Стоит отметить, что в предлагаемой концепции гарантированная точность решения систем дифференциальных уравнений моделей силового оборудования и ЭЭС в целом достигается с помощью метода неявного непрерывного интегрирования, реализованного на аналоговом уровне. Вместе с тем, все возможные коммутации, присущие моделям оборудования, наиболее адекватно воспроизводятся на модельном физическом уровне. В тоже время, взаимосвязь между математическими моделями и дифференциальными уравнениями обеспечивается соответствующими преобразователями.

Такого рода концепция позволяет кроме методически точного решения систем дифференциальных уравнений высокого порядка

и высокоадекватного воспроизведения коммутации обеспечить практически неограниченную наращиваемость объема модели ЭЭС. Все информационно-управляющие свойства и возможности обеспечиваются с помощью современной микропроцессорной техники и IT-технологии.

Моделирование преобразовательного комплекса.

Учитывая отмеченную особенность преобразовательного комплекса на базе ПН, при разработке его модели особенно важным является физический уровень. Так как, на этом уровне моделируется функционирование силовых ключей, реализуемые посредством интегральных микроэлектронных цифроуправляемых аналоговых ключей (ЦУАК), для которых разрабатываются универсальные алгоритмы управления, выполненные на цифровом уровне. Подобная реализация позволяет с помощью ЦУАК представлять любые типы силовых ключей, включая всевозможные их комбинации.

Адекватность данного моделирования подтверждена анализом схем замещения, сопоставлением их параметров с учетом режимных и технических масштабирующих коэффициентов, и результатом компьютерного моделирования в MatLAB Simulink, выполненного согласно приведенной на рис. 1 схеме (в качестве IGBT принят транзистор серии 5SMY).

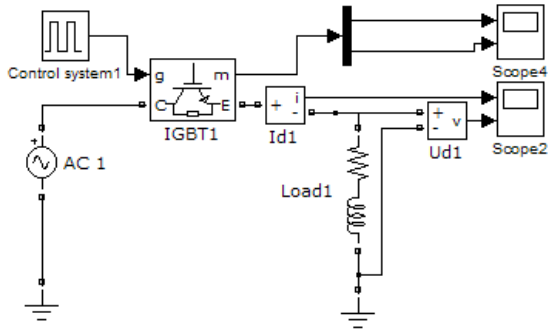


Рис. 1. Схема с IGBT транзистором.

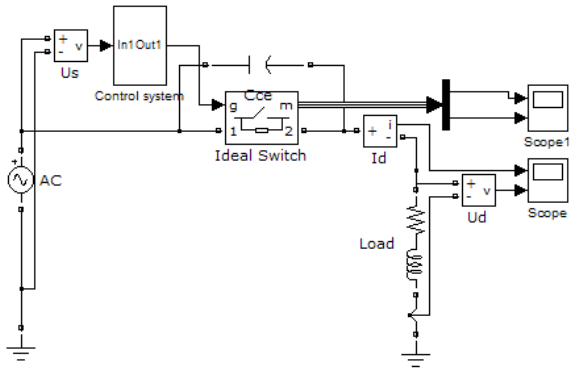


Рис. 2. Схема с Ideal Switch.

Для сравнения выполнено исследование аналогичной схемы, в которой IGBT замещался идеальным ключом Ideal Switch (рис.2).

Кроме этого проведено сопоставление параметров данных ключей согласно схеме замещения (рис.3), была получена передаточная функция для используемой схемы, проведен анализ частотных характеристик, сопоставлены полученные осциллограммы токов и напряжений силовых ключей (рис.4)

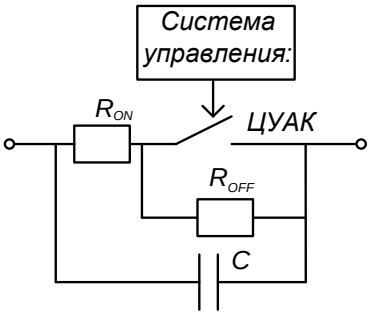


Рис. 3. Схема замещения ключа.

Основными параметрами отличающий идеальный ключ от стандартного IGBT являются сопротивления во включенном и выключенном состояниях (и) и емкость между эмиттером и коллектором (С).

Аналогичным образом были разработана модель GTO тиристора.

Полученные результаты позволяют сделать выводы:

- Рассмотренная концепция и результаты ее экспериментальной реализация подтверждают требуемый уровень адекватности моделирования силовых полупроводниковых ключей и реализуемых на их основе ПН.

• Дополнительная адаптация параметров ЦУАК позволит осуществить адекватное моделирование реальных силовых полупроводниковых ключей и преобразователей напряжения на их основе, и соответственно весь значимый спектр нормальных, аварийных и послеаварийных процессов в ЭЭС в целом, содержащих устройства на базе ПН.

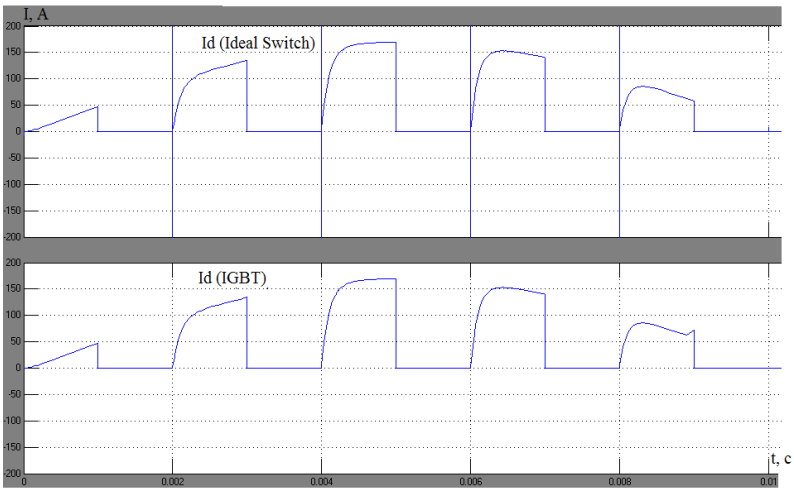


Рис. 4. Осциллограммы токов силовых ключей.

• Разработанные средства позволяют осуществлять всережимное бездекомпозиционное моделирование в реальном времени и на неограниченном интервале процессов, протекающих в устройствах ВППТ, FACTS, ЭЭС в целом и использовать данный инструмент для эффективного решения исследовательских, проектных и эксплуатационных задач в ЭЭС, содержащих такого рода устройства.

Список литературы

1 Gnanarathna U.N., Gole, A.M., Jayasinghe, R.P. Efficient Modeling of Modular Multilevel HVDC Converters (MMC) on Electromagnetic Transient Simulation Programs // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2011. – №5(1). – С. 316–324.

2. Zhang Y., Gole A. M., Wu W., Zhang B., Sun H. Development and Analysis of Applicability of a Hybrid Transient Simulation Platform Combining TSA and EMT Elements // IEEE Transaction on Power System. – 2013. – № 5(1). – С. 357–366.

3. Гусев А.С., Хрущев Ю.В., Гурин С.В., Свечкарев С.В., Плодистый И.Л. Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем // Электричество. - 2009. – №12. – С. 5–8.

4. Прохоров А.В., Уфа Р.А., Васильев А.С., Рубан Н.Ю. Разработка гибридных моделей высоковольтных передач постоянного тока для задач всережимного анализа больших энергосистем // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 4. С. 121-131

ТЕПЛОВЫЕ ДИЛАТАЦИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТОК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ

Часовников Н.В.
Научные руководители: Любимова Л.Л., к.т.н., доцент; Ташлыков А.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Nikolay-chasownikow@mail.ru

THERMAL DILATATION CRYSTAL LATTICE STRUCTURAL MATERIALS FOR POWER ENGINEERING

Chasovnikov N.V.
Supervisors: Lubimova L.L., Ph.D., associate professor; Tashlykov A.A., Ph.D., associate professor
Tomsk Polytechnic University, 634050, Lenina Avenue, 30, Tomsk, Russia
E-mail: Nikolay-chasownikow@mail.ru

Среди многообразия факторов, определяющих работоспособность и ресурс конструкционных материалов в составе паровых котлов и ядерных энергетических установок, особый интерес представляют температурные деформации (αt), определяемые коэффициентом линейных расширений α и приводящие к объемным изменениям материалов. Наибольшую опасность вызывают явления радиационного распухания, а также неоднородные остаточные напряжения σ от неравномерной деформации различных участков труб паровых котлов и твэлов [1]. Между долговечностью элементов конструкций трубно-оболочечного типа при повышенных температурах в условиях ползучести и параметрами структуры существует определенная связь: $\tau = \varphi(t, \sigma, d)$, где время до разрушения τ (долговечность) определяется температурой t, размером зерна d и уровнем напряжения σ [2].

Остаточные напряжения I рода σ_I, способные вызвать разрушение конструкций, определяются методом рентгенографии по дилатациям кристаллической решетки $\Delta a/a$: $\sigma_I = (\Delta a/a)E$, E – модуль нормальной упругости [3, 4].

Значение коэффициентов линейных термических расширений, полученные с применением методов макродилатометрии по удлинению нагретого стержня $\Delta L/L$ или изменению объема образца $\Delta V/V$, приводятся в справочной литературе.

Однако, наблюдается ограниченность информации о тепловых расширениях кристаллических решеток сталей и сплавов, которые устанавливаются как правило, экспериментально.

В этой связи ***целью работы*** является экспериментальное определение температурно-временных зависимостей $\alpha \sim f(t)$ для элементарных кристаллических решеток методом рентгеновской микродилатометрии.

Для количественной характеристики теплового расширения кристаллических решеток «a» введено понятие коэффициента теплового расширения α [5]:

$$\alpha = \frac{1}{\alpha_{cp}}\left(\frac{a_2 - a_1}{t_2 - t_1}\right),$$

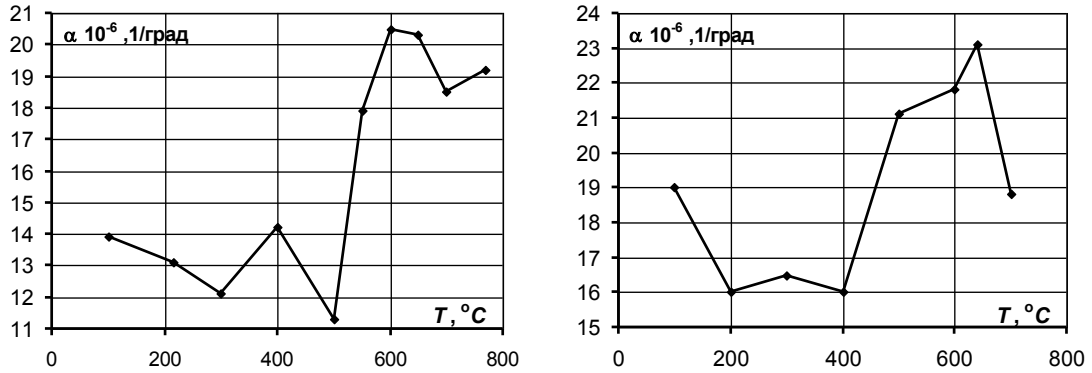
где a_1 и a_2 – параметр элементарной ячейки, измеряемый соответственно при температурах t_1 и t_2; $a_{ср} = (a_1 + a_2) / 2$.

Тепловые расширения кристаллических решеток устанавливались по методике термоциклирования образца в вакууме в течение двух термоциклов. Параметр элементарной ячейки рассчитывался по методу наименьших квадратов решением системы нормальных уравнений, имеющих для кубических кристаллов следующий вид [6]:

$$\begin{cases} A\sum_i \alpha_i^2 + D\sum_i \alpha_i\delta_i = \sum_i \alpha_i \sin^2\theta_i, \\ A\sum_i \alpha_i\delta_i + D\sum_i \delta_i^2 = \sum_i \delta_i \sin^2\theta_i, \end{cases}$$

где A и D – постоянные, причем $A = \lambda^2/(4a^2)$, $\alpha_i = H_i^2 + K_i^2 + L_i^2$; $\Sigma\alpha_i$ – сумма сумм квадратов индексов всех анализируемых линий; $\delta_i = 10 \sin 2\theta_i$.

Результаты выполненных исследований для стали 10, используемой в котлостроении для изготовления экранов в топочной камере котлоагрегата и трубопроводов котлов высокого давления для длительной работы при температурах, не превышающих 350 °С, представлены на рис. 1. Абсолютная погрешность определения α не превышала: $\Delta\alpha = (0{,}2\ldots2{,}0)\cdot10^{-6}$ 1/град.



а) б)

Рис. 1. Тепловые расширения кристаллических решеток стали 10: а) первый; б) второй термоцикл

Из рис. 1 следует, что, несмотря на соответствие α макродилатометрическим значениям, для кристаллических решеток существуют отличия в ходе кривых, заключающиеся в аномальном отклонении $\alpha \sim f(t)$ от прямолинейной зависимости или кривой второго порядка, характерных для макродилатометрии. Эти отклонения наблюдаются при температурах: в первом термоцикле при 440, 550, 600 °С; во втором термоцикле – в диапазоне температур 500… 600 °С. Следует отметить, что к основным явлениям, снижающим работоспособность конструкционных материалов ядерных энергетических установок относят высокотемпературное охрупчивание, которое, например, для аустенитных нержавеющих сталей наблюдается при температуре порядка 600…650 °С. Температура максимального распухания оболочек твэлов достигается при 600…625 °С. В диапазоне температур 380…400 °С наблюдается низкотемпературное охрупчивание как нержавеющих сталей, так и сталей ферритномартенситного класса и сплавов. В диапазоне этих же температур отмечаются явления аномального изменения механических свойств – твердости, прочности, пластичности, охрупчивания сталей. Справедливо предположить, что аномальные изменения механических свойств, наблюдаемых в практике эксплуатации и исследований свойств реакторных материалов, и аномалии термических деформаций кристаллических решеток (рис.1) объединены общими температурными точками, а данные о термических деформациях кристаллических решеток могут быть положены в основу мероприятий по стабилизации свойств и повышению эксплуатационной надежности поверхностей нагрева [7, 8]. Термические расширения кристаллических решеток в первом термоцикле вплоть до температуры 500 °С составляют порядка $(12\ldots14)\cdot10^{-6}$ 1/град. По результатам второго термоцикла коэффициент α для кристаллических решеток увеличился и находится в диапазоне значений $(19\ldots16)\cdot10^{-6}$ 1/град. Известно,

что коэффициент теплового расширения обратно пропорционален модулю упругости и, очевидно, увеличение α свидетельствует об изменении прочностных свойств стали в результате ослаблении сил межатомных связей.

Заключение

Таким образом, в процессе исследований выявлены температурно-временные закономерности изменения α для стали 10 и обнаружены эффекты аномальных деформаций кристаллических решеток при определенных температурах, совпадающих с температурами аномальных изменений механических свойств материалов теплоэнергетического оборудования. Важность обнаруженного явления очевидна и состоит в том, что в определенном, узком интервале температур (как правило, служебных или близких к ним) скачкообразно изменяется коэффициент линейного расширения кристаллических решеток, который, как и модуль упругости, определяет сопротивление атомов смещению, но уже под действием температур. При этом, находясь в твёрдом состоянии, вещество изменяет не только модуль упругости, но и плотность, микротвердость, теплоемкость, пластичность. Растет пористость, увеличивается газопроницаемость, что имеет существенное значение для ресурса используемого материала.

В этой связи, выбор оптимальной температуры эксплуатации, при которой отсутствуют «скачки» термических деформаций кристаллических решеток, снизит риски термической усталости и повысит работоспособность поверхности нагрева. Такая температура с учетом реальных градиентов составляет не более 350 °С (рис. 1), что подтверждено практикой эксплуатации стали 10.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-99544а в 2015 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рентгенометрия аномальных температурных расширений энергетических сталей / Л.Л. Любимова, А.А. Макеев, А.С. Заворин, Б.В. Лебедев, А.А. Ташлыков // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – Вып. 2. – С. 82 – 88.
2. Мельников Г.П. Долговечность элементов конструкций в условиях высоких температур при стендовых испытаниях. – М.: Атомиздат, 1979. – 80 с.
3. Методика рентгенометрического анализа внутриструктурных напряжений / Л.Л. Любимова // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – Вып. 4. – С. 72–77.
4. Закономерности изменений параметра элементарной ячейки металла паропроводов как критерий накопления повреждаемости / Л.Л. Любимова, А.А. Макеев, А.С. Заворин, А.А. Ташлыков, Р.Н. Фисенко // Известия Томского политехнического университета.– 2011. – Т. 319. – № 4. – С. 35–39.
5. Руководство по рентгеновскому исследованию минералов / Под ред. В.А. Франк-Каменецкого. – Л.: Недра, 1975. – 399 с.
6. Русаков А. А. Рентгенография металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 480 с.
7. Аномальные эффекты термических деформаций кристаллических решеток котельных сталей как критерий оценки работоспособности и увеличения эксплуатационного ресурса / Л.Л. Любимова, А.А. Макеев, А.А. Ташлыков, А.С. Заворин, Р.Н. Фисенко // Известия вузов: Черная металлургия. – № 2. – 2014. – С. 52–57.
8. Assessing the Life of Boiler on the Basis of Anomalous Thermal Deformation of Its Crustal Lattice/ L.L. Lyubimova, A.A. Makeev, A.A. Tashlykov, A.S. Zavorin, R.N. Fisenko // Steel in Translation. – Vol. 44 – No. 2. – 2014. – pp. 117–122.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Шарманова Г. Ю., Гончар Л. А.
Научные руководители: Долгопол Т. Л., доцент,
ФБГОУ ВПО Кузбасский Государственный Технический Университет им. Т. Ф. Горбачева,
Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, 650000
E-mail: galinasharmanova@yandex.ru

ENERGY EFFICIENCY IN INDUSTRIAL POWER

Sharmanova G.Y., Gonchar L.A.
Scientific Supervisor: Dolgopol T.L.
Kuzbass State Technical University T.F. Gorbachev,
Russia, Kemerovo, Vesenny str., 28, 650000
E-mail: galinasharmanova@yandex.ru

Задача по сокращению высокого энергопотребления предприятиями Российской Федерации, является одной из первоочередных для экономики нашей страны. Энергоёмкость производственной отрасли российских предприятий значительно превышает показатели промышленных предприятий развитых стран. Решить вопросы оптимизации энергопотребления позволяет проведение энергоаудита.

Проведение энергетического обследования (энергоаудита) объектов промышленной сферы позволит увеличить энергоэффективность на 25 – 40 %. В масштабе всей страны это колоссальные суммы денег, достигающие миллиардов рублей.

Энергоаудит предприятий и объектов социальной сферы в полной мере обуславливает получение объективной информации о реальной энергоемкости производства, а также произвести анализ полученных данных с целью выявления потерь и неэффективного потребления энергоресурсов. Безусловно, что целью проведения энергоаудита любого объекта является разработка и оценка мероприятий по повышению его энергоэффективности. Как показывает анализ результатов проведенных энергетических обследований различных объектов в нашей стране, они зачастую носят формальный характер. Данные в заполненных энергопаспортах быстро устаревают и теряют свою актуальность.

В связи с этим, для совершенствования системы повышения энергетической эффективности предприятий и организаций в Российской Федерации в настоящее время разрабатывается методика перехода от заполнения энергетических паспортов к заполнению деклараций об объеме совокупных затрат потребления энергетических ресурсов.

Объектом исследования в данной работе является ООО «Мариинский спиртовой комбинат».

Электроснабжение спирткомбината осуществляется от подстанции «Пионерская» 110/35/10 кВ, находящаяся в обслуживании «МРСК Сибири» Мариинского РЭСа. На территорию спирткомбината приходят линии 10 кВ. Для понижения напряжения установлены трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ в количестве 8 штук, от которых питаются все структурные подразделения комбината.

Был произведен энергетический аудит предприятия. По результатам энергетического обследования были предложены следующие энергосберегающие мероприятия:

- замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы;
- замена ламп накаливания на светодиодные лампы;
- использование электронной пускорегулирующей аппаратуры;
- замена малозагруженных трансформаторов на менее мощные;
- замена малозагруженных двигателей двигателями меньшей мощности или на двигатели той же

мощности, но с улучшенными характеристиками;

- ограничение времени работы двигателей на холостом ходу;

- использование автоматизации управления освещением в местах с временным пребыванием людей;

- использование датчиков постоянной освещенности во вспомогательных помещениях с постоянным пребыванием персонала.

В статье представлен результат замены малозагруженных трансформаторов на трансформаторы меньшей мощности. В настоящее время на предприятии установлено 15 трансформаторов типа ТМ мощностью 630 и 1000 кВА.

В табл. 1 приведены типы трансформаторов, подлежащие замене.

Таблица 1

Варианты замены трансформаторов на КТП

Наименование КТП	Тип используемого трансформатора	Вариант замены
КТП-2	ТМ-630 ТМ-630	ТМ-400 ТМ-400
КТП-3	ТМ-1000 ТМ-1000	ТМ-630 ТМ-630
КТП-9	ТМ-1000 ТМ-1000	ТМ-630 ТМ-630

Результаты расчетов потерь мощности и электроэнергии для трансформаторных подстанций с замененными трансформаторами приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета потерь мощности и электроэнергии

Наименование КТП	Тип тр-ра	$\Delta P_т$, кВт	$\Delta Q_т$, кВАр	$\Delta S_т$, кВА	$\Delta W_{АТ}$, кВтч	$\Delta W_{РТ}$, кВАрч	$\Delta W_Т$, кВАч
КТП-2	ТМ-630	3,71	26,95	27,2	24869	187645	189286
	ТМ-400	3,82	15,13	15,6	19605	70087	72777
КТП-3	ТМ-1000	5,88	43,38	43,78	38291	297849	300300
	ТМ-630	5,77	36,3	36,76	30499	187656	190118
КТП-9	ТМ-1000	6,01	43,97	44,38	38605	297850	300341
	ТМ-630	5,97	37,24	37,72	30323	187655	190089

На рис.1 показано соотношение потерь полной мощности и электроэнергии до и после замены трансформаторов на КТП.

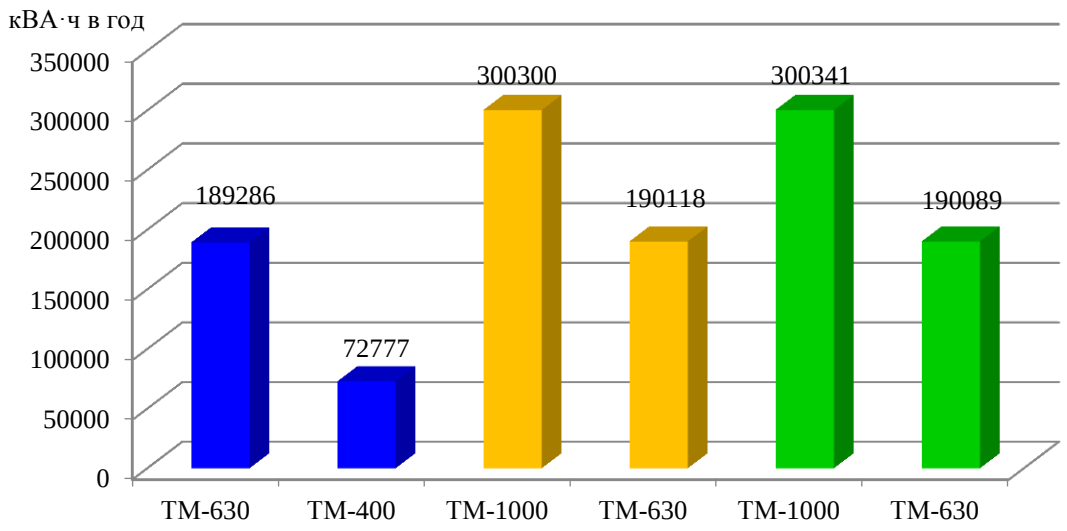


Рис.1. Потери электроэнергии в трансформаторах

На рис. 2 показано, на какое количество кВА*ч в год снижаются потери электроэнергии при замене мощных малонагруженных трансформаторов на менее мощные.

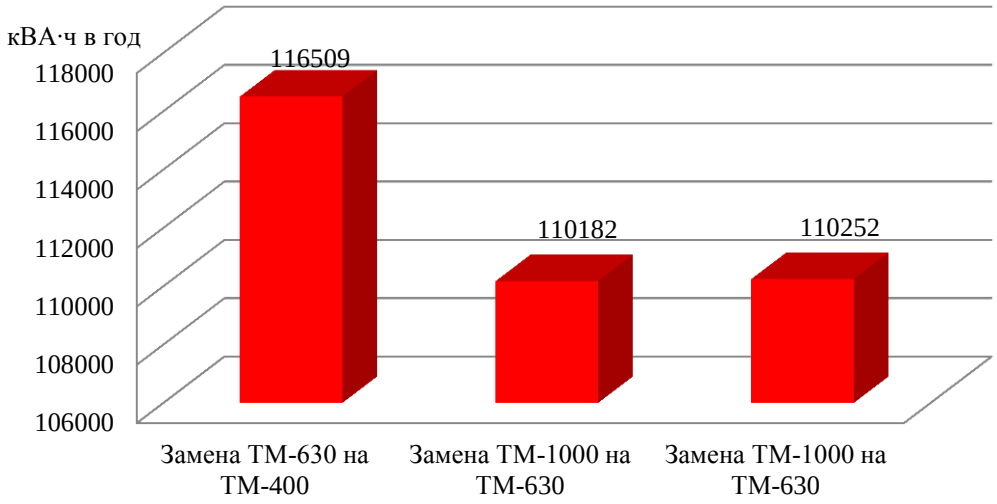


Рис. 2. Экономия электроэнергии при замене трансформаторов

В результате анализа предложенного энергосберегающего мероприятия можно сделать вывод, что замена мощных, но недогруженных трансформаторов на менее мощные, позволяет уменьшить потери электроэнергии на 336943 кВА·ч в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон РФ от 23.11.2009г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

2. Железко Ю.С. Методы расчета технических потерь электроэнергии в сетях 380/220 В // Электрические станции – 2002г.

3. http://www.atk59.ru/provedenie-energeticheskogo-obsledovaniiya/

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ДВЕРИ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

Шестакова В.В
Научный руководитель: Кирпичникова И.М.,профессор, д.т.н.
Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет,
Россия, г. Челябинск, проспект Ленина, 76, 454080
E-mail: mrsshestakova@mail.ru

VIBRATIONAL MOTIONS OF THE DOOR AS AN ENERGY SOURCE

Shestakova V.V.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Kirpichnikova I.M.
National Research South Ural State University, Russia, Chelyabinsk, Lenin prospect, 76, 454080
E-mail: mrsshestakova@mail.ru

Abstract. Energy saving is now a very topical issue. We often have to meet with such challenges as searching for a source of safe and cheap energy, or finding ways of preserving and increasing the quantity of energy we can obtain. But in search of cheap energy it is important not to forget about the main principle, which is "First, do no harm". Scientists have come to a conclusion that such reduction is possible by enhancing the production efficiency, by saving energy, transition to other fuel types, and certainly by introducing alternative renewable energy sources.

Приоритетным направлением в развитии новых технологий является разработка энергосберегающих технологий, альтернативных источников энергии. Однажды, проходя по университету, я невольно задумалась о том, какое огромное количество энергии вырабатывают студенты, перемещаясь по коридорам, открывая и закрывая двери кабинетов - эту энергию необходимо «использовать в мирных целях». Перед началом работы была поставлена цель изучить возможность преобразования энергии открытия-закрытия двери в электрическую энергию. Объектом исследования является система взаимодействия «человек-устройство» в помещении. Предмет исследования - процесс открытия-закрытия двери помещения с точки зрения возможности выработки энергии. Задачи исследования: 1. провести наблюдения за процессом открытия-закрытия двери, установить его продолжительность и периодичность; 2. разработать устройство, преобразующее энергию механических (колебательных) движений двери в электрическую энергию; 3. разработать схему преобразования механической энергии в электрическую; 4. рассчитать выработку электроэнергии разработанным устройством в течение суток и возможность ее использования для дежурного освещения помещения; 5. изучить экономическую и экологическую целесообразность использования данного устройства. Изучив литературу по проблеме исследования, выдвинута следующая гипотеза: периодические движения двери при её открывании-закрывании могут быть преобразованы в электрические сигналы, аккумулированная мощность которых достаточна для обеспечения дежурного освещения в ночное время. Научная новизна работы заключается в том, что в качестве альтернативного, экологически чистого источника энергии используется периодическое движение двери при ее открывании-закрывании. Практическая значимость состоит в возможности использовать полученные электрические сигналы, накопленные в виде энергии в аккумуляторах, для питания маломощных приёмников энергии (например, дежурное освещение лицея в ночное время с помощью светодиодных ламп). [1] Самым проходимым местом является главный вход. При открывании и закрывании двери совершаются колебательные движения. Необходимо усилить их до значений, которые можно зафиксировать. После изучения приборов, которые способны преобразовывать механические колебания в электрические сигналы, мы решили использовать генератор, который даже при незначительном механическом воздействии на него вырабатывает энергию, а значит достаточно

чувствителен, чтобы уловить колебания, возникающие от движений, которые совершает человек, открывая и закрывая дверь. [2] Такой способ получения энергии благодаря альтернативному источнику - человеку несомненно представляет интерес, так как он выгоден в использовании и исключает риск причинения вреда экологии. При этом человек является лишь источником первичной (механической) энергии. Дверь в данном случае играет роль передаточного звена от человека к устройству, преобразующему выработанную человеком механическую энергию в электрическую. Мы собрали корпус для прибора из текстолитовых пластин, вмонтировали зубчатый рычаг, шестеренку и два генератора. Конструкцию поместили в профиль дверного проема (Рисунок 1).

Человек открывает дверь. Под действием пружины, находящейся внутри прибора, освобождается зубчатый рычаг, который крутит шестеренку, которая, в свою очередь, раскручивает магнит, после чего механическое воздействие передается на генератор – преобразователь механического усилия в электрический сигнал по принципу электромагнитной индукции. Затем дверь возвращается в исходное положение, в этот момент пружина сжимается, и рычаг крутит шестеренку, которая, в свою очередь, раскручивает другой магнит, после чего механическое воздействие передается на второй генератор. Внутри генератора расположена неподвижная магнитная система с постоянным магнитом, которая образует два воздушных зазора с противоположными направлениями вектора магнитной индукции. Между полюсами постоянного магнита расположен ротор, обычно это открытая проволочная катушка. Ротор вращается в магнитном поле, благодаря чему в обмотке возникает электрический ток. При одном обороте вращения магнита вырабатывается ток в 1,5мА и напряжение до 1,6В. Зная, какое количество человек откроет и закроет дверь, производен расчет электроэнергии, которую вырабатывает 24 генератора в течение учебного дня – 43,2А. Для полной зарядки аккумулятора емкостью 24Ah и напряжением 6В достаточно 34 минуты, а у нас аккумулятор работает 250 минут (мы подсчитали промежутки времени наиболее интенсивного движения: утро, перемены, окончание уроков). Значит, что в течение учебного дня тока, вырабатываемого одним генератором, достаточно для зарядки аккумулятора. Рассчитываем, что 100 светодиодов, потребляющие 2А [3], смогут работать от аккумулятора в 24Ah в течение 12 часов (при этом не допуская полной разрядки аккумулятора, что не желательно). Этого достаточно для освещения коридора в ночное время. Альтернативный источник энергии должен быть экономически эффективным. Мы произвели расчет затрат, необходимых при изготовлении данного устройства (2730 рублей), для того, чтобы узнать, рентабельно ли данное устройство и целесообразно ли его использование. Применив формулу (N = pS/P), мы рассчитали, что для дежурного освещения коридора в двести квадратных метров достаточно 15 ламп накаливания. [4] Стоимость их потребления за месяц составляет 540 рублей. Рассчитываем, что срок окупаемости комплекта, состоящего из двенадцати генераторов, для одной двери составит примерно 5 месяцев. Альтернативный источник энергии должен быть экологически безопасным. В нашем исследовании мы рассматриваем как альтернативу энергосберегающим лампам применение светодиодных ламп. [5] Проанализировав данные, полученные в ходе исследования, мы сформулировали следующие выводы: 1. установлено, сколько раз в течение суток происходит открывание-закрывание двери основного входа - это потенциально является источником энергии; 2.при открывании и закрывании двери совершаются периодические движения, которые можно преобразовать в электрические сигналы; 3. преобразование механической энергии движения в электроэнергию производится с помощью электрического генератора,

встроенного в дверной проем; 4. расчет выработки электроэнергии разработанным устройством показал целесообразность его использования в практических целях; 5. использование светодиодных ламп для дежурного освещения дает значительную экономию электроэнергии; 6. разработанное устройство характеризуется экологичностью, т. к. снижение потребления электроэнергии снижает выбросы парниковых газов. А также разработаны следующие практические рекомендации: 1. устройство исследовано на одном объекте (двери) университета. Учитывая общее количество дверей можно оценить перспективу использования подобных устройств как в самом университете, так и в других учебных учреждениях города с точки зрения внедрения энергосберегающих технологий в социальной сфере; 2. Подобный энергетический, экологический и экономический эффект можно получить и на других площадках повышенной проходимости (супермаркеты, кинотеатры, кафе и др.). Это также позволит получить значительную экономию в рамках города, области и страны в целом.

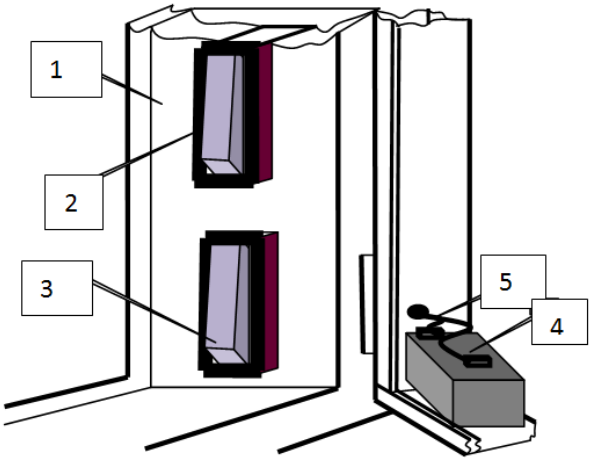


Рис. 1. Расположение конструкции в практическом применении: 1. профиль дверного проема; 2. текстолитовые стенки корпуса для крепления генератора; 3. зубчатый рычаг; 4. аккумулятор; 5. соединительные провода

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабб М., Вролик К., Брэк Д. Киотский протокол: анализ и интерпретация [пер. с англ.]. - М.: Наука, 2001. - 303 с.

2. Бут Д. А. Накопители энергии. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 400 с.

3. Лаврус В. С. Батарейки и аккумуляторы. - К.: Наука и техника, 1995. - 48 с.

4.Иванов Б.С. Человек и среда обитания: Учебное пособие, М.: МГИУ, - 1999.

5.Девисилов В.А. Освещение и здоровье человека. Безопасность жизнедеятельности. - М.: ООО «Издательство «Новые технологии», 2003. – №7. Приложение, с.12–13.

ЗАЩИТА ЛИНИИ НА ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ПОТЕНЦИАЛЕ ПРОВОДОВ

Шмойлов А.В., Корнев В.А.
Научный руководитель: Шмойлов А.В., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: Shm_AV@rambler.ru, KornevVA3007@gmail.com

LINE PROTECTION ON WIRES HIGH-VOLTAGE POTENTIAL

Shmoilov A.V., Kornev V.A.
Scientific Supervisor: Shmoilov A.V.
Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Lenin str., 30, 634050, Russia
E-mail: Shm_AV@rambler.ru, KornevVA3007@gmail.com

Проводится анализ возможности исполнения дифференциально-фазной защиты на высоковольтном потенциале с ВЧ обменом информацией комплектов защиты на концах защищаемой линии.

Прежде всего необходимо разделение линии на двухконцевые участки длиной, обеспечивающей однотипное построение защиты для всех видов линий, достаточно малое затухание ВЧ сигнала по проводам при передаче на противоположный конец, надежный информационный обмен между комплектами аппаратуры на концах каждого участка и тем самым гарантированное недействие защиты при сквозных токах.

Нецелесообразна установка ВЧ заградителей на каждом участке, т.к. ВЧ обмен по проводам линии необходим не только для выявления места КЗ на участках, но также для передачи кода поврежденного участка на концы линии для отключения линии и указания информации о поврежденном участке, что целесообразно делать также по проводам. При установке заградителей на концах участков возникнет необходимость установки удвоенного количества датчиков тока, появления мертвых зон между заградителями на границах участков. Требуется также разработка полной конструкции аппаратуры и процедур переприема кодов поврежденного участка и передачи кодов на головные участки линии с выключателями. Хотя данные мероприятия весьма ординарны, практически не слишком расточительны, а мертвые зоны между заградителями незначительны и ими можно пренебречь, либо разработать для них дополнительную защитную аппаратуру, однако возможна накачка энергии в передаваемый код на выбранной высокой частоте несущей передаваемого кода поврежденного участка на каждом датчике, разделяющим двухконцевые участки без пар заградителей. Благодаря разделению участков датчиками тока в виде силовых шунтов в каждом проводе фаз вместо заградителей, мертвые зоны исключаются. Но наряду с преимуществом исключения мертвых зон устранение заградителей приводит к распространению ВЧ несущих для контроля состояния каждого участка на соседние участки, что может вызвать влияние на правильность контроля этих участков. В связи с этим необходимы разные частоты ВЧ несущих соседних участков, чтобы с помощью резонансной фиксации частоты несущей каждого участка для контроля его состояния исключить влияние несущих частот соседних участков. Количество несущих частот для контроля состояний участков ограничено достаточным затуханием ВЧ несущих соседних участков с ростом длины распространения несущей данного участка. Расчеты показывают, что достаточным будет затухание несущей и соответственно возможность возобновления ее частоты через каждые 4 – 5 10-и километровых участков линии. При более длинных участках возобновление частоты несущей возможно через меньшее количество участков.

Поскольку для электропитания аппаратуры на концах участков линии необходимы блоки питания

на высоковольтном потенциале, целесообразно их использовать также как источники энергии для восстановления затухания несущей кода поврежденного участка на концах каждого участка, через концы которых передается код поврежденного участка на головные участки линии. Импульсы кода заполнены колебаниями несущей для передачи кода. Данная несущая является единой для всех участков защищаемой линии с заданной частотой, отличной от частот несущих для выявления повреждения на участках. Итого, требуется 3 – 5 частот несущих для выявления повреждения на участках линии и частота для передачи сигнала отключения и информации о поврежденном участке.

Выявление повреждения на участке как в производимой аппаратуре дифференциально-фазных защит путем заполнения положительного полупериода промышленного тока колебаниями ВЧ несущей и контроля наличия непрерывных или с полупериодной паузой промышленного тока ВЧ колебаний на каждом комплекте аппаратуры РЗ линии невозможно, т.к. заградители на концах участков не предусмотрены. Кроме того, предлагаемая дифференциально-фазная защита предназначена для выявления КЗ как в установившихся режимах, так и в переходных процессах, Свободные составляющие переходных процессов существенно изменяют картину ВЧ колебаний и пауз, что не позволяет однозначно настроить быстродействующую защиту. Данный недостаток тем более возрастает из-за различия параметров переходных процессов в первичных и вторичных цепях. Поэтому построение быстродействующей защиты с использованием традиционного способа взаимной передачи углов промышленного тока на концах каждого участка с помощью ВЧ несущей практически невозможно. В связи с этим требуется другой алгоритм выявления КЗ на участке.

Один такой алгоритм с контролем времени между точками перехода промышленного тока при внешнем КЗ относительно защищаемого участка линии и внутренним КЗ на участке ниже описывается с иллюстрацией на рис.1 при сквозном токе рабочих режимов и внешнего КЗ и на рис. 2 при внутреннем КЗ на участке. На рис. 1а и 2а показана схема формирования импульсов на концах каждого участка, в точках перехода мгновенных значений промышленного тока от отрицательных к положительным значениям. Цифрой 1 на фрагменте 1а рис.1 обозначен головной участок 1 с выключателем 3 на одном из концов линии, а цифрой 2 – следующий за головным участок линии. Цифра 4 отражает сборные шины. На одной границе головного участка 1 в высоковольтный провод, например, однопроводной фазы врезан мало-индуктивный П-образный силовой шунт 5, а на другой границе, разделяющей участки 1 и 2, – такой же мало-индуктивный П-образный силовой шунт 6. С помощью датчиков первичного высоковольтного тока ДТ1 и ДТ2 и присоединенных к ним соответственно преобразователей
ФИП1 и ФИП2 – формирователей импульсов перехода мгновенных токов на концах участка 1 – формируются короткие импульсы в моменты перехода мгновенных промышленных токов i_1 (сплошные линии на одном конце участка 1) и i_2 (пунктирные линии на противоположном конце участка 1) от отрицательных значений к положительным. Сформированные короткие импульсы, по месту протекания и измерения токов i_1 и i_2 на концах участка 1 обозначены также соответственно сплошными и пунктирными линиями на осциллограммах «б» и «в» рис. 1, на осциллограмме «б» рис. 2. Названные импульсы заполнены колебаниями ВЧ частоты заданной несущей, которую целесообразно назвать несущей переходов и выявления КЗ, и они внедряются через шунты силового тока СШ1 и СШ2 в высоковольтный провод. ВЧ колебания импульсов распространяются по проводу, в том числе на противоположные концы каждого участка.

На примерах осциллограмм сквозных токов по концам участка 1 можно усмотреть, что время t между импульсами в установившихся режимах (рис. 1б) всегда равно полупериоду промышленного тока или 10 мс, а в переходных процессах КЗ (рис. 1в) это время из-за свободных составляющих может кратковременно измениться в ту или другую сторону. В примере рис. 1в это время увеличивается в начале переходного процесса, а по мере затухания свободных составляющих снова стремится к 10-и мс. Аналогично в переходном процессе внешнего КЗ с другими параметрами короткозамкнутой цепи в начальный момент время между импульсами из-за свободных составляющих может наоборот уменьшиться, но при затухании этих составляющих будет стремиться также к 10-и мс.

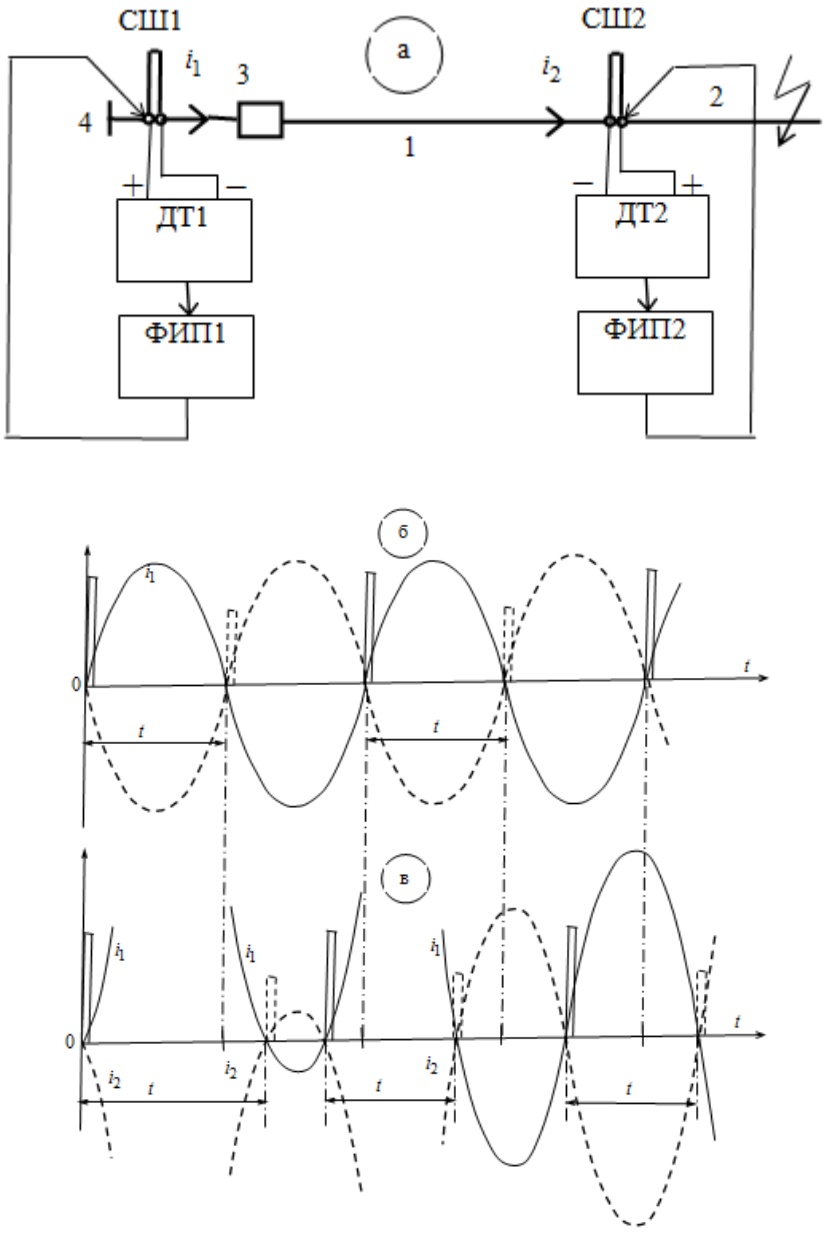


Рис.1 Контроль времени между импульсами ВЧ колебаний в точках перехода промышленного тока от отрицательных к положительным значениям при сквозном токе (внешнем КЗ): а - в установившееся режиме, б – в переходном процессе

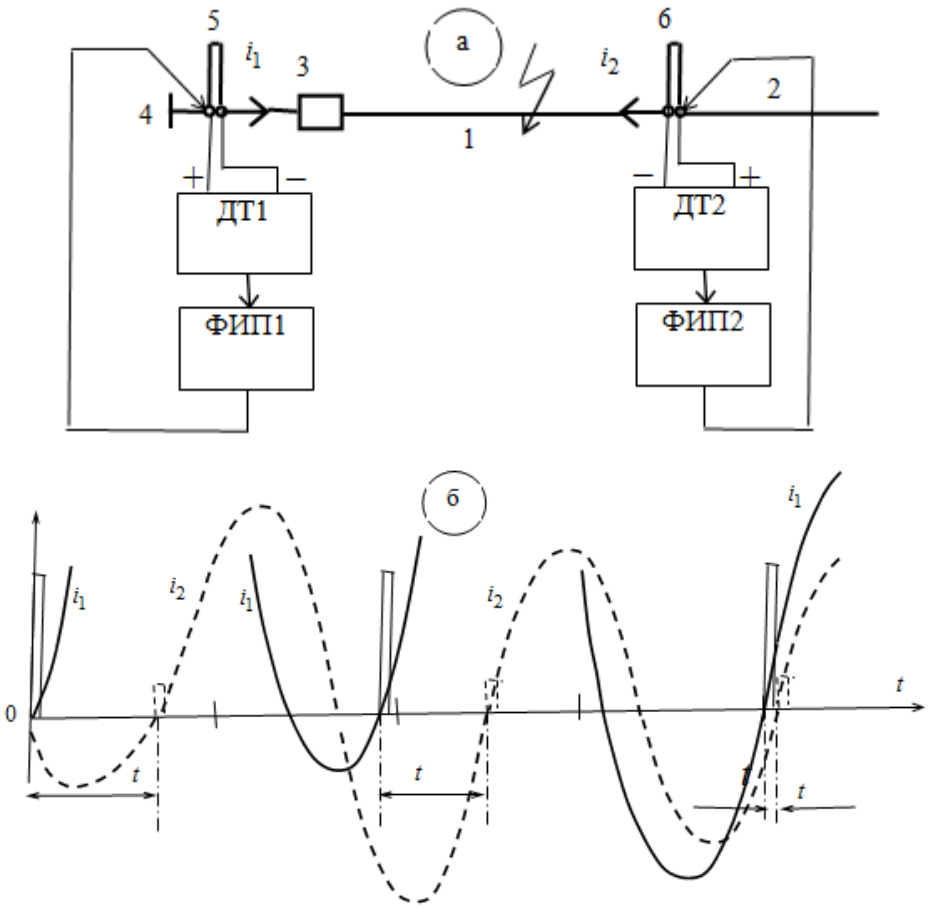


Рис.2 Контроль времени между импульсами ВЧ колебаний в точках перехода промышленного тока от отрицательных к положительным значениям в переходном процессе КЗ на защищаемом участке (внутреннее КЗ)

На другом примере переходного процесса при внутреннем КЗ на участке 1 (рис. 2б) видно, что время t между импульсами перехода токов i_1 и i_2 на концах участка стремится от 10-и мс, которое было в начале переходного процесса в установившемся режиме, к нулю, т.к. свободные составляющие этих токов КЗ определяются однотипными мало различающимися активно-индуктивными соотношениями параметров короткозамкнутых цепей. Причем индуктивная составляющая сопротивления, как правило, не меньше, а чаще всего заметно или существенно превышает активную составляющую. Поэтому углы роторов генераторных источников с обеих сторон от места КЗ выравниваются и углы токов относительно ЭДС источников также становятся близкими, если не равными. Задавая уставку времени между импульсами t, близкую к нулю, например, 3 мс, можно надежно различать время рабочих режимов 10 мс и время, характеризующее внутреннее КЗ, которое меньше 3 мс.

Однако импульсы с противоположной стороны могут быть небольшими для восприятия и сравнения аппаратурой на концах участка 1, т.к. передача импульса с противоположной стороны производится через место КЗ, которое вызывает затухание в среднем на 22 дБ. В связи с этим необходим дополнительный параллельный канал, гарантирующий надежность контроля КЗ на участке. Таким может быть канал, сформированный логикой отсутствия импульса с противоположной стороны участка

в течение определенного времени периода промышленного тока. Отсутствие импульса с противоположной стороны в течение двух симметричных промежутков времени относительно полупериода 10 мс в меньшую и большую стороны, например, 3 и 17 мс может гарантировать КЗ на участке. Действительно, если это внешнее КЗ, то через каждые 10 мс (установившийся сквозной ток) или в установленном промежутке (3, 17) мс (переходный сквозной ток) будет гарантированно появляться импульс с противоположной стороны участка и свидетельствовать, что КЗ на участке нет. Если же будет зафиксирован противоположной импульс в пределах (0, 3) мс или (17, 20) мс, то это гарантированно КЗ на участке. Первый промежуток – это внутреннее КЗ в течение или за пределами времени выравнивания электромагнитных и электромеханических переходных процессов в левой и правой цепях относительно КЗ на участке, которое произошло ранее с началом переходного процесса. Второй промежуток – это маловероятное начало переходных процессов, сложившееся вследствие соответствующих значений параметров электромагнитных и электромеханических переходных процессов в левой и правой цепях относительно КЗ на участке. Проведенный анализ для одного периода промышленного тока показывает возможность обнаружения КЗ на участке в течение этого периода. В следующий период промышленного тока также возможно обнаружение КЗ на участке, которое подтвердит первоначальное более быстродействующее обнаружение КЗ.

Аппаратура на каждом конце участка должна содержать компоненты вноса энергии в код поврежденного участка, передаваемого на головные участки концов линии информацию об отключении выключателей, номера поврежденного участка и провода фазы на линии. Внесенная энергия позволит поддерживать ВЧ колебания кода поврежденного участка на уровне, легко воспринимаемой аппаратурой каждого конца участка, включая головные.

ЛИТЕРАТУРА

[1] ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» Презентация Цифровая подстанция: Официальный сайт. 2012. URL: http://www.ntc-power.ru/media/files/Presentation_CPS.pdf (дата обращения: 16.03.2015).

[2] Alex Golovin Современные волоконно-оптические преобразователи тока // Цифровая подстанция: Электронный журнал. 2012. URL: http://digitalsubstation.ru/blog/2012/12/04/sovremenny-e-volokonno-opticheskie-pr/ (дата обращения: 16.03.2015).

[3] Alex Golovin Опыт применения оптических датчиков тока в электросетевой компании Transpower New Zealand: Электронный журнал. 2012. URL: http://digitalsubstation.ru/blog/2013/01/10/opy-t-primeneniya-opticheskih-datchikov/ (дата обращения: 16.03.2015).

[4] Патент РФ № 2010136422/07, 30.08.2010. Шмойлов А.В., Прутик А.Ф. Способ построения и настройки релейной защиты с высокочастотным обменным блокирующим сигналом по проводам линии // Патент России № 2435267. 27.11.2011 Бюл. № 33.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ ШУБАРКОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Щербакова К.Ю.[1], Бреус С.С., Пашковский Р.В.
Научный руководитель: Лебедев Б.В., к.т.н., доцент
[1]ООО «Инженерный центр «Теплоуниверсал», 634050 Томск, пр. Ленина 30а
[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050 Томск, пр. Ленина 30
Email: kseniashcherbakova@gmail.com

TECHNOLOGICALSOLUTIONS OF SHUBARKOLDEPOSITCOALGASIFICATION

Shcherbakova K.Y.[1], Breus S.S., Pashkovskiy R.V.
Scientific Supervisor : Lebedev B.V., PhD
[1]OEngineeringCenter«Teplouniversal» LLC, 634050 Tomsk,Lenin Avenue 30a
[2]National research Tomsk polytechnic university, 634050 Tomsk, LeninAvenue 30
Email: kseniashcherbakova@gmail.com

Shubarkol deposit coal research was conducted. Researched fuel thermotechnical characteristics and chemistry were determined. Initial fuel gasification was carried out with final products obtaining: syntetic gas and semi-coke. Researched coal gasification optimal parameters applicable to used laboratory station are determined.

Эффективное использование энергетических ресурсов планеты волнует на сегодняшний день все человечество. Запасы углеводородных топлив ограниченны, поэтому особое внимание следует уделить экономически и экологически эффективным технологиям.

Технология газификации является одним из способов переработки природного топлива (угля, торфа, биомассы и др.), позволяющих максимально эффективно использовать практически все продукты данного процесса. По этой причине решено провести исследование угля Шубаркольского месторождения в лабораторных условиях с целью определения оптимальных параметров процесса.

Технологический процесс газификации твердого топлива представляет собой окисление углеродосодержащего топлива под воздействием высокой температуры, атмосферного или повышенного давления, при ограниченном доступе кислорода. Продукты газификации: синтетический газ, применяющийся нав качестве топлива, для получения жидкого топлива, удобрений, очищенного водорода и метана, и полукокс, применяющийся в металлургии как топливо [1].

Классификация исследуемого угля Шубаркольского месторождения потребовала определения элементного состава (таблица 1) и лабораторных исследований теплотехнических характеристик (таблица 2). Полученные результаты позволяют классифицировать исследуемый, как маловлажный (W_r^t=12,72-13,07 %), малозольный (зольность A_r^t=3,2 % < 9%), высокореакционный (выход летучих V_i^r=32,55-33,66 % > 25%), каменный (теплота сгорания Q_s^r = 32968,6 кДж/кг =7880ккал/кг > 5700 ккал/кг и среднее содержание углерода С=75,234%).

Таблица 1

Результаты элементного анализа угля Шубаркольского месторождения

Название пробы	Масса пробы, мг	Влажность пробы, %	Доля вещества в пробе, %				
			C	H	O	N	S
Уголь ШК	2,076	8,82	73,64	4,526	19,796	1,58	0,458
Уголь ШК	2,043	8,82	75,29	4,729	18,113	1,59	0,278
Уголь ШК	2,013	8,82	76,17	4,771	17,152	1,63	0,277
Среднее значение	2,054	8,82	75,03	4,68	18,35	1,60	0,34

Таблица 2

Теплотехнические характеристики исследуемого угля

Теплотехническая характеристика	Обозначение	Ед. изм.	Значение	Классификация угля	Методика
Влажность внешняя	W_{ex}	%	4,81	маловлажный	ГОСТ Р 52911-2008
Влажность общая	W_r^t	%	12,72-13,07	маловлажный	ГОСТ Р 52911-2008
Влажность приведенная	$W_{пр}$	%	0,46-0,47	маловлажный	ГОСТ Р 52911-2008
Зольностьрабочего состояния	A_r^t	%	3.2	малозольный	ГОСТ Р 55661-2013
Зольность приведенная	$A_{пр}$	%	0,116	малозольный	ГОСТ Р 55661-2013
Содержание летучих веществ на рабочее состояние	V_i^r	%	32,55-33,66	высокореакционный	ГОСТ Р 55660-2013
Содержание летучих веществ на сухую беззольную горючую массу	V^{daf}	%	38,71-40,20	высокореакционный	ГОСТ Р 55660-2013
Высшая теплота сгорания рабочей массы беззольного угля	Q_s^r	кДж/кг (ккал/кг)	32968,6 (7880)	каменный	ГОСТ 147-2013

Газификация угля Шубаркольского месторождения проведена на лабораторной установкепо переработке различных видов топлив [2]. Газификация исследуемого топлива заключается по большей мере в воздействии высоких температур (100-500 °С) на дробленку исходного угля. Реактор установки заполнен исследуемым топливом, плотно закрыт крышкой. Внутри реактора расположен нагревательный элемент.Доступ окислителяограничен. Тепло нагревательного элемента внутри реактора инициирует химические реакции. Происходит выделение горючего газа.

В ходе газификации, проведенной в лабораторных условиях, производится отбор проб получаемого синтетического газас интервалом температур 100 °Сдо достижения температуры 500 ˚С в реакторе.В таблице 3 представлены результаты анализа состава полученного газа,выполненного на газоанализатореХроматэк-Кристалл.

По результатам исследования был построен график зависимости изменения состава синтетического газа от температуры на выходе из реактора при ее изменении от 200 до 500˚С(рисунок 1). Из графика видно, что наибольшее количество горючих составляющих, углеводороды и водород, в составе исследуемого газа находится при температуре в реакторе 400 ˚С. Во время газификации в лабораторныхусловиях наблюдалось увеличение температуры с 200 до 500 ˚С, при этом: доля окиси углерода увеличивалась с 10,4 до 14,6 %, при Т=400 ˚С - 13,8 %;доля двуокиси углерода уменьшалась с 30,5 до 12,2 %, при Т=400˚С- 15,1 %; максимальная доля водорода, 17,8%, наблюдалась при Т=400 ˚С, а дальнейшее повышение температуры сопровождается понижением доли водорода, содержание которого в ходе процесса газификации изменяется в пределах от 2,7 до 17,8 %; доля кислорода при повышении температуры снижалась с 2,6 до 0,4 %, при Т=400˚С - 1 %

Таблица 3

Результаты анализа состава синтез газа

Температура отбора пробы, t °C		200	300	400	500
Состав газа, %	CH_4	21,4	35,2	36,8	37
	C_2H_6	6,5	5,9	4,4	1,6
	C_3H_8	1,5	1	0,7	0,2
	другие	14,9	9,7	6,6	12,8
	CO	10,4	11,4	13,8	14,6
	CO_2	30,5	18,8	15,1	12,2
	H_2	2,7	11,6	17,8	13,5
	N_2	9,6	5,1	3,9	7,6
	O_2	2,6	1,2	1	0,4

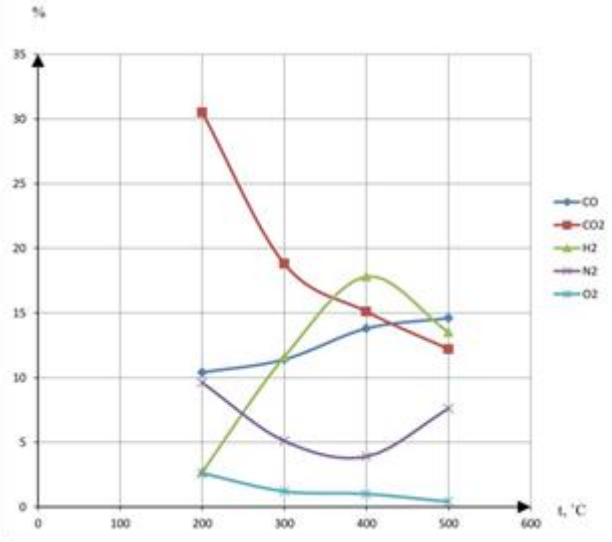


Рис. 1. Изменение состава синтетического газа в зависимости от температуры на выходе из реактора

Таблица 4

Результаты элементного анализа полукокса, полученного из угля Шубаркольского месторождения

	m, мг	W, %	Доля вещества в пробе, %				
			N	C	H	S	O
ПК ШК	2,003	1,4	2,1	87,8	2,7	0,2	7,2
ПК ШК	2,083	1,4	2,1	88,1	2,8	0,1	6,9
ПК ШК	2,044	1,4	2,1	87,8	2,7	0,2	7,3

В результате лабораторных исследований определены теплотехнические характеристики, элементный состав угля Шубаркольского месторождения, выполнена газификация исследуемого угля. По результатам исследования определена температура (400 °C), при которой технология газификации исследуемого топлива является наиболее эффективной в силу того, что при данной температуре получаемый синтетический газ содержит наибольшее количество горючих составляющих и минимум балласта. Таким образом, справедливо сказать , что выявлена оптимальнаятемпература переработки исследуемого топлива в лабораторных условиях применительно к использованной лабораторной установке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Полукокс // Карбоника – Ф. URL: http://www.carbonica.ru/polukoks.html (дата обращения 16.02.2015).

2. ТабакаевР. Б., А. В. Казаков, А. С. Заворин. Перспективность низкосортных топлив Томской области для теплотехнологического использования //Известия Томского политехнического университета. — 2013. —Т. 323, № 4. — [С. 41-46].

ОСНОВЫ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ТРУБ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Юдин В.А.
Научные руководители: Любимова Л.Л., к.т.н., доцент; Ташлыков А.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: yudin_1992@sibmail.com

FUNDAMENTALS OF RESIDUAL STRESSES DIAGNOSTIC RADIOLOGY PIPE STEAM BOILERS

Yudin V.A.
Supervisors: Lubimova L.L., Ph.D., associate professor; Tashlykov A.A., Ph.D., associate professor
Tomsk Polytechnic University, 634050, Lenina Avenue, 30, Tomsk, Russia
E-mail: yudin_1992@sibmail.com

Повышение ресурса работоспособности конструкционных материалов паровых котлов может обеспечиваться путем учета перераспределения собственных внутренних структурных напряжений при переменных температурах и деформациях, возникающих в элементах труб в процессе эксплуатации [1, 2, 3, 4]. Существующая масштабная классификация внутренних напряжений позволяет различать внутренние напряжения первого и второго рода [5].

Информация о процессах перераспределения внутризеренных напряжений II рода важна для повышения устойчивости микроструктуры конструкционных материалов, предотвращения межкристаллитной коррозии и коррозионного растрескивания под напряжением. В этой связи цель настоящей работы заключается в обосновании методических положений диагностики остаточных напряжений II рода в оболочках труб паровых котлов.

Напряжения II рода σ_{II} не могут быть определены методами сопротивления материалов и могут быть дифференцированы на основе метода рентгеновской дифракции по физическому уширению профилей рентгеновских линий β [5, 6, 7]. Физическое уширение β определяется совокупным влиянием дисперсности m и микронапряжений n и для двух аналитических линий представляется в виде:

$$\beta_1 = \frac{(m_1 + 2n_1)^2}{m_1 + 4n_1}; \qquad \beta_2 = \frac{(m_2 + 2n_2)^2}{m_2 + 4n_2}.$$

Часть истинного физического уширения первой дифракционной линии m_1 связано с дисперсностью D, а часть второй дифракционной линии n_2 – с микронапряжениями II рода зависимостями:

$$D = \frac{0{,}94\lambda}{m_1 \cos\theta_1}, \quad (1) \qquad \sigma_{II} = \left(\frac{n_2}{4 \cdot tg\,\theta_2}\right) \cdot E, \quad (2)$$

где θ – угол дифракции; E – модуль нормальной упругости; λ – длина волны; индексы 1 и 2 относятся к первой и второй дифракционным линиям соответственно.

Для экспериментального определения величины n_2 и разделения влияния блочности и микронапряжений на физическое уширение дифракционной линии могут быть применены выражения [8,9]:

$$\frac{m_1}{\beta_1} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{4n_1}{\beta_1} + \sqrt{\frac{8n_1}{\beta_1} + 1}\right), \quad (3)$$

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{\left[0{,}5 \cdot r \cdot \left(1 - \frac{4n_1}{\beta_1} + \sqrt{\frac{8_1}{\beta_1} + 1}\right) + \frac{2n_1}{\beta_1} \cdot s\right]^2}{0{,}5 \cdot r \cdot \left(1 - \frac{4n_1}{\beta_1} + \sqrt{\frac{8_1}{\beta_1} + 1}\right) + \frac{4n_1}{\beta_1} \cdot s} \quad (4)$$

$$\frac{\beta_2}{\beta_1}=\frac{\frac{1}{2r}\cdot\left(1-\frac{4n_2}{\beta_2}+\sqrt{\frac{8n_2}{\beta_2}+1}\right)+\frac{4n_2}{\beta_2}\cdot\frac{1}{s}}{\left[\frac{1}{2r}\cdot\left(1-\frac{4n_2}{\beta_2}+\sqrt{\frac{8n_2}{\beta_2}+1}\right)+\frac{2n_2}{\beta_2}\cdot\frac{1}{s}\right]^2}, \quad (5)$$

где $\frac{m_2}{m_1}=\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}=r;\ \frac{n_2}{n_1}=\frac{tg\,\theta_2}{tg\,\theta_1}=s.$

Согласно (3–5) рассчитываются теоретические значения отношения β_2/β_1. По экспериментальной величине того же отношения β_2/β_1 определяется величина n_2/β_2, а по ней, по выражению (2), внутренние микронапряжения второго рода.

На рис. 1 представлены экспериментальные результаты, полученные согласно изложенной методике разделения эффектов дисперсности и микронапряжений для жаропрочной трубной конструкционной стали 12Х1МФ, применяемой в котлостроении для изготовления трубопроводов высокого и сверхвысокого давления, труб пароперегревателей, фланцев, диафрагм.

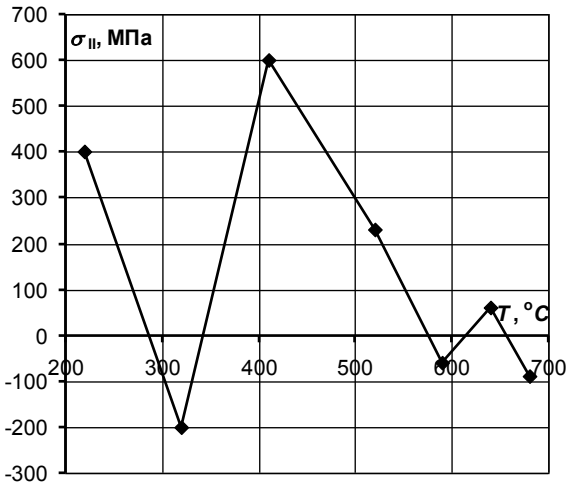


Рис. 1. Изменения микронапряжений II рода в стали 12Х1МФ в зависимости от температуры

Установление характера перераспределения собственных внутренних (остаточных) напряжений в зависимости от температуры (рис. 1) произведено методом термоциклирования в вакуумной приставке УВД-1000 к рентгеновскому аппарату ДРОН.

Согласно рис. 1 установлено:

- собственные внутренние структурные напряжения в процессе термоциклирования претерпевают существенные перераспределения и осциллируют от растягивающих (400, 600, 50 МПа) до сжимающих (200, 50, 100 МПа);
- переход напряжений от растягивающих к сжимающим осуществляется через полную релаксацию напряжений. Релаксация внутренних напряжений наблюдается при температурах порядка 300…350 ºС, 575…610 ºС и 650 ºС.

Выводы

1. Переход внутренних напряжений из зоны сжатия к растяжению явится причиной раскрытия микротрещин, межкристаллитного внутризеренного растрескивания и межкристаллитной коррозии.
2. Релаксация напряжений определяется ослаблением сил межатомных связей и уменьшением сопротивления материала формоизменению от внутренних и внешних давлений в трубных элементах паровых котлов.

3. Уменьшение внутренних напряжений при релаксации связывается с расходованием накопленной в предыдущем термоцикле латентной энергии на продвижение структурной трещины.
4. Перераспределение внутренних напряжений в цикле «растяжение – сжатие» в условиях переменных тепловых режимов, при наличии градиентов температур, в переходных режимах работы теплоэнергетического оборудования обусловит накопление повреждаемости с последующим разрушением элементов поверхностей нагрева паровых котлов в результате развития термической усталости конструкционного материала.
5. Выбор оптимальной температуры эксплуатации, при которой исключена релаксация напряжений в условиях фактических градиентов, является физической основой продления ресурса поверхностей нагрева котлов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-99544а в 2015 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уровень внутренних структурных напряжений как показатель работоспособности длительно эксплуатируемого пароперегревателя / Л.Л. Любимова, А.А. Макеев, А.С. Заворин, А.А. Ташлыков, Р.Н. Фисенко // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318, № 4. – С. 45 – 48.

2. Учёт внутриструктурных напряжений в процессах подавления влияния структурной неоднородности на коррозионные повреждения теплообменных труб / Л.Л. Любимова, А.А. Макеев, А.С. Заворин, А.А. Ташлыков, А.И. Артамонцев, Б.В. Лебедев, Р.Н. Фисенко // Теплоэнергетика. – 2014. – № 8. – С. 62 – 67.

3. Consideration of Intrastructural Stresses in the Processes Connected with the Effect of Structural Nonuniformity on Corrosion Damages Inflicted to HeattTransfer Tubes / L. L. Lyubimova, A. A. Makeev, A. S. Zavorin, A. A. Tashlykov, A. I. Artamontsev, B. V. Lebedev, and R. N. Fisenko // Thermal Engineering. – 2014. – Vol. 61. – No. 8. – pp. 600 – 605.

4. Прогнозирование работоспособности труб поверхностей нагрева котлов с учетом внутренних напряжений при пусконаладочных операциях / Л.Л. Любимова, А.А. Макеев, А.А. Ташлыков, А.С Заворин, Р.Н. Фисенко // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323, № 4. С. 81 – 84.

5. Любимова Л.Л., Заворин А.С., Лебедев Б.В. Основы применения метода высокотемпературной рентгенографии для оценки работоспособности труб паровых котлов // Томск: Изд. STT. – 2009. – 220 с.

6. Методика рентгенометрического анализа внутриструктурных напряжений /Л.Л. Любимова // Известия Томского политехнического университета.– 2003.– Т. 306.–Вып.4.– С.72 – 77.

7. Применение рентгенометрии в исследованиях структурной неоднородности труб поверхностей нагрева / Л.Л. Любимова, А.А. Макеев, А.С. Заворин, А.А. Ташлыков // Тяжелое машиностроение.– 2014.– № 7.– С. 18–22.

8. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электроннооптический анализ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1970. – 366 с.

9. Рентгенография в физическом металловедении / Под ред Ю. А. Багаряцкого. – М.: Гос. науч. – техн. изд-во лит. по черной и цветной металлургии, 1961. – 368 с.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕНТГЕНОМЕТРИЧЕСКИХ И МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СОСТАВА АУСТЕНИТНОЙ ЖАРОПРОЧНОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ

Юдин В.А.
Научные руководители: Любимова Л.Л., к.т.н., доцент; Ташлыков А.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: yudin_1992@sibmail.com

COMPARISON OF RADIOMETRIC AND METALLOGRAPHIC STUDIES SUBSURFACE INHOMOGENEITIES AUSTENITIC HEAT-RESISTANT PIPE STEEL FOR SUPERHEATER

Yudin V.A.
Supervisors: Lubimova L.L., Ph.D., associate professor; Tashlykov A.A., Ph.D., associate professor
Tomsk Polytechnic University, 634050, Lenina Avenue, 30, Tomsk, Russia
E-mail: yudin_1992@sibmail.com

Основными конструкционными материалами для изготовления пароперегревателей котлов СКД в России являются аустенитная сталь 12Х18Н12Т и стали перлитного класса 12Х1МФ и 12Х2МФСР. Рассчитанные на ресурс работы порядка 300 тыс.ч.они разрушаются по разным причинам гораздо раньше [1]. Одной из причин преждевременных разрушений может выступать ускорение структурной деградации стали в результате циклических механических и температурных градиентов [2].

Малая изученность некоторых аспектов структурных превращений и возможность фиксировать их с применением высокотемпературной рентгенометрии непосредственно при температурах этих превращений определили актуальность настоящей работы.

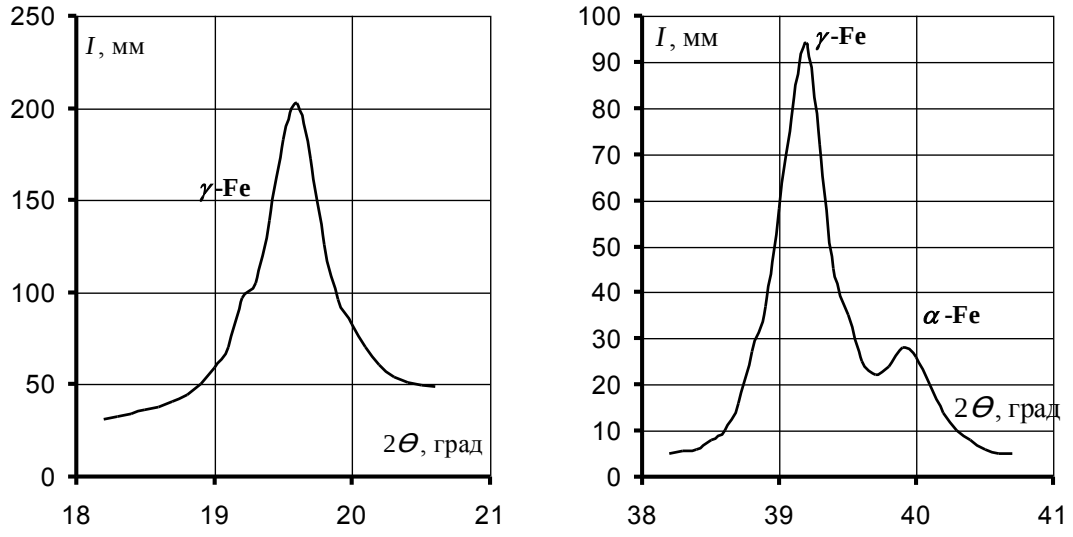
Целью работы является исследование и анализ влияния приповерхностной неоднородности состава на структурную деградацию на основе сравнения данных рентгенометрии и металлографии.

В качестве объекта исследований выбрана аустенитная хромомарганцевая сталь 10Х13Г12БСН2Д2 (Ди-59), разработанная для пароперегревателей котлов СКД [3, 4]. Исследования проведены на образцах, вырезанных из трубы диаметром 32 и толщиной стенки 6 мм.

Проведенный рентгеноструктурный анализ приповерхностных слоев образца с внутренней и наружной его сторон показывает, что атомно-кристаллическая структура наружной и внутренней поверхностей стенки трубы принципиально отличается (рис. 1).

На внутренней поверхности со стороны малых углов отмечается признак расслоения основной фазы, соответствующей аустениту с гранецентрированной кубической (ГЦК) решеткой и ребром элементарного куба, равным a_γ = 3,6076 Å (рис. 1 а). Наружная поверхность обладает смешанной фазовой структурой. Одна из фаз имеет объемно-центрированную кубическую (ОЦК) решетку с параметром элементарной ячейки a = 2,8509 Å, вторая фаза представляет собой аустенит (γ - Fe) с ГЦК решеткой и ребром куба a_γ = 3,5929 Å (рис.1 б). Различие в параметрах решетки аустенита на наружной и внутренней поверхностях свидетельствует о концентрационной неоднородности основного γ - твердого раствора. Примерное соотношение фаз на наружной поверхности соответственно равно α - Fe – 25 и γ - Fe – 75 масс. %.

Следует отметить, что установленная неоднородность окажет влияние на механические и электрохимические свойства различных участков поверхности, явится фактором, определяющим их усталостную и коррозионную прочность. Исследования показывают, что потенциальные возможности конструкционных материалов, особенно высокопрочных, проявляются лишь в том случае, когда качество поверхности удовлетворяет самым высоким требованиям [5].



а) λ = 0,71069 Å *б) λ = 1,39217 Å*

Рис. 1. Фрагменты рентгенограмм внутренней (а) и наружной (б) поверхностей

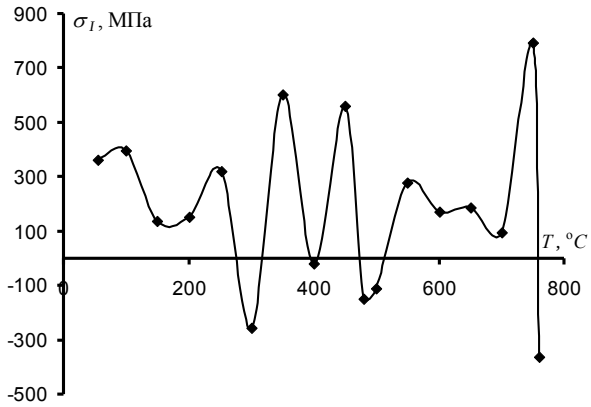


Рис. 2. Изменение зональных макронапряжений I рода σ_I в стенке трубы от температуры

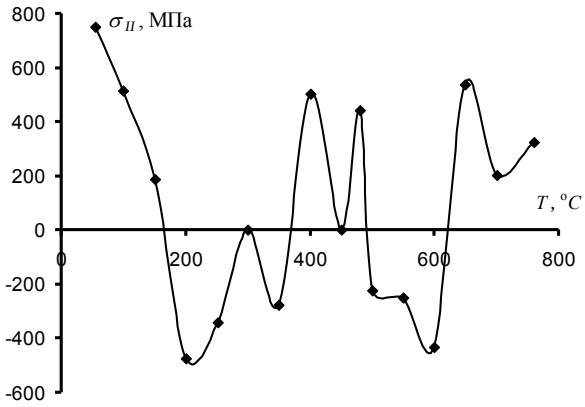


Рис. 3. Изменение внутренних микронапряжений II рода σ_{II} в стенке трубы от температуры

Кроме того, материальная неоднородность сплава (рис. 1) проявляет себя возникновением неоднородных внутренних структурных напряжений первого σ_I и второго рода σ_{II} (рис. 2, 3).

Из рис. 2 следует, что зональные макронапряжения σ_I при знакопеременных термических нагрузках приобретают осциллирующий характер и в диапазонах предполагаемых эксплуатационных температур 550…600…650…700 °С находятся в области растягивающих напряжений.

Внутренние микронапряжения второго рода (внутризеренные) в диапазоне температур 500…600 °С находятся в области сжимающих напряжений (рис. 3), которые препятствует развитию явлений термической усталости [6], вследствие чего и их разрушающее влияние проявляется с меньшей вероятностью, чем при растягивающих напряжениях.

На том основании, что в объеме зерен действуют сжимающие напряжения (рис. 3), а по границам – растягивающие (рис. 2), можно предположить, что исследуемый образец стали в диапазоне служебных температур будет иметь в большей степени склонность к образованию трещин не в теле зерна, а по его границам. Имея в виду существенную фазовую неоднородность наружной поверхности (рис. 1б), можно

утверждать, что межкристаллитной коррозии в первую очередь будет подвергаться наружная поверхность.

Этот же вывод вытекает из металлографических исследований разрушенных труб IV ступени пароперегревателя из стали Ди-59 котлов БКЗ 210-140 Ф с наработкой 12941 ч и 6821 ч и числом пусков – 17 (рис. 4, 5, 6), предоставленных одной из ТЭЦ СФО.

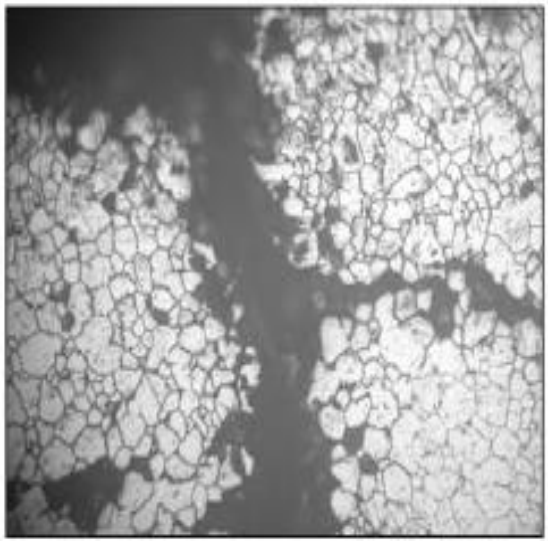


Рис. 4. Разветвленные трещины на наружной поверхности трубы пароперегревателя из стали Ди-59

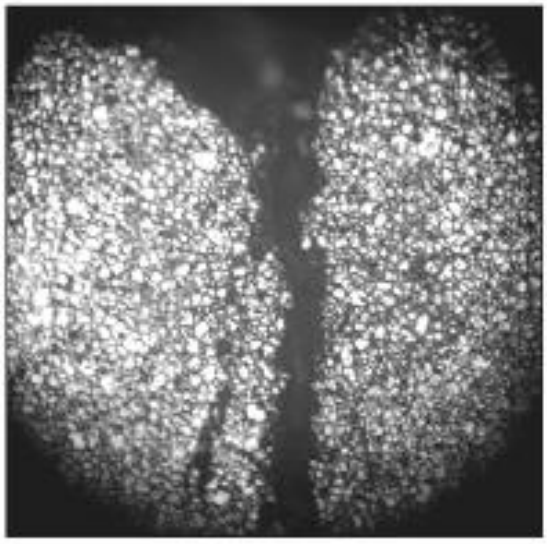


Рис. 5. Трещина на наружной поверхности трубы пароперегревателя из стали Ди-59

Микрошлифы для исследования вырезались перпендикулярно месту разрушения.

Травление производилось раствором «царской водки», микроструктура стали определялась на микроскопе Метам ЛВ-32 при увеличениях 500х. Установлено, что наружная поверхность состоит, в основном, из аустенита с некоторым количеством двойников и выделением укрупненных карбидов по границам и внутри зерна.

Во всех рассмотренных случаях разрушения выявлены с наружной стороны труб. Внутренняя поверхность труб оставалась чистой, без видимых дефектов. Разрушения представляют собой нераскрытые разветвленные трещины как в продольном, так и в поперечном направлениях с выкрашиванием металла по наружной поверхности (рис. 4, 5).

По месту разрушения из аустенита с тонкими и четкими границами зерен по наружной поверхности параллельно основной трещине, обнаружено межзеренное коррозионное растрескивание металла на глубину до 3,3 мм, начинающееся с наружной поверхности и сопровождающееся выпадением целых зерен, что характерно для межкристаллитной коррозии (рис. 6).

Разрушенные поверхности пароперегревателя не несли следов отложений и окалины, не обнаружено также увеличения диаметра труб в месте разрыва. Это свидетельствует о том, что разрушение было бездеформационным и доминантным фактором разрушения явились внутриструктурные процессы старения металла. В отличие от рентгенофазового анализа (рис. 1б) данные микроскопического метода не обнаруживают в структуре стали достаточно существенной по величине фазы альфа-железа (25 %), что также может объясняться неоднородностью состава поверхности стенки трубы.

По результатам металлографических исследований, как и по данным рентгенометрии, можно сделать вывод, что разрушения труб D x S = 32 x 4,5мм, сталь Ди-59 IV ступени пароперегревателя, произошли вследствие развития коррозионного повреждения (МКК) металла со стороны внешней поверхности.

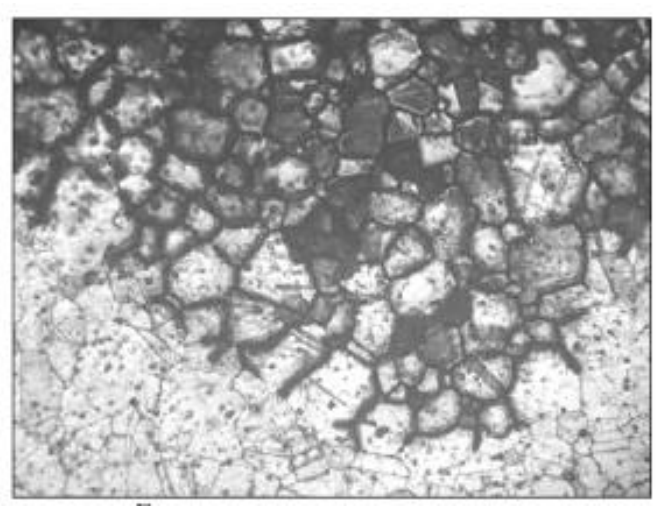


Рис. 6. Межкристаллитная коррозия на наружной поверхности

Заключение

На основе методики рентгенодиагностики протестированы образцы труб поверхностей нагрева паровых котлов по уровню внутренних структурных напряжений. Полученные оценки и выводы относительно возможных разрушений и работоспособности труб находятся в соответствии с результатами, выполненными путем анализа микроструктуры на основе металлографического метода. Согласно исследованиям сравниваемыми методами разрушение поверхностей нагрева произошло с внешней стороны трубы и выражалось в межкристаллитном растрескивании металла.

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-99544а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резинских В.Ф., Школьникова Б.Э., Урусова Г.А. Перспективные стали для пароперегревателей котлов СКД // Теплоэнергетика.– 2000.– № 10. – С. 39–43.

2. Structural Instability in the Early Decomposition of Supersaturated Austenite Solid Solution /A.A. Makeev, L.L. Lyubimova, A.S. Zavorin et al. // Steel in Translation.–2009. –Vol. 39 – No. 12.– pp. 1048 – 1055.

3. Адамович В.К., Крац И.В., Гриневский В.В. Разработка расчетных характеристик кратковременной и длительной прочности, пластичности и допускаемых напряжений стали ДИ59// Труды ЦНИИТМАШ/ Под ред. А.В. Рябченкова, Е.В. Кузнецова. – М.: 1988.– С. 62 – 68.

4. Тумановский А.Г., Резинских В.Ф. Стратегия продления ресурса и технического перевооружения тепловых электростанций//Теплоэнергетика.– 2001.– № 6.– С.3 –10.

5. Учёт внутриструктурных напряжений в процессах подавления влияния структурной неоднородности на коррозионные повреждения теплообменных труб/Л.Л. Любимова, А.А. Макеев, А.С. Заворин и др.// Теплоэнергетика. – 2014.– № 8.– С. 62–67.

6. Русаков А. А. Рентгенография металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 480 с.

SESSION 1

POWER INDUSTRY

СЕКЦИЯ 1

УСТОЙЧИВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

STUDY OF THE EFFECT OF ROTOR MAGNETIC SYSTEM CONFIGURATION ON TORQUE RIPPLE OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS WITH FRACTIONAL SLOT WINDINGS

Salah Ahmed Abdel Maksoud Selim
Port Said University, 42526, Egypt, Port Said
E-mail: salahahmed03@yahoo.com

In this paper the influence of various types of rotor magnetic system configuration on the torque ripple and the total torque developed by a three-phase permanent magnet synchronous motor (PMSM) is investigated. The number of stator slots and stator geometry are fixed and the rotor geometry is modified. At the beginning, a numerical calculation of the magnetic field distribution of permanent magnet synchronous motor (PMSM), under consideration is carried out. For this purpose, the Finite Element Magnetic Method (FEMM) is applied. By using output data from the field computation, all relevant characteristics of the motor are determined. It is shown that the modifying rotor geometry is not sufficient to obtain a low torque ripple.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНФИГУРАЦИИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НА ПУЛЬСАЦИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЗУБЦОВЫМИ ОБМОТКАМИ

Салах Ахмед Абдель Максуд
Порт-Саид университет, 42526, Египет, Порт-Саид
E-mail: salahahmed03@yahoo.com

Рассматриваются результаты расчёта магнитного поля и моментов для тырех моделей электродвигателей с постоянными магнитами. Для этого были созданы модели магнитной системы электродвигателей в программной среде FEMM, использующей численный метод расчёта − метод конечных элементов. Результаты моделированием показали, что конфигурации магнитной системы существенным образом влияют на пульсацию момента магнитоэлектрического двигателя..

In recent years permanent magnet motors take a strong position in the production programs of leading foreign electromachine companies. Permanent magnet synchronous motors are widely used in many industrial applications for their compactness, highly efficient and high torque density. As their cost continues to decrease they have the opportunity to become a dominant force in the industrial applications market [1], [2], [3].

One of the most important problems in permanent magnet (PM) motors is the pulsating torque which is inherent in their design. This ripple is parasitic, and can lead to mechanical vibration, acoustic noise, and problems in drive systems. The minimizing of this ripple is of great importance in the design of PMSM. The pulsating torque should be specially analyzed for the application of constant speed or high-precision position control, especially at low speed [4], [5], [6].

Torque pulsations are due to the cogging torque and the electromagnetic torque ripple. The cogging torque is the consequence of the interaction between of the permanent magnets field and the stator slots, which produces reluctance variations with the rotor position; it is independent of stator current.

The electromagnetic torque ripple is caused by the interaction of the stator magnetomotive force with the geometry and magnetic properties of the rotor [4].

In the literature, numerous methods for reducing the torque pulsations, such as employing a fractional number of slots per pole, skewing of magnets and/or slots, displacing and shaping the magnets, optimizing the magnet pole-arc-to-pole-pitch ratio, introducing auxiliary slots or teeth etc, have been proposed [7], [8], [9].

Selection of rotor shape and geometry unlimited, and so the purpose of this paper is to study the influence of the rotor magnetic system configuration on the torque characteristics of permanent magnet synchronous motors with fractional slot windings and torque ripple magnitude. To illustrate this influence simulation results for three models of permanent magnet synchronous motors with fractional slot windings are taken. These models are created in FEMM using a numerical method of calculation. The results of the calculation of the magnetic field and moments of permanent magnet synchronous motors with fractional slot windings show that the rotor

magnetic system configuration has a strong effect on the torque characteristics of the motor. Furthermore, the pole shape design on the rotor has significant impact on the value of the torque ripple.

FEMM Models of Motor and Winding Configuration

Three models of permanent magnet synchronous motors with fractional slot windings are created in FEMM. By using FEMM it is possible to solve electromagnetic state of machine. Due to the requirements of expected output, the mesh must be generated depending on the parameters to be examined. Computations on FEMM are made for several quantities like field, flux, torque, inductances, etc.

The three models have identical stator configuration and the parameters modified in all types of motor to illustrate the effect of the rotor magnetic configuration on the torque characteristics are: a) distance between the top of permanent magnet, b) shape of rotor pole, and c) height of magnets.

The main design parameters of the machines, to which the current work on torque ripple reduction techniques relate, are given in Table 1.

Table 1

Design parameters of the three models

Model / Dimensions	**1**	**2**	**3**
Outer diameter of the stator, mm	104.7	104.7	104.7
Inner diameter of the stator, mm	68	68	68
Active length, mm	1000	1000	1000
Air gap (mechanical clearance)	0.4	___	0.4
Height of the magnet, mm	14	15	14
The width of the magnet, mm	4	4	4
The number of turns of the stator coils	28	28	28
The maximum air gap, mm	2	2	2
Minimum air gap, mm	0.4	0.4	0.4
Magnet material	NdFeB	NdFeB	NdFeB

Figure 1 shows three models of permanent magnet synchronous motors with fractional slot windings. The number of stator slots ($Z_1 = 12$ teeth) and stator geometry are fixed and the rotor configuration is modified.



Fig. 1-a. Model - 1



Fig. 1-b. Model - 2



Fig. 1-c. Model - 3

Fig.1. Three models of permanent magnet synchronous motors with fractional slot windings and different designs of rotor configurations.

Figure 2 shows the diagrams of the windings used to investigate the influence on the torque ripple and the total torque of the motor.

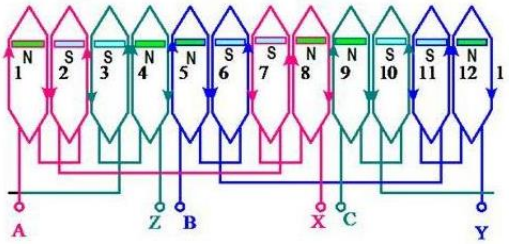


Fig. 2. Diagrams of fractional slot windings utilized.

The three windings indicated, are fractional slot windings with a number of slots per pole and per phase "q" lower than unity. The last type is also called concentrated winding, because the coil is wound around one tooth.

$$q = \frac{Z_1}{2P.m} = \frac{2}{5} \qquad (1)$$

Where m (m=3) is the number of phases, $2P$ ($2P = 10$) is the number of poles and $Z_1 (Z_1 = 12)$ number of stator slots.

To calculate the electromagnetic torque, the load behavior of the motor when the armature flux is perpendicular to excitation ($I_d = 0, I_q = I$), for different position of the rotor, is simulated.

Results

Figure 3 shows the electromagnetic torque of the three rotor configurations with rotor position angle. The overall torque ripples of the permanent magnet synchronous motors with fractional slot windings at rated loading conditions can be significantly reduced, with no apparent degradation of machine performance. It is illustrated that, the form of ferromagnetic poles on the rotor has great effect on the value of the electromagnetic torque ripple.

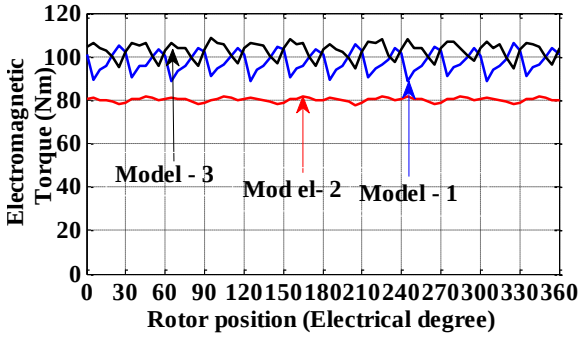


Fig. 3. The output torque profiles versus rotor position for different rotor configurations.

It is clear that the profiling rotor ferromagnetic poles will reduce the electromagnetic torque ripple, but complicates rotor manufacturing. Thus, the use of numerical methods and software appropriate systems enables calculation of electromagnetic field and the magnetic torques with the material properties and the model parameters. For example, in order to achieve a goal like the maximum torque in a given volume and low electromagnetic torque ripple, it is necessary to make a series of optimization calculations.

The torque ripple factor (TRF) can be calculated from the following equation [10];

$$TRF\% = \frac{\sum abs\left(\frac{T_{inst} - T_{av}}{T_{av}}\right)}{N} * 100 \qquad (2)$$

The results of the calculation of the torque ripple by using eq. (2) for the four models listed in Table 2.

Table. 2

Calculation of the torque ripple factor

Model	Model-1	Model-2	Model-3
TRF%	4.351	0.930	3.054

From table 2 it is shown that the shape of the rotor ferromagnetic poles substantially affects the value of the electromagnetic torque ripple. It is found that model 2 has the lowest ratio of torque ripple.

Conclusion

The results of the calculation of the magnetic field and the electromagnetic torque for the four models of the permanent magnet synchronous motors with fractional slot windings are considered. It is presented that the rotor magnetic system configuration significantly affects the torque characteristics of the motor. Although rotor profiling ferromagnetic poles can significantly reduce the torque pulsation, it is not particularly effective to suppress the overall torque pulsation.

References

[1] I. Petrov, P. Ponomarev, Y. Alexandrova, J. Pyrhonen, “Unequal Teeth Widths for Torque Ripple Reduction in Permanent Magnet Synchronous Machines with Fractional-Slot Non-Overlapping Windings,” Magnetics, IEEE Transactions on (Volume: 51, Issue: 2), Feb. 2015.

[2] J. A. G¨uemes, A. M. Iraolagoitia, J. I. Del Hoyo, and P. Fern´andez, “Torque Analysis in Permanent-Magnet Synchronous Motors: A Comparative Study,”IEEE Transactions on energy conversion, vol. 26, no. 1, pp. 55–63, March 2011

[3] L. Dosiek and P. Pillay, “Cogging torque reduction in permanent magnet machines,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 43, no. 6, pp. 1656–1571, Nov./Dec. 2007.

[4] J. A. Güemes1, A. M. Iraolagoitia1, M. P. Donsión and J. I. Del Hoyo, “Analysis of Torque in Permanent Magnet Synchronous Motors with Fractional Slot Windings,” Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines.

[5] L. Dosiek, and P. Pillay, “Cogging torque reduction in permanent magnet machines”, IEEE Industry application, vol. 43, no. 6, pp. 1656 – 1571, 2007.

[6] Z.Q. Zhu, and D. Howe, “Influence of design parameters on Cogging torque in permanent magnet machines”, IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 15, no. 4, pp. 407-412, 2000.

[7] Z.Q. Zhu, S. Ruangsinchaiwanich, and D. Howe, “Synthesis of cogging torque waveform form analysis of a single stator slot”, IEEE Trans. Industry Applications, vol. 42, no. 3, pp. 650-657, 2006.

[8] A. Jabbari, M. Shakeri, and S. A. Nabavi Niaki , “Pole Shape Optimization of Permanent Magnet Synchronous Motors Using the Reduced Basis Technique”, Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering, Vol. 6, No. 48 1, Mar. 2010.

[9] Lateb R., Takorabet N., and Meibody-Tabar F., “Effect of magnet segmentation on the cogging torque in surface-mounted permanent-magnet motors,” IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 42, No.3, pp. 442-445, 2006.

[10] A. F. Shevchencko, S. A. AbdeL Maksoud Selim. Torque ripple factor calculation for BLDC motor // III All-Russian scientific-practical conference "The Science Initiative of foreign students and post-graduates of Russian universities", May 19-21, 2010, p. 234-237.

NUMERICAL STADIES OF HEAT TRANSFER IN GAS HEATER INSTALLATION

Khomutov E.O.
Scientific Supervisor: Gil.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: zhenyakhomutov@inbox.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ГАЗОПОДОГРЕВАЮЩЕЙ УСТАНОВКЕ

Хомутов Е.О.
Научный руководитель: Гиль А.В., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: zhenyakhomutov@inbox.ru

Abstract. *Relevance of the work due to the need to research the effectiveness and reliability of the heat exchangers. Research of heat transfer with different velocity of gas and temperature of steam was conducted. Results of the numerical modeling of the processes of heat exchange was presented.*

1. Introduction

Gas is the most environmentally friendly fuel and the last years its role increases significantly. Drying and heating gas is an integral part of the prepare fuel before combustion [1]. For this purpose are using various heat exchangers.

2. Object of study

The object of investigation was take the fuel gas heater. Of ten it is located in refineries and on other facilities of industry. Steam is used as heating medium in heat exchanger. The heat exchanger with opposing steam flow. Gas heater (Fig.1) heats the purified fuel gas with an initial temperature of 30°C to the desired value before it is burned to the furnace.

Software package ANSYS Fluent was using for investigate the heat transfer in the installation. In order to speed up the calculation the model was simplified. From the set of pipes was taken one, then was built computational grid. Then calculates. Computational grid is shown in Figure 2.

In this work was carried out a study of heat transfer at various flow rates and temperatures of steam. Then was presented graphs change in temperature of the gas along the length of the heat exchanger.

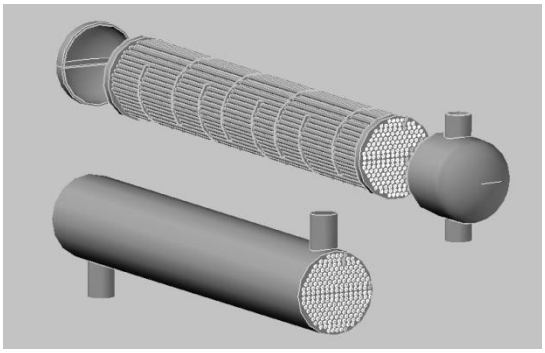


Figure 1.The fuel gas heater

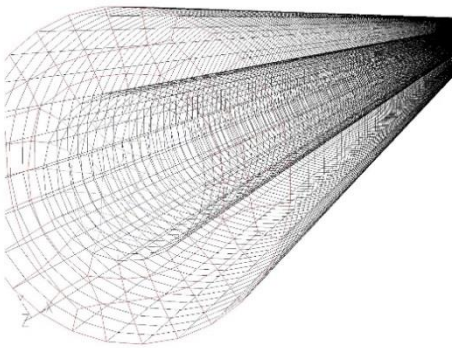


Figure 2.Computational grid

3. Calculation results

Consider Figure 3, it shows the dependence of the gas temperature from the heating steam temperature.

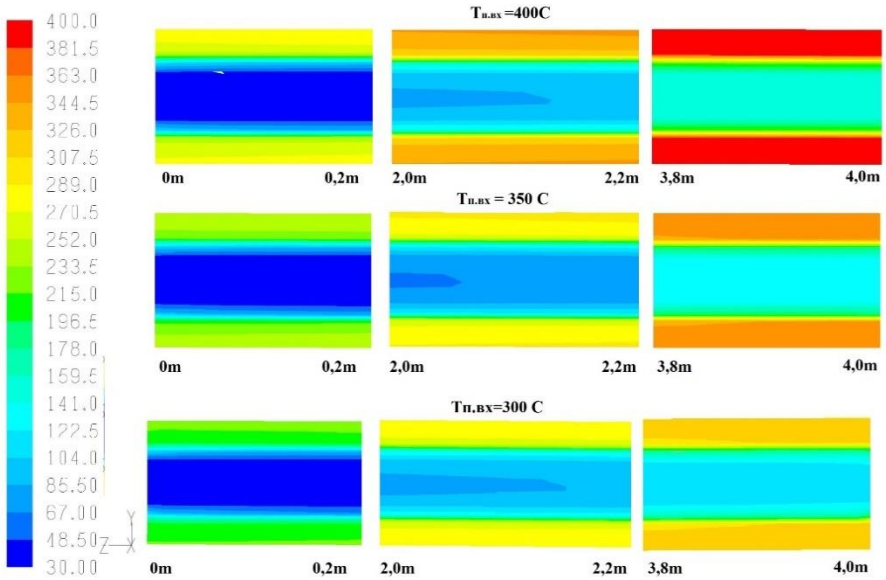


Figure 3. The dependence of the gas temperature from the heating steam temperature

The calculation results shows that by increasing the temperature of steam increases the temperature of the gas. This is because with increasing steam temperature the temperature drop increases, and, consequently, the heat transfer coefficient. In consequence, the heat transfer rate increases. Consider the graph of the distribution of the gas temperature along the length of the heat exchanger depending on the temperature of the steam (figure 4).

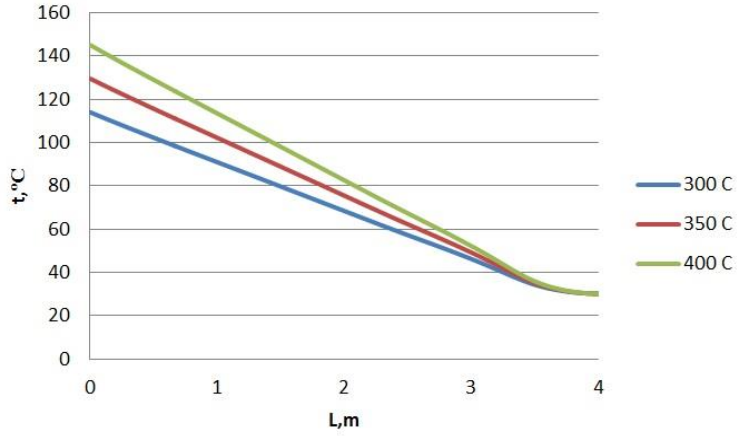


Figure 4.The distribution of the gas temperature along the length of the heat exchanger

In order to estimate the influence of gas velocity on temperature in the calculation were taken three values of gas velocity 4, 7 and 17 m/s. The results are presented on figure 5.

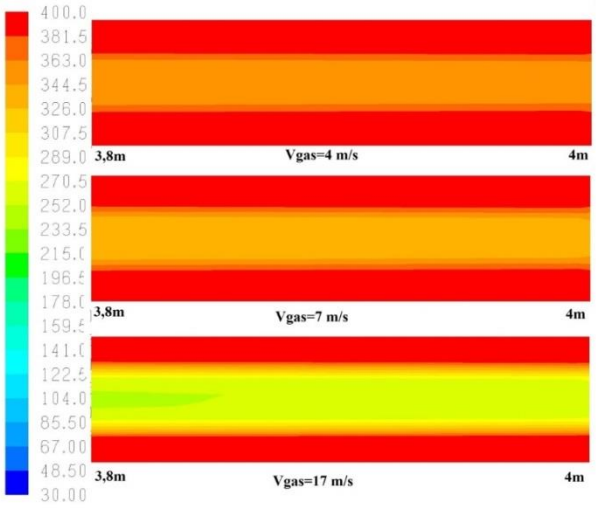


Figure 5.The dependence of the gas temperature from its velocity

Figure 5 shows that decreasing the speed of the gas, its temperature increases. This is because when a counter flow scheme of movement of the gas it moves constantly in the zone of higher temperature and with decreasing speed the time of its stay in the heat exchanger increases, hence, he manages to heat up more than at higher speed. Figure 6 shows a graph of the distribution of the gas temperature along the length of the heat exchanger.

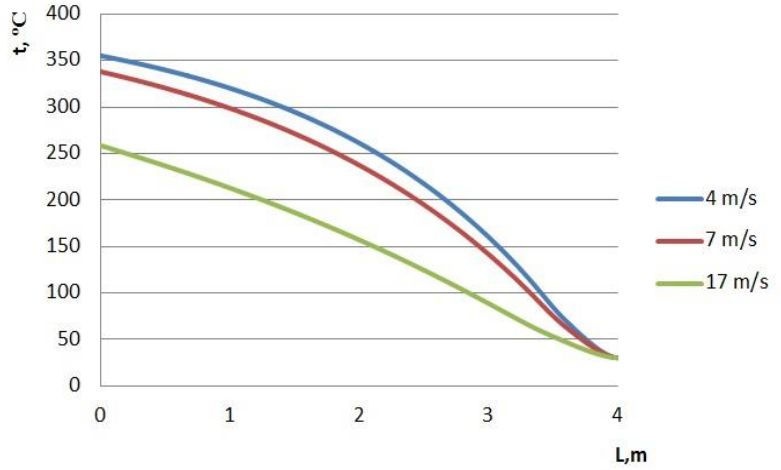


Figure 6.The distribution of the gas temperature along the length of the heat exchanger

4. Conclusion

In this work were carried out for investigation of heat transfer in gas heater. Namely, was evaluated the influence of steam temperature and gas velocity on its temperature. According to the obtained results, it is evident that to increase the gas temperature (the heat transfer enhancement) it is necessary to increase the temperature of heating media, in our case a pair of, or reduce the velocity of the gas.

References

1. Gil' A.V., Gil' A.Y. Research of integral parameters for furnaces of a circulating fluidized bed. EPJ Web of Conferences, 2015, 82, 01044.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELS KINETIC SCHEME OF THE NUMERICAL CALCULATIONS OF NITROGEN OXIDE AT PULVERIZED SOLID FUEL

Korzilova I.E., Vizgavlyust N.V., Vorobyeva L.V.
Scientific Supervisor: Vizgavlyust N.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: korzik1@sibmail.com

1. Introduction

Protection from harmful air emissions is one of the most acute problems of our time. The rapid growth in energy consumption is accompanied, as is well known, the increase in emissions that pollute the environment.

Thermal power plants, consuming large amounts of fossil fuels, emit combustion products containing particulate matter, sulfur oxides, nitrogen and carbon.

Each year, the environmental safety requirements more stringent. According to GOST 50831-95 [1] emissions of nitrogen oxides for thermal power plants, which will work after 2016 should not exceed 200 mg / m3 for solid fuels (with a power> 300 MW). In this regard, one of the major challenges for designers is to ensure health authorities set maximum permissible concentrations of gaseous impurities (primarily - NOx) in the air for input again, as already operated for thermal power plants.

In order to determine more effective ways to combat NO_x emissions for each unit of the boiler should be carried out field experiments. However, such experiments are not always possible.

In order to optimize the design process and reduce the cost of the experiment using numerical simulation. This will analyze the emissions of nitrogen oxide already in the design phase for the newly commissioned capacities and work out several options for the reconstruction of a boiler operating with the selection of optimal solutions to this problem.

To introduce effective methods of nitrogen oxide suppression is necessary to develop methods of mathematical modeling of the combustion of nitrogen-containing fuels in furnaces and combustion chambers. When you create a numerical model that describes the formation of nitrogen oxides, it is important to take into account all the peculiarities of the processes occurring in the combustion chamber: complex spatial aerodynamics, combustion of coal dust, etc.

To date, the mechanism of formation of thermal NOx is well studied and satisfactorily described circuit YB Zel'dovich [2]. More complicated is the simulation of the formation of fuel and fast nitrogen oxides. As a rule, the proposed kinetic models require the calculations to take into account a significant number of chemical reactions that accompany this phenomenon. This greatly limits their application in numerical research to full-scale facilities.

2. Description models

In this paper mathematical modeling of formation of nitrogen oxides when burning dust-like nitrogen-containing fuel in fire chambers of industrial package boilers is carried out based on the NO developed by Mitchell and Terbell [3] kinetic models of education, and also with use of model developed by Gusev, Zaychik and Kudryavtsev [4].

Mitchell-Terbella's model is rather convenient in use, its kinetic scheme consists of only 13 reactions. The kinetic scheme of this model is described by system from seven equations which model chemical reactions

of burning of hydrocarbons, burning of coke, an exit and burning flying, formations of thermal nitrogen oxides, heterogeneous reaction of conversion of nitrogen oxides as a result of their interaction with carbon of coke [3, 5].

In the model of Guseva-Zaychik-Kudryavtsev it is supposed that all fuel nitrogen oxides are formed of nitrogen of the fuel which passed together with flying into a gaseous phase, and nitrogen influence remained in coke neglect. Formation of fuel nitrogen oxides is calculated in the assumption that during an exit and burning of the flying there is a decomposition of nitrogen-containing components of fuel to active atomic nitrogen N or cyanide of HCN hydrogen. Further it is considered that process proceeds in two directions: oxidation of nitrogen to nitrogen oxide and formation of molecular nitrogen owing to a recombination of atomic nitrogen or as a result of recovery of an oxide of nitrogen. The settlement scheme of generation of fuel oxides is described by system from three equations [4, 5].

3. Results and discussion

The numerical models of generation of NO_x described above were applied to operating BKZ-220-100ZhSh which configuration is provided in fig. 1. In fig. 2 distribution of concentration of nitrogen oxides on BKZ-220-100ZhSh copper fire chamber height is provided in case of from excess of air $\alpha = 1,2$.

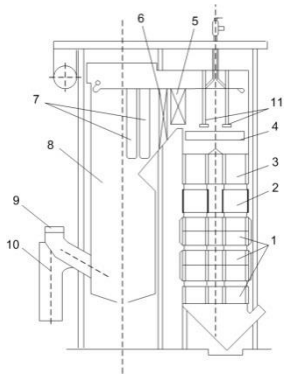


Fig. 1 Scheme of boiler BKZ-220-100ZhSh
1, 3 steps of an airheater; 2, 4 steps of the economizer; 5-convective step; 6, 7-output and furnace screens; 8-furnace camera; 9 nozzle of secondary air; 10 separator of a mill; 11-shot cleaning system

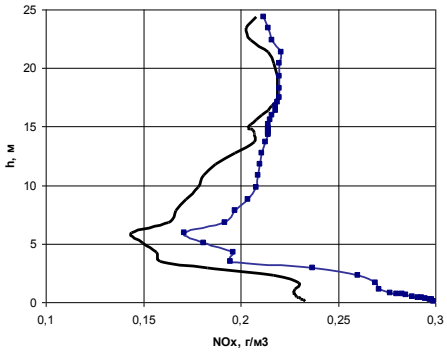


Fig. 2 Formation of nitrogen oxides on BKZ-220-100ZhSh boiler fire chamber height:———— – model [3],
–■–■–■–■– – – model [4],

The boiler BKZ-220-100ZhSh has the prismatic furnace camera. Height of the boiler is 24,9 m, width of a fire chamber is 8,64 m, depth of a fire chamber is 7,74 m. The furnace camera is completely screened pipes diameter 60mm. Poorly inclined symmetric under (α = 15z), formed by pipes of front and back screens, corresponds to system with a liquid slag removal, and the lower part of a fire chamber up to the height of 5,750 m is studded and is covered with chrome plastic. On side walls on a mark of 9,6 m there are lighting-up burners which are built in special torches with an organized supply of secondary air [6] are established.

From fig. 2 it is visible that the chosen mathematical models for research of an exit of nitrogen oxides yield close results. In fig. 3 nature of distribution of concentration of NO_x, typical for all models [3, 4], in the vertical section of a fire chamber passing between direct-flow torches and a 3D projection is provided.

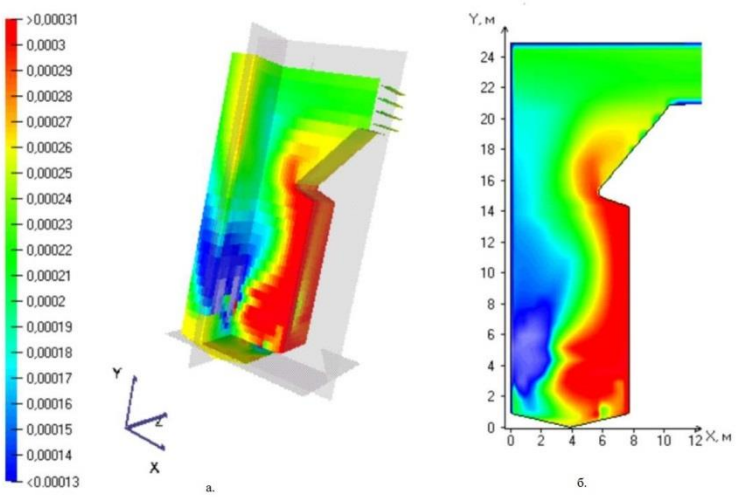


Fig. 3 Distribution of mass concentration of NO_x in BKZ-220-100ZhSh boiler fire chamber: and – 3-D model; – in vertical section

As can be seen from fig. 3, the maximum quantity of NO_x nitrogen oxides is formed in the upper and lower part of the zone of active burning which is characterized by the increased values of temperature of a flow. On a site from 10 to 25 m on the furnace height, where burning is already complete, concentration of NO_x changes poorly. The area of the maximum values of temperatures (to 1900 K) is in part of the furnace camera, opposite to torches. At the exit from a furnace temperature matters 1250 K.

4. Conclusions

1. The forecast accuracy of formation of NO_x substantially depends on a share of nitrogen of the fuel leaving together with flying or when burning a coke remaining balance.

2. The model [3] represents more exact and complete picture of process of formation of nitrogen oxides because of accounting of after-burning of a coke remaining balance, turbulent diffusion and transfer of components of the furnace environment average movement.

References

1. GOST R 50831-95 «Ustanovki kotel'nye. Teplomehanicheskoe oborudovanie. Obshhie tehnicheskie trebovanija».
2. Kotler V.R. Oksidy azota v dymovyh gazah kotlov – M.: Jenergoatomizdat, 1987 – 144 p., il.
3. Mitchell J.W., Tarbell J.M. A kinetic model of nitric oxide formation during coal combustion // American Institute of Chemical Engineers Journal. – 1982. – V. 28. – № 2. – Pp. 302–310.
4. Gusev I.N., Zajchik L.I., Kudrjavcev N.Ju. Modelirovanie obrazovanija oksidov azota pri szhiganii tverdogo topliva v topochnyh kamerah // Teplojenergetika. P. 32 – 36.
5. Vizgavljust, N.V. Modelirovanie obrazovanija oksidov azota v pyleugol'nyh topkah pri szhiganii organicheskogo topliva / N.V. Vizgavljust // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2010. – T. 317. – № 4. – Pp. 57–61.
6. Fedeckij I.I. Issledovanie processov v mineral'noj chasti nazarovskogo uglja v topke s ploskimi parallel'nymi strujami: dis. … kand. tehn. nauk. – Tomsk, 1980. – 255 p.

POWER BALANCE OF THE SIBERIAN FEDIRAL DISTRICT: DYNAMICS AND PROSPECTS

Leonova V.K., Klimova G.N.
Scientific Supervisor: Ph.D.docent Klimova G.N.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Kirova str.,4 , 634041
E-mail: zvdlera94@mail.ru, gariki@tpu.ru

ЭЛЕКТРОБАЛАНС СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА: ДИНАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ

Леонова В.К., Климова Г.Н.
Научный руководитель: Климова Г.Н., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Кирова,4, 634041
E-mail: zvdlera94@mail.ru, gariki@tpu.ru

Аннотация

Устойчивость системы электроснабжения в СФО требует, прежде всего, точного прогноза и исследования факторов, связанных с электропотреблением. Сибирский федеральный округ (СФО) располагает своей богатой топливно-энергетической и сырьевой базой. Баланс электрической энергии служит своеобразным зеркалом, отражающим социально-экономический уровень развития территории, в том числе и то, насколько эффективно реализуется политика Государства в области энергосбережения. На наш взгляд, политика энергоэффективности может включать не только введение энергосберегающих технологий, но и добиться более точного прогноза электробаланса СФО.

Abstract

The sustainable system of energy supply in the Siberian Federal District requires first of all accurate forecast and research of the factors relating to energy consumption. The Siberian Federal District (SFD) possesses rich fuel, energy and raw material resources, also being a major supplier of resources to other regions [2]. The balance of electrical energy efficiency (EE) is a partial derivative of the composite energy balance in the SFD considered at the socio-economic level of the territory development, as well as an indicator of effectiveness concerning the implementation of the State policy in the field of energy conservation. The most significant factor affecting power consumption is the ***gross regional product*** *(GRP) and capacitance of GRP. Mining and manufacturing industries are characterized by the production of electrical capacitance. Following the scenario of Russia's social and economic development till 2030, some research of changes relating to the dynamics of the GRP has been done by modifying its structure. Also the paper offers approximate forecast concerning electric capacity by 2020 in comparable prices. So with 18% decrease, capacitance will decrease by 13%, not affecting the GRP trend. In our opinion, the policy of energy efficiency may not only include introduction of energy-saving technologies, but bring about a more accurate forecast analysis of the SFD electric balance.*

Introduction

Issues of energy management and energy efficiency are of high importance in the world. Siberian Federal District (SFD) possesses fuel, energy and raw material recourses, satisfying not only own needs for fuel and energy resources (FER), but also being a major supplier to other regions.

The Balance of electrical energy efficiency (EE) is a partial derivative of the composite energy balance in SFD considered in [1, 2] and of the socio-economic level of development of the territory, as well as an indicator of effectiveness concerning the implementation of the State policy in the field of energy conservation [2].

Adoption in 2008 of the Presidential Decree number 889, and in 2009 the Federal Law number 261 was the impetus for the development of long-term programs in the area of energy efficiency. [1] The main indicators of energy efficiency in accordance with the legislation are: the combined energy balance, private energy balances, indicators of socio-economic development, energy and electricity production unit of gross regional product, the consumption of energy resources and energy efficiency per capita.

Despite the fact that all developed the paralysis of energy efficiency compared to 2009, the authors in this paper use statistical data from 2000, as a large selection enables more correct predictions for the future, improving the accuracy of the models and conclusions [1].

Energy Efficiency Indicators

SFD is one of the few districts of Russia, which is almost self-sufficient in energy efficiency of its own production, 96% of which goes to power plants and hydro [3]. During the time, the production of EE at SFD increased by 6%, and consumption by 13%.

The most significant factor affecting power consumption is the gross regional product (GRP), its structure and the possibility of changes in the future. Thus, in the current circumstances manufacture GRP SFD data regarding 2000 increased by 7.3 times. 66% generated GRP accounts for the Krasnoyarsk Territory, Irkutsk, Kemerovo, Novosibirsk region. In the industrial structure it is dominated by the GRP manufacturing (21%), transport and communications (13%), wholesale and retail trade (13%), organizations that work with real estate and public administration (15%), extractive industries (10%).

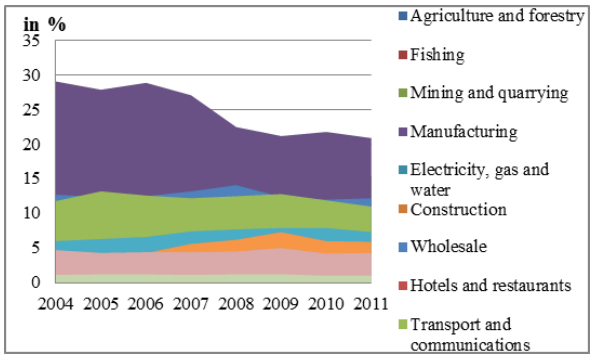


Fig.1 Structural Dynamics of GRP under comparable conditions relative to 2000

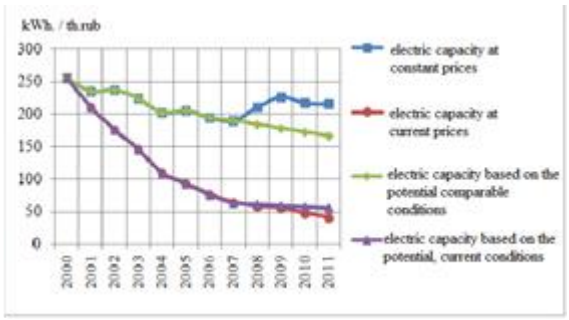


Fig.3. GRP electricity intensity in current and comparable conditions with and without the energy saving potential

Fig. 1 shows that the share of economic activity is really creating products in values of 66-69%. Depending Graphs shown in Fig. 2 show the natural decline of electrical capacity in the current environment.

Fig. 3 shows us that in comparable prices GRP electricity intensity in 2011 were 216 kWh / thousand rubles, which are 40 kWh / thousand rubles less than 2000. Reduction occurs mainly due to changes in the structure of GRP toward non-energy activities. If you save electricity consumption trends observed in the SFD in the near future can be estimated using the equation obtained in the program STATISTICA (1).

$$W'_{GRP} = 2230{,}1409 \cdot x - 4{,}2868 \cdot 10^6 \text{, mln. kWh} \quad (1)$$

Taking into account the implementation of energy-saving electric capacity assigned by 2020 it should reach 114 kWh / thousand rubles. In accordance with the state program of energy saving potential it is supposed to achieve this by raising extra budgetary sources and further reduce the proportion of non-energy activities in GRP. Equation takes the form (2):

$$W_{GRP}^{'} = -2604,9007 \cdot x + 5,3973 \cdot 10^{6}, \text{ mln. kWh.} \quad (2)$$

What changes in the pattern of capacitance by type of economic activity will occur in the future, we cannot say now, because there is no forecast of socio-economic development of the SFO until 2020. In 2011 values of electric capacity FEA have reached the following rates (Table 1) [4].

Table 1.

Electric capacity production by economic activity

Economic activities	kWh / thousand rub.
Extractive industries	59.1
Manufacturing industries	79.7
Production, distribution, energy efficiency, gas, water	17.2
Construction	2.2
Agriculture and forestry	3.3
Transport and communications	18.4
Others	17

Mining and manufacturing industries (Table 1) are characterized by the production of electrical capacitance; therefore, search for the major reserves of energy savings should start with them [4].

Conventionally, all economic activities can be divided into creating the means of production and creating consumer goods. [3] That is, the end user of direct and indirect products of economic activities is the population. Purchasing consumer goods, the population pays electrical component in the cost of production at unregulated prices for industrial consumers. Consuming energy in households, the population pays its regulated prices approved by the Departments of tariff regulation or the Regional Energy Commissions [5].

Table 2

Population

	2000	……	2010	2011
Per capita income, thousand	1933	…	15007	16568
Per capita consumption of EE kWh	958	…	1174	1282
Abundance, thousand	20333	…	19252	19261

In Siberia there is a stable trend of decrease of population alongside with rising consumption of electric energy (EE) (Table 2). To explain the increase in per capita consumption of energy efficiency on the background of ever-increasing rates is possible only against the background of the welfare of citizens.

In terms of implementation of energy saving policy population - the most severe category of consumers and the state is looking for incentives, for example - the social norm of consumption of electricity for the population. On the other hand, it is a hidden increase in tariffs for the population.

While maintaining the existing trends we obtain the following equation forecast relating to electricity consumption for this group (3)

$$W_P = 68,3287 \cdot x^2 - 2,7362 \cdot 10^5 \cdot x + 2,7394 \cdot 10^8, \text{mln. kWh} \quad (3)$$

On average, the increase in SFD equal to 1500 rubles per capita income will increase consumption of electric energy corresponding to 100 kWh per year.

Consumer power balance part will consist of the sum of two units

$$W = W_{GRP} + W_P, \ mln\ kWh. \quad (4)$$

In the current situation, when frequent accidents occur at electric power facilities, there is a growing need to replace power equipment. The cost of production of fossil energy resources dominates in the share of the

energy balance, as a result, the importance of planning and forecasting electric balance on territories is on par with the state policy to improve energy efficiency of the country.

So, following the scenario of social and economic development of the 2030 Russia:

1. Production of the GRP should increase to 45% the year; (2007 = 100%)
2. Electric capacity should decrease in 2020 by 18%; (2010 = 100%)
3. The share of consumption EE should decrease by 20% by 2020; (2010 = 100%)

The authors study changes relating to the dynamics of the GRP, by changing its structure.

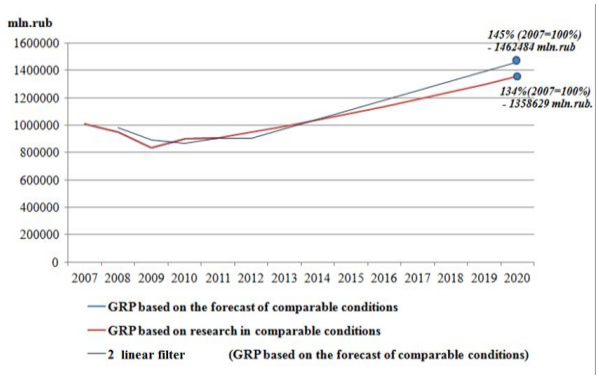


Fig.4. Study dynamics GRP SFD in the future from 2011 to 2020

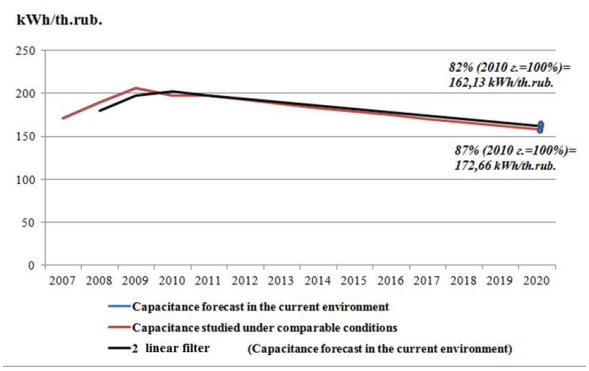


Fig.5. Study the dynamics of electric capacity (EC) GRP SFD in the future from 2011 to 2020

We can see that there is no effect on the GRP value. Thus: with the increase of non-energy sectors (Agriculture and forestry, Transport and Communications, Building) from 2011 to 2020 and decreasing share of energy from 2018-2020 (mining, manufacturing, production quantity and distribution of EE), the share of GRP SFD continues to grow and the final year in comparable terms increased by 34%.

Also approximate electric capacity forecast 2020 has been implemented in comparable prices. With proper decrease of 18%, capacitance decreased of 13%.

Conclusion

The plan may include energy efficiency:

1. Introduction of energy-saving technologies that will reduce the burden on the economy due to lower energy consumption and reduce the cost of production
2. Qualitative and accurate planning and forecasting, power balances;
3. Implementation of innovative programs, as well as the introduction of new energy facilities and replacement of the existing outdated equipment.

References

1. G.N. Klimova, V.V. Litvak, Seven and seven key issues of energy conservation, Publishing Red flag, Tomsk, 2013.

2. G.N. Klimova, The role of energy balance in the energy efficiency program Tomsk region, Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 308 (2005) 232-236.

3. G.N. Klimova, V.V. Litvak, M. Y. Jaworski, An estimate of the energy needs of the region's population, Resources regions of Russia. 5 (2004) 20-24.

4. Information on http://gks.ru.

5. Information on Siberian Federal District http://loi.sscc.ru/bdm/nso/attr/sfo/sfo.htm4.

POWER BALANCE RESEARCH: FORECAST BASED ON THE STRATEGIK INDICATORS OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF SIBERIA UNTIL 2020

Leonova V.K., Klimova G.N.
Scientific Supervisor: PhD. Klimova G.N.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Kirova str.,4 , 634041
E-mail: zvdlera94@mail.ru, gariki@tpu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОБАЛАНСА СФО: ПРОГНОЗ НА ОСНОВЕ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СИБИРИ ДО 2020г.

Леонова В.К., Климова Г.Н.
Научный руководитель: Климова Г.Н., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Кирова,4, 634041
E-mail: zvdlera94@mail.ru, gariki@tpu.ru

Аннотация

Произведен прогноз потребления электроэнергии (ЭЭ) населением, видами экономической деятельности и в целом по территории с целью планирования развития территории и прогноза социально-экономических показателей методом регрессионного анализа данных. Оценка проделана на основе среднесрочного прогноза статистических показателей при помощи прикладного пакета STATISTICA в текущих и сопоставимых условиях до 2020г. методами линейной регрессии.

Siberia Federal District (SFD) electric balance research and electric consumer forecasting allows you not only to identify energy saving potential and energy efficiency, but to identify the main directions of increasing efficiency.

Following this, regional planning and forecasting is necessary to ensure an integrated and more effective socio-economic development of the region.

The implementation of the energy saving potential is impossible without considering the territorial specificity: the climatic conditions, the energy consumption structure, sociodemographic factors, etc.

The aim is power consumption (PC) forecasting of the population and economic activities (EA) using of regression analysis methods in the STATISTICA program.

The correlation coefficient allows to make a quantitative characterization of communication degree. It is impossible to predict what the average is equal to the value of one sign for a given value of another sign. Regression analysis allows to solve this problem. As dependent variables we use the following indicators of electricity:

The basic equation for further transformations is (1):

Table 1

№ (N_D)	**Dependent variables N_D, mln.kWh**	**Independent variables (N_{ind})**	
1	Power consumption areas (in general)	$t_{time} = \{2000 - 2020\}$	
	Including:		
2	PC of the population, **mln.kWh**	Population (th.people)	$t_{time} = \{2000 - 2020\}$
3	PC of economic activities (EA) , **mln.kWh**	(Gross regional product in the SFD, **mln.rub**.)	$t_{time} = \{2000 - 2020\}$
4	Specific PC of the population (**kWh / person. in year***)*	Incomes average per capita (**rub.)**	$t_{time} = \{2000 - 2020\}$

The basic equation for further change is given by (1):

$$W_{EA} = W_{\sum} + W_P \ , \tag{1}$$

where (kWh) - power consumption of all kinds of economic activities.

In recent years, much attention is given to the per capita electric consumption research.

This interest is connected with looking for new people motivate ways to increase electric consumption energy efficiency in the home, approach developing to an objective social electric consumption norms assessment, etc.

For this case, when the variables show the nonlinear nature of the relationship, the program offers the raw data transformation ($log\ y = b\ log\ x + log\ a$), which allows you to transfer them to another scale of measurement and thus "equalize" the non-linear relationship between the signs. High dependence guarantee of variables and data accurate forecast can be provide by the following parameters of regression analysis methods.

Regression Summary for Dependent Variable: млн.кВтч.Население (Spreadsheet1)
R= ,89588589 R?= ,80261153 Adjusted R?= ,78616249
F(1,12)=48,794 p<,00001 Std.Error of estimate: 1259,4

N=14	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(12)	p-level
Intercept			-1149152	167542,9	-6,85885	0,000018
Var1	0,895886	0,128254	583	83,5	6,98526	0,000015

Fig.1. Regression analysis of population electric consumption results.

1) Dependent: the name of the dependent variable;

2) the number of observations;

3) Intercept: the value of the constant term of the regression equation;

4) Std. Err. Of Beta = 0,1: the constant term standard error of the regression equation;

5): The determination coefficient, which determines the rate in the regression analysis, which reflects the quality of the calculated regression, showing the proportion (%) of the total spread of sample points. It turns out that 80% of the variance of the dependent variable (population, thousand people) is due to the variation of the independent variable (EP population, kWh), which is insufficient at this stage.

6) standardized regression coefficient; We see that 89% of the dependent variable value determined by the values of the independent variable (Fig. 1).

7) One of the most important columns in the table because it contains exactly the desired values of the regression equation constant term (2):

$$W_{Pop} = 583 \cdot N_{time} - 1149152 \tag{2}$$

8) $p - leve\ l\ = 0,000015$ - the probability of error for the null hypothesis of zero coefficients equality (to be P << 0,001).

As a result, two significant coefficients $R^2 = 80\%$ и $p - level = 0,000015$ are also statistically differ from 0.

The built regression model describes the relationship between population and consumption. Linear regression analysis is applied.

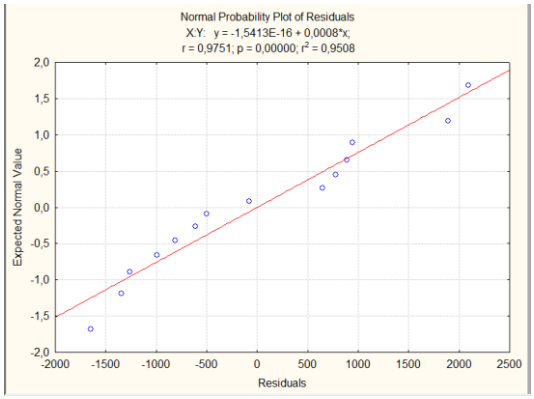


Fig.2. Check result of normality residues distribution

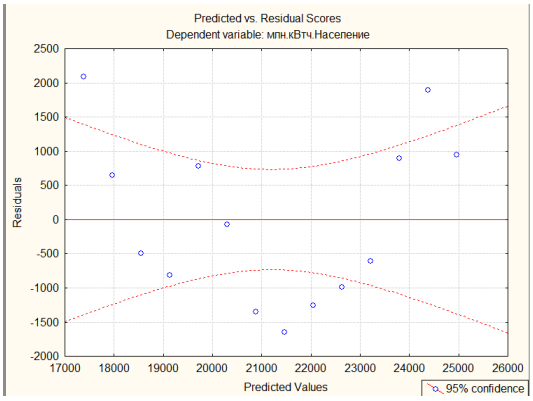


Fig.3. Check result dispersion residues uniformity

Second method: residues regression analysis shows a more precise dependence estimate. *Residues* is difference between the observed values of dependent variable and the values predicted by the regression model.

Points stacked along the theoretically expected straight line quite closely (Fig. 2), the *residues* normally distributed. Linear regression analysis is applied

On the second main condition residues dispersion immutability point on the graph (Fig. 3) are arranged randomly, without showing any regularity. This confirms the linear regression application accuracy.

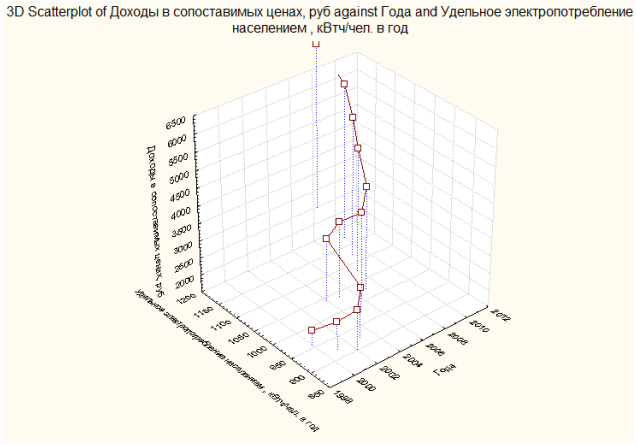


Fig. 4. Schedule 3D-dependence of the scattering of energy consumption (kWh / person. Per year) and per capita income (rub.), 2000 - 2011. In comparable conditions

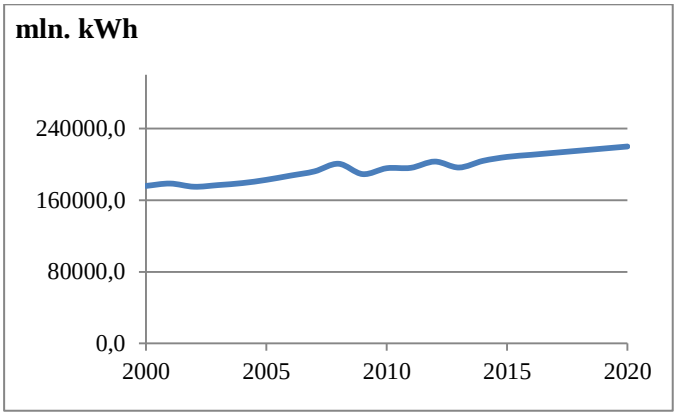


Fig.5. Population electric consumption forecasting of SFD , mln. KWh

Figure 4. shows us real dependence of the variables: p-level = 0,0001. Constructed regression model perfectly describes relationship between the specific population power consumption (kWh / person. per year) and average per capita income (rubles.) (R2 = 83%).

At this stage it is planned medium-term forecasting up to 2020.

The resulting forecasting equation to 2020 provides a deviation in the data retrospective calculation from 2001 in the normally permissible limits (Fig. 5) and it satisfies the condition verification of normal probability and variance of homogeneity remains condition.

Prediction equation population specific energy consumption is given by:

$$N_D = \mathbf{0,0591} N_{inD} - \mathbf{1149152} \quad (3)$$

где N_D – specific population power consumption, N_{inD} – time in years..

Next we will assess the relationship between economic activities energy consumption and gross regional product.

Prediction equation for each variable using with help free coefficients and regression coefficients (B) are have the form:

1. Prediction equation of economic activities energy consumption from 2020 (4):

$$N_D = 2127N_{inD} - 4079845, \quad (4)$$

2. Gross regional product prediction equation in the current prices to 2020 (5):

$$N_D = 385292N_{inD} - 770302606 \quad (5)$$

A high correlation coefficient ($P = 0,88$) allows to make a forecasting with minimum error.

GRP electric capacity is an important energy efficiency indicator of the territory.

Electric capacity will be in 2020 (27.5 and 192 kWh. \ rubles) in current and comparable conditions and in accordance with received electric consumption forecasting.

Conclusion

The level of socio-economic development indication of the territories is per capita income and electricity consumption in per capita terms.

Thus, per capita electric consumption per person for 2013 is 1343.22 kWh / person., and the level of income, in accordance with the planned program of socio-economic development of the Siberian Federal District is 16568 per month. rub. / person.

References

1. Borovikov VP, GI Ivchenko forecasting system STATISTICA for Windows. Basic theory and intensive practice on the computer: Textbook. - M .:

2. The circuit and software development of the Unified Energy System of Russia for 2014 - 2020 [electronic resource] - Access Mode: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_167947/?frame=5

3. Borovikov VP popular introduction to the program STATISTICA. - M .: Computer Press, 1998. - 267 p. Finance and Statistics, 2000. - 384 Klimov GN The role of the fuel and energy balance in the program of energy efficiency in Tomsk Region // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, 2005. - t.308 - № 7. - with. 232-236.

4. Klimov GN, Litvak V. Yavorsky MI An estimate of the energy needs of the region's population // Resources regions of Russia, 2004. - № 5. - p. 20-24.

5. Bashmakov I.A.Portal energy saving "Energosovet" [electronic resource] - Access Mode: http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=133

6. The Federal State Statistics Service. [Electronic resource] - Access Mode: [http://gks.ru];

7. Forecasting electricity consumption // [electronic resource] - access mode [http://www.statsoft.ru/solutions/];

8. Brand guide application packet STATISTICA 6.0. STATISTICA system Russified members of the Russian representative office StatSoft.

Date of treatment 10.05.2015

VIRTUAL PROTOTIPING IN POWER PLANTS DESIGN

Maksimova E.I., Buvakov K.V., Novoseltsev P.Y.
Scientific Supervisor: Prof. Dr. Zavorin A.S.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: khaustovsa@tpu.ru

ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Максимова Е.И., Буваков К.В., Новосельцев П.Ю
Научный руководитель: Заворин А.С., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: khaustovsa@tpu.ru

The paper describes the software developed by authors for virtual prototyping. The software allows to estimate boiler operation by visual and math tools in real conditions of operation on design stage. Moreover it performs pre-operational checks of efficiency of the main units and equipment with minimum effort. The designed software is hybrid CAE/CAD system and allows estimation of possible engineering solutions efficiency in the design process. Functionality of the developed software allows the designer to work out the different units of power plants in real time, to design its appearance, and, also, to make optimizations of structural elements based on mathematical calculations. With the use of the designed software existing layouts of water-heater fire tubes for burning methane were analyzed. The results of performed analysis can be used for modernization suggestions of the considered fire-tube boilers, as well as for new boiler units design.

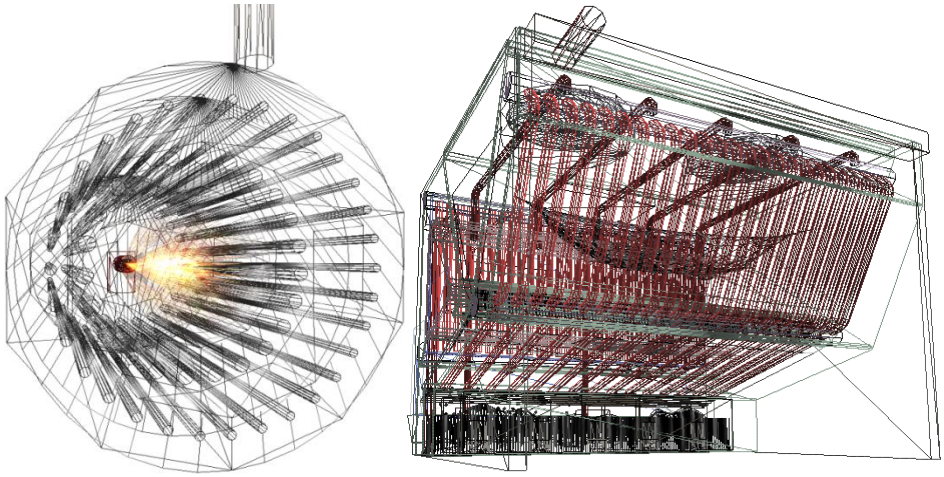
Modern power engineering is inseparable from the use of computer technology. For visual simulation of ergonomics and design of constructed units as well as functional assessment of aerodynamic and hydrodynamic characteristics shown to be effective virtual prototyping technology that allows even at the design stage to analyze the operational efficiency of production with less labor, and solve a wide range of other engineering tasks. In particular, for virtual prototyping it is possible to analyze all the connections in the equipment and to penetrate into the essence of the process, it is often not possible even through field tests of prototypes. Modeled production cycle allows the designer to delve deeper into the details of the displayed processes and mechanisms that will reveal undesirable elements.

The indisputable advantage of virtual prototyping is a graphic visualization of the modeled processes and other benefits that enable visually demonstrate all that is impossible to convey in the drawings. Graphic expression of three-dimensional objects in two-dimensional plane is not so clear and its perception requires the development of spatial imagination. The addition of the three-dimensional model can be easily separated drawings any component or structure entirely. In general, virtual prototyping leads to a reduction in the duration of the technical preparation of serial production of power plants, and, consequently, to reduce production costs.

In Tomsk Polytechnic University developed an application software product (certificate of state registration of the computer №2012614067), approved for the simulation of gas flaring in the flame tubes of boilers (Fig. 1a) and technological processes of processing of low-grade fuels in industrial installations (Fig. 1b). The software product is a hybrid CAE / CAD-system and allows the design process to assess the effectiveness and efficiency of the possible engineering solutions.

Hybrid modeling, implemented in the editor allows you to combine wireframe, surface and solid geometry, and use different types of parametric modeling. This provides a number of ready-made solutions for computer-aided engineering calculations and parametric design of standard heating surfaces of heat exchangers

(superheater tubes, plate heat exchangers, handing out and collecting reservoirs, pipes and arbitrary cross-section shape). Intelligent three-dimensional drawing editor allows the user to directly during the presentation of applied arbitrary graphical information on any surface displayed scene. Using this system greatly simplifies the process of defining boundary conditions and geometrical characteristics of the complex trajectories and also facilitates the perception of the physical meaning of the described phenomena and processes.



a) b)

Fig. 1. Examples of visual modeling using the developed program. a - modeling of gas flaring in the fire tube boiler; b - modeling processing low-grade fuel for industrial applications

Research methods and tasks

Developed software for virtual prototyping has been used as a research tool. The research problem includes finding the solution of engineering problems and optimization of power plants design: calculation, analysis and computer simulation of physical and technological processes based on research tool and implemented in it quasi-one calculation methods. Implemented in software product the quasi-1d technique and algorithm for engineering calculating heat transfer during a vortex combustion in boiler tubes is given in [1]. Size evaluation of the flame based on the basis of the basic equations of Zel'dovich and DA Frank-Kamenetzky theory and on the basis of speed depending on the temperature of the flame burning in the core. The algorithm of size evaluation of the flame is described in detail in [2].

The following optimization problems have been formulated on the basis of numerical investigation of combustion chamber flame tube boilers [3]:

- the most complete combustion of the fuel should be provided within the scope of the furnace;
- the size of the torch should be appropriate to exclude its overlapping of heating surface which shields the combustion chamber in order to avoid sedimentation and unburnt soot on the walls of the furnace;
- combustion chamber should have a high specific heat absorption with minimal aerodynamic drag.

Results of the research

The existing designs of flame boiler tubes when burning pure methane have been analyzed (Table. 1). Basing on the analysis has been concluded that the aerodynamics of the reversing combustion flame vortex promotes combustion with minimum flow resistance. In turn, the specific heat absorption of the flame tube with

reversing organization of the combustion will be at a maximum when direct-flow fuel supply, as the core burning will be at a maximum distance from the output segment. In addition, according to the results of the numerical experiment with the mathematical model presented in [3], it was found that reversing organization with direct-flow fuel supply creates the most favorable conditions for stable combustion and uniform distribution of heat flows with minimal aerodynamic drag. The uniform distribution of heat flows, in turn, favors the reliable operation of the boiler under the terms of incrustation and permit operation of the boiler at a lower cost for water treatment [4]. Involved power of burner when reversing organization of combustion can vary over a wide range without significantly changing the dimensions of the flame [2], which makes it a convenient parameter for optimization, as well as expands the potential range of load control.

Table 1

Analysis of combustion chamber design

The design parameters of the combustion chamber		Performance characteristics of the firebox with optimum combustion organizations				
The length of the cylindrical fire tube, mm	The inner diameter of the fire tube, mm	Heat power range, kW $Q_{min}..Q_{max}$	Specific heat absorption of the flame tube, MJ/m3		Aerodynamic drag of firebox, Pa	
			case of Q_{min}	case of Q_{max}	case of Q_{min}	case of Q_{max}
1300	584	150..500	19,7	12,1	4,5	50,4
1550	884	300..350	19,7	12,4	18,2	182
1900	980	400..1200	19,9	12,9	32,3	290

Conclusion

Developed software for virtual prototyping, which allows the design phase and the calculation method to assess visual workflows and power equipment under actual operating conditions, and also to make pre-operation inspection of their basic health units and units with less effort.

Functionality developed software allows the designer in real time to work out in detail the various units, not only to design their layout and appearance, to make optimization of structural elements on the basis of mathematical calculations.

Работа выполнена в рамках госзадания по НИР 2069.

References

1. Khaustov S. A. , Zavorin A. S. , Buvakov K. V. , Zakharushkin N. A. Engineering method for thermal calculation of the vortex combustion in dead-end fire-tubes (Article number 01020) // MATEC Web of Conferences . - 2014 - Vol. 19. - p. 1-5
2. Khaustov S. A. , Zavorin A. S. Dal'nobojkost' fakela v zharovyh trubah kotlov // Promyshlennaja jenergetika. - 2014 - №. 10. - p. 16-20 [In Russian]
3. Zavorin A. S. , Khaustov S. A. , Zakharushkin N. A. Computer simulation of processes in the dead-end furnace (Article number 012029) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - Vol. 66 - №. 1. - p. 1-6
4. Khaustov S. A. , Zavorin A. S. , Buvakov K. V. , Sheykin V. A. Computer simulation of the fire-tube boiler hydrodynamics (Article number 01039) // EPJ Web of Conferences. - 2015 - Vol. 82. - p. 1-5

THE EFFECTIVE TEMPERATURE OF WWPR FUEL IN THE ASSESSMENT OF SAFETY ASSURANCE

Nedyak M. S., Kahn A. Y., Kuzmin A. V.
Scientific Supervisor: Kuzmin A. V., Ph.D., Associate Professor
Tomsk Polytechnic University, Russia, Lenin str., 30, 634050
E-mail: nedyak.mikhail@mail.ru

ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТОПЛИВА ВВЭР В ОЦЕНКЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Недяк М.С., Кан А.Ю., Кузьмин А. В.
Научный руководитель: Кузьмин А.В., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: nedyak.mikhail@mail.ru

The express-evaluation technique of the effective temperature of fuel aimed to monitor the nuclear reactor self-acting control and safety is considered. The features of calculation are illustrated on the example of the uranium-water reactor lattice of a water-moderated water-cooled power reactor (WWPR).

In power reactors the materials of the reactor core (r.c.) are exposed to high temperatures – in WWPR the temperature in the center of the pellets made from uranium dioxide can be near 2000°C. Therefore, even a minimal deviation from the rated duty) leads to considerable absolute temperature changes. These temperature changes are great under transient modes of operation of the reactors.

Power effect reactivity ρ_N, % and power coefficient reactivity $\alpha_N = \mathrm{d}\rho_N / \mathrm{d}N$, 1/% or 1/ MW are among the reactor characteristics determining the level of the temperature influence of the fuel on reactivity. These two characteristics determine the reliability and safety of the nuclear reactor.

These characteristics depend on effective or average temperature of the whole volume of fuel T_{eff} in the reactor core. The values of power reactivity effect and power coefficient of reactivity are obtained as a result of complicated step-by-step thermal and neutron-physical calculations on a computer [1] and further labor-intensive and neutron-physical measurements [2]. Thermal-hydraulic calculation techniques are aimed to determine peak (maximum) temperatures and critical thermal fluxes of the most power-intensive fuel assemblies and the following comparison with the permissible value for the useful materials of reactor core. The mentioned above techniques do not satisfy the assigned task.

The calculation technique of ρ_N and α_N will be demonstrated on the example of WWPR with known mass and volume characteristics of water, zirconium and uranium fuel in the fuel assembly, reduced to two-region equivalent Wigner-Seitz macrocell. We consider the reactors to satisfy the conditions of thermal engineering reliability.

Power effect reactivity is mainly concerned with Doppler broadening of ^{238}U resonance levels and is determined by the relation of effective resonance integral from the absolute temperature of fuel. We will use the following equation to determine the effective absolute fuel temperature [3]:

$$T_{eff} = T_{\text{ñ}} + 0,4 \cdot (T_{\max} - T_{\text{ñ}}),$$

where $T_{\max}$ and T_c – are the temperatures on the axes and the surface of the fuel element. Thus, it is enough to carry out thermal design of a reactor aimed to calculate $T_{\max}$ and T_c for the equivalent microcell possessing average power to determine the power effect reactivity on any current value of heat output of a nuclear reactor.

Without taking into account the heat emission in the moderator, let's find the average surface heat flux of the reactor $\bar{q}_F = Q_{hp} / S_{hs}$.

The surface of the heat exchange S_{TO} is determined by the following expression:

$$S_{hs} = P_{hp} \cdot n_{nfe} \cdot H_{cs} = P_{hp} \cdot n_{nfe}^{FA} \cdot N_{FA} \cdot H_{cs}$$

Here, P_{hp} is the heated perimeter of the fuel element; n_{nfe}, n_{nfe}^{FA} are the number of fuel elements in the reactor core and in one fuel assembly, correspondently.

The temperature on the surface of the fuel element shell $\dot{O}_{fes}$ is found by the following equation:

$$\dot{O}_{fes} = \dot{O}_f + \frac{\Delta \dot{O}_f}{2} + \Delta \dot{O}_\alpha .$$

In the above mentioned equation, $T_f = (T_1 + T_2)/2$ is the average temperature of the coolant in the core; $\Delta T_f = (T_2 - T_1)$ is the full heating of the coolant in the reactor; ΔT_α is temperature head «wall-liquid», which is determined by the following equation:

$$\Delta T_\alpha = \frac{\bar{q}_F}{\alpha},$$

where α is heat-transfer coefficient of rod bundles , accepted as constant in accordance with the height of the fuel rod. The values α в in the fuel assembly are in relation depending on the different fuel element packages [1].

Taking into account all thermal resistances the value of maximum temperature of fuel is determined by the following equation:

$$\dot{O}_{\max} = T_f + \frac{\Delta T_f}{2} + \Delta T_\alpha + \Delta T_{sh} + \Delta T_{gap} + \Delta T_{fuel},$$

where ΔT_{sh} stands for temperature difference on the fuel element shell; ΔT_{gap} is temperature difference in gas gap; ΔT_{fuel} – temperature difference in the fuel block.

The temperature difference on the thin shell of the fuel element can be represented as follows:

$$\Delta \dot{O}_{sh}^{\max} = \bar{q}_F \cdot \frac{2 d_{ext}}{d_{ext} + d_{\text{int}}} \cdot \frac{\delta_{sh}}{\lambda_{sh}},$$

where $2 d_{ext} / (d_{ext} + d_{\text{int}})$ is multiplier, intended to correct the value of flux on the average diameter of the shell; δ_{sh}, λ_{sh} is the thickness and thermal conductivity coefficient of the shell.

Let's write down the equation for temperature difference in the gas gap:

$$\Delta \dot{O}_{gap} = \bar{q}_F \cdot \frac{2 d_{int}}{d_{int} + d_{fp}} \cdot \frac{\delta_{gap}}{\lambda_{gap}},$$

where d_{fp} is the diameter of the fuel pellet.

If we neglect the relation of the distribution pattern of flux density of thermal neutrons, whose value in the surface layers of the fuel element is higher and we take the average value of energy release then we will get parabolic law of temperature:

$$\dot{O}_{fuel}(r) = T_c + \frac{\bar{q}_v}{4 \bar{\lambda}_{fuel}} \cdot \left(r_{fuel}^2 - r^2 \right).$$

The radial temperature difference on the fuel element will be equal to:

$$\Delta T_{fuel} = T_{\max} - T_{s} = \frac{\bar{q}_v \cdot r_{fuel}^2}{4\bar{\lambda}_{fuel}} = \frac{\bar{q}_l}{4\pi \cdot \bar{\lambda}_{fuel}}.$$

In these relations $\bar{q}_v$ and $\bar{q}_l$ mean the average volume and linear thermal fluxes.

It is to be noted that when making the evaluative calculation of the effective fuel temperature ($T_{эф}$) thermal-physic properties of couplants play a vital role. The thermal-physic properties of the media were specified over the last years and are presented in the reference book [4]. The process of thermal calculation has an iterative nature.

The change of effective temperature depending on the nuclear reactor output (capacity) by the application of the control (tuning) software at the constant pressure in the second loop approaches the linear relationship:

$$T_{eff} = 0,099 \cdot Q_{hp} + 280,8.$$

The value of the effective temperature of fuel at rated reactor output (capacity) determined by the suggested technique was compared with the assessment of this characteristic at the initial stage of three fuel companies of the first unit of the Rostov nuclear power plant [5] and this technique demonstrated satisfied results. Thus, there are no obstacles that can hinder to carry out the assessment and calculation of the average power coefficient of the reactivity of the reactor on the suggested technique.

REFERENCES

1. Reference Book on thermal-hydraulic calculations (nuclear reactors, heat-exchangers, steam generator) /Kirillov P.L., Yur'ev Yu.S., Bobkov V.P./ Edited by P.L. Kirillov.–2d edition, revised and updated.–M: Energoatomizdat, 1990. – 360 p.

2. Zenov V.M. Neutron-physic measurements at nuclear power plant with water-moderated water-cooled power reactor : Teaching aid. – Sevastopol': SNIYaEiP, 2003 – 40p.: illustrated.

3. Basis of theory and design methods of nuclear power reactors: Teaching aid for universities / Bartolomei G.G., Bat' G.A., Baibakov V.D., Altukhov M.S. – 2d edition, revised and updated. – M.: Energoatomizdat, 1989. – 512 p.

4. Kirillov P.L., Terent'eva M.I., Deniskina N.B. Thermalphysic properties of materials of nuclear engineering: Training reference book for students specializing in 14.03.05 – Edited by professor. P.L. Kirillov; 2d edition, revised and updated. – M.: IzdAt, 2007. – 200 p.

5. Artemov V.G., Artemova L.M., Shemaev Yu.P. Research of the influence of fuel burnup on thermal-physic properties of the fuel element in combined neutron-physic and thermal hydraulic models of water-moderated water-cooled power reactor. // «The protection of nuclear power plant with water-moderated water-cooled power reactor ». Collection of reports 5th ISEC. – Podolsk, 2007.

OPTIMISING RESEARCHES OF THE CONSTRUCTIVE SCHEME OF THE CAMERA OF BURNING BY MEANS OF MATHEMATICAL MODELLING.

Tarazanov A. S., Andreev I. V., Savchenko E.K.
Research supervisor: Dolgikh A.Yu., Haustov S. A., Tomsk polytechnic university
634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: khaustovSA@tpu.ru

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ КАМЕРЫ ГОРЕНИЯ СРЕДСТВАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

Таразанов А.С., Андреев И.В., Савченко Е.К.
Научный руководитель: Долгих А.Ю., Хаустов С.А.
Томский политехнический университет, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: khaustovSA@tpu.ru

Introduction

In a modern market economy and competition, a particular problem is equipment regularly update. The basic equipment of many thermal power plants operates more than half a century, so the question arises about the imminent replacement of exhausted boilers for modern energy-efficient boilers. Before the release of new competitive products, you need to spend a huge amount of work for the collection, storage and processing of information, which is not possible without the use of computer technology [1].

The use of modern automation systems engineering design allows real-time to solve a wide range of design tasks [1]. Computer simulation technology is especially effective for engineering calculations and functional aerodynamic and hydrodynamic characteristics assessment of designed boilers. That allows producing pre-operational analysis of the performance of products with lower financial costs during the design phase.

Mathematical modeling of combustion devices is one of the most important ways to obtain information about the aerodynamics, the local and the total heat transfer. This information is necessary for the design of new power plants. The results obtained by numerical experiment enables you to test the installation, to predict the behavior of the boiler at work on a variety of loads, to identify areas requiring improvement. In this paper, a numerical experiment was carried out using modern application package such as FLUENT [2], which allows you to solve a variety of tasks, such as calculating cavitations, the flow of compressible media and the heat transfer of real gases and moisture vapor. First of all for the task used turbulence models of hydrodynamics and gas dynamics of the FLUENT software package. In this paper, with using modern methods of modeling the drum boiler was designed with steam capacity of 250 tons per hour with a flame burning process of lignite and with liquid slag removal. Superheated steam pressure of 13.3MPa and temperature of superheated steam to 505 ˚C were adopted as the operating parameters. In the course of the project the thermal, aerodynamic and hydrodynamic calculations of the boiler plant were made. The calculation results do not contradict the requirements of regulatory techniques [3].Two-stage layout tail heating surfaces was selected.

Calculation results

Combustion chamber (Fig. 2) of the boiler is equipped with four 35 MW ram dust burner located tangentially in one layer. According to the calculations: Gross efficiency of the boiler is 92.4 %; fuel consumption is 11.2 kg/s. In Figure 1 distribution of the design characteristics of heating surfaces is shown. Flues were designed and resistances on the flue gas side were determined with the aerodynamic calculations. Ash collector and exhauster were selected.

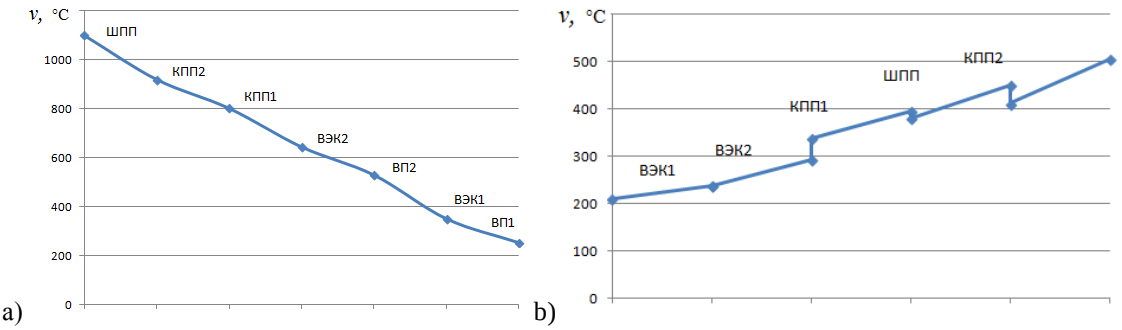


Figure 1 - Mean values of the flue gas temperature (a) and carrier (b) in the heating surface.

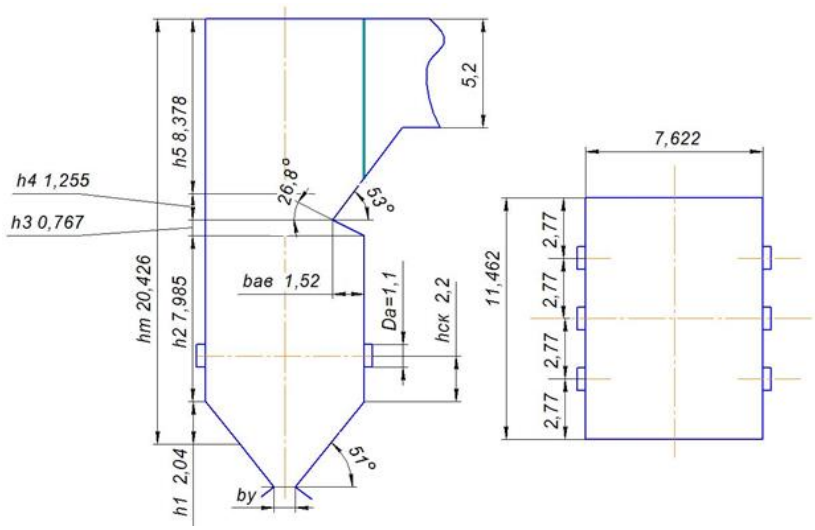


Figure 2 - The main geometrical characteristics of the combustion chamber (m)

According to the results of mathematical modeling of thermal processes in the furnace of the designed boiler, we can conclude that there is a pronounced vortex aerodynamics in the furnace. Flue gases that rise along the back wall of the firebox get a twist in the direction of the front screen. Moreover quasi-stationary eddy currents are also observed near the mouth of the funnel cold. An incandescent vortex was pumping by combustion products. Recycling particles in the furnace volume makes it possible to dramatically increase the residence time of the fuel and oxidizer near the burners, and promotes intense ignition and fuel burn up. The temperature level that is needed to release and ignition of volatile substances is achieved through recycling. Ignition of the fuel takes place with the internal generator of the burner jets due to intensive reverse current hot products of combustion based on the results of numerical modeling. Flame kernel is located in the opposing jets impact region (Fig. 3) in the center of the furnace that facilitates uniform distribution of heat fluxes of the incident radiation and is a positive factor in the hydrodynamics.

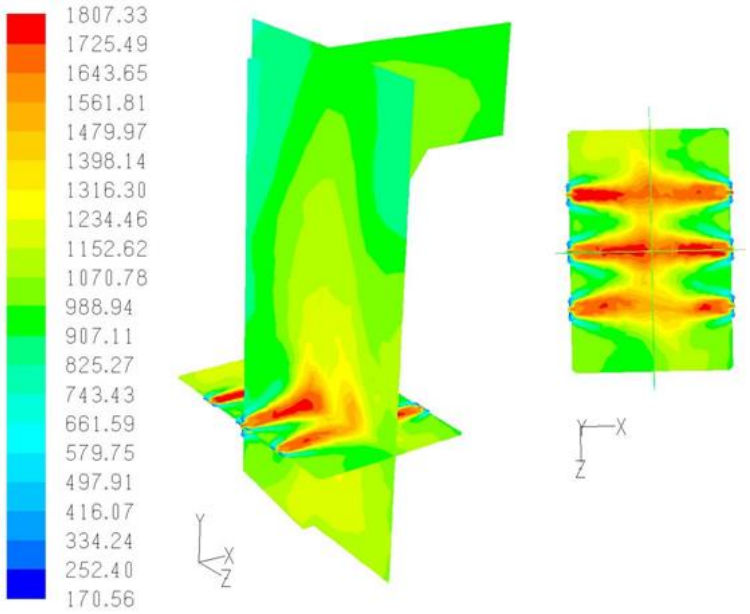


Figure 3 - The temperature distribution of the combustion medium (K).

Conclusion

In this paper, the numerical simulation of turbulent combustion of lignite in large power ramjet burner was used to study the processes occurring in the combustion chamber. Based on the results of the calculations we can conclude that,

- there is a pronounced vortex aerodynamics in the furnace, which contribute to a sharp increase in the residence time of the fuel and oxidizer near the burner, and promotes intensive ignition and fuel burn up.

-processes occurring symmetrical in the horizontal section of the combustion chamber of the boiler. Detailed analysis of the distributions of temperature and velocity of the medium in the combustion volume (Fig. 3) contributes to the evaluation of the equipment and makes it possible to predict the behavior of the boiler plant under real operating conditions.

These results confirm the effective application of modeling techniques for solving design of the boiler equipment.

The reported study was partially supported by the Ministry of education and science of The Russian Federation, state order No. 13.948.2014/K.

References

1. A.S. Zavorin, S.A. Khaustov, N.A. Zaharushkin, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 66, 012029 (2014)

2. ANSYS FLUENT 6.3 in Workbench User's guide - 1 computer file (pdf; 1624 kB). - Subject from title screen. - System Requirements: Adobe Reader. - Access scheme: http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/121/fluent/flwb.pdf. Date of treatment: 03/20/2015 Mr.

3. *Aerodinamicheskiyraschetkotlov (Normativnymetod)*. Saint-Petersburg: Energiya, 1977. 256 p. ("*Aerodynamic Boiler Design (The Normative Method)*")

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR THE ENERGY EFFICIENCY DETERMINATION OF INDUCTION MOTORS

Tsybikov B.B., Lukin M.G., Tyuteva P.V.
Scientific supervisor: Tyuteva P.V., PhD, associate professor
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: lmg1995@mail.ru

In the paper the effects on the induction motor efficiency determination due to the introduction of the EU, USA, Canada, Japan and Russian Standards have been analyzed and discussed. Industrial induction motor has been tested and a comparison between the efficiencies determined by various National Standards has been presented. In addition, the motor efficiencies have been compared with the efficiency classes defined by the EU Standardization.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Цыбиков Б.Б., Лукин М.Г., Тютева П.В.
Научный руководитель: Тютева П.В.., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: lmg1995@mail.ru

В работе проанализированы и обсуждены особенности определения коэффициента полезного действия асинхронных двигателей согласно стандартам таких стран как ЕС, США, Канады, Японии и России. Проведены испытания общепромышленного асинхронного двигателя и осуществлено сравнение результатов, полученных согласно различным национальным стандартам. Кроме того, было проведено сравнение экспериментально полученных данных с классами энергоэффективности согласно стандартизации принятой в ЕС.

Nowadays, induction motors are used in biggest part of electric drivers mostly thanks to their reliability in contrast to DC motors, which have many production flaws. Usually, such machines present small-power motors with traction mode, induction generators are used rarely. Induction motors are one of the most important power equipment, the energy consumption of induction motors accounts for a large proportion. It is very significant to determine the efficiency of induction motors properly. The purpose of our article is to provide comparative analysis of the induction motor`s efficiency that determined according to various National Standards.

Broadly, the two major ways of efficiency determination of induction motors may be classified as: direct (measuring the output mechanical quantities and input electrical quantities) and indirect (using some means to determine all the losses in the motor and using their sum to calculate the efficiency). In the direct method, motor efficiency is determined from direct measurements of the input electrical power P_{in} and output mechanical power P_{out}. Both the output and the input power can be measured reasonably well with transducers and appropriate measuring instruments:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}.$$

In the indirect method, the input power and output power may also be measured and used to determine the constituent components of the losses in the motor. The efficiency is determined from the total losses, P_{loss}, by equation:

$$\eta = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{out}}.$$

The process of determining the constituent losses is known as loss segregation. The efficiency determination methods that are based on loss segregation are known to be more accurate. There are five

categories of losses in the motor: P_{core} is the core losses, P_{fw} is the friction and windage losses, P_{stator} is the stator copper losses, P_{rotor} is the rotor copper losses, and P_{stray} is the stray load losses, Fig. 1.

Both methods have direct connection with all losses in the motor. Engineers are trying to minimize the percentage of losses, cause each percent is very important for electrical energy industry. Energy losses are the determining factor in motor efficiency. The losses, as it shown earlier, could be divided into five main classes, Fig.1 [1,2]. In the next parts of this paper we will give an overview of various National Standards for efficiency determination and discuss the main differences between them.

Since the induction motor consumes about 90 % of all the electrical energy used by all motors combined, its efficiency reporting on the nameplate has become the industry standard. However, various international standards for testing and reporting the induction motor efficiency on the nameplate can be significantly different. National and International energy efficiency test standards have been developed to reduce the errors when motor efficiency is measured and make the procedure standardized. There are exist a number of international standards that are used to determined real efficiency according to experimental data. The major and the most important Standards for poly-phase induction motors efficiency measurement are [3]: IEEE Std. 112 – USA Standard; IEC 60034-2-1 – EU Standard; CSA C390 – Canadian Standard; JEC 37 – Japanese Standard; RIEC 60034-2 – Russian Standard; GOST 25941-83 – Russian Standard.

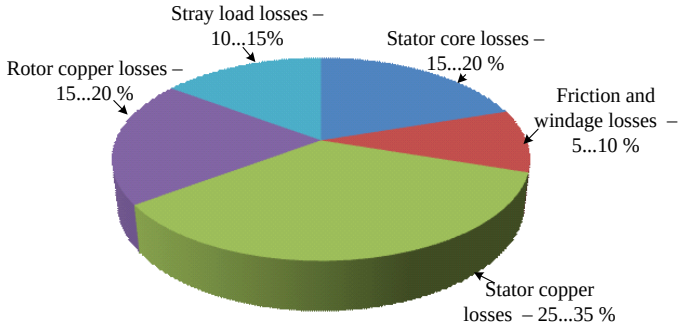


Fig. 1. The losses distribution in the induction motors

Most of these National Standards have more than one method for the efficiency determination, for example the IEEE Std. 112 has several methods identified as Methods A, B, B1, C, E, E1 F, F1, C/F, E/F, E1/F1. The IEEE 112 standard, method B, is widely used for determining induction motor efficiency. The method is based on the segregation of losses of the motor into conventional and stray load losses. The CSA 390 Standard uses an identical procedure to the IEEE Std. 112 method B for the stray load losses while the JEC 37 Standard ignores those losses [3]. The European standard for measuring motor efficiency, IEC 60034-2-1 has for a long time arbitrarily assigned 0.5 % input power as stray load loss, the same stray load losses determination we have in IEC 60034-2-1 and GOST 25941-83. The major differences between these standards is in the treatment of stray load losses, see Table 1 below.

The loss segregation method (used in IEEE, IEC, GOST and CSA) determines efficiency through the direct method or separation of loss method. This method requires a no-load test, where the core and windage and friction loss are obtained and a load test where the stator and rotor copper loss are obtained. The stray load loss is determined by subtracting all the major losses from the total measured loss. The Stray load loss is determined by subtracting all the major losses from the total measured loss. As stray load losses are the smallest one, they are sensitive to errors in measurement. The IEEE Std. 112 requires a correlation factor of 0.90 while the CSA C390

requires 0.95. The GOST 25941-83 method allocates stray load losses to be 0.5 % of rated load and the JEC 37 ignores stray load losses completely.

Table 1

The comparison between major test Standards

Standard	Stray load losses	Temperature correction
IEEE Std. 112	Loss segregation method	Yes
IEC 60034-2-1	Loss segregation method	Yes
CSA C390	Loss segregation method	Yes
JEC 37	Ignores SLL	Yes
GOST 25941-83	Assigns 0.5% of rated power of the motor	No
GOST 7217-87	Loss segregation method	Yes

These standards also play a important role in induction motor classification according to efficiency levels. In the European Union (CEMEP) and the U.S (EPAC) laws have been set to define the efficiency class of induction motors [10]. Table 2 shows the lower limits of the CEMEP classification. These limits are determined through testing according to a particular standard (IEC in this case). Previously in Europe, low voltage three-phase motors have been graded and marketed in three efficiency classes – EFF3, EFF2 and EFF1 – based on a voluntary agreement between motor manufacturers and the European Commission. Unfortunately, other countries have also developed their own national systems, which are very different from the European system. That was the reason for the European motor manufacturers in CEMEP, to develop an energy efficiency standard for the International Electrotechnical Commission (IEC). The new international standard defines efficiency classes IE1, IE2 and IE3 for three-phase motors. The efficiency classes for 1.1 kW induction motor is shown in Table 2.

The differences in treatment of SLL have been seen to produce different efficiencies on the same tested motor. A 1.1 kW induction motor was tested according to various National Standards. Due to the similarity in testing standards, only the IEEE Std. 112, IEC 60034-2-1 – direct method, JEC 37 and GOST 25941-83 loss segregation method were used. The experimental test results are shows the difference in efficiency values using different standards, Fig. 2.

Table 2

Efficiency classes of CEMEP classification for 4-pole, 50 Hz induction motor

Rated power, kW	IE1 (EFF2) Standard efficiency	IE2 (EFF1) High efficiency	IE3 Premium efficiency
1.1	75	81.4	84.1

Fig. 2 compares the efficiency of a 1.1 kW induction motor derived from four international standards, namely, the IEEE Std. 112, IEC 60034-2-1 (direct method), JEC 37 and the GOST 25941-83. The direct method IEC 60034-2-1 and IEEE Std. 112 result in the lowest efficiency. The difference comes from the different treatments of the stray load losses. The IEEE Std. 112 derives it indirectly from tests, and the GOST 25941-83 assumes to be fixed 0.5% of the rated power, whereas the JEC-37 ignores it altogether, resulting in the highest efficiency. The difference between founded levels of efficiency results in that the classification according CEMEP could have this motor as IE1 Standard efficiency or in a case of direct method the value of efficiency is lower than desired level and the difference would be more significant in the case of higher rated power motors. The main point is that a standard efficiency motor made in the one country cannot be compared with a motor made in another one for energy-saving considerations.

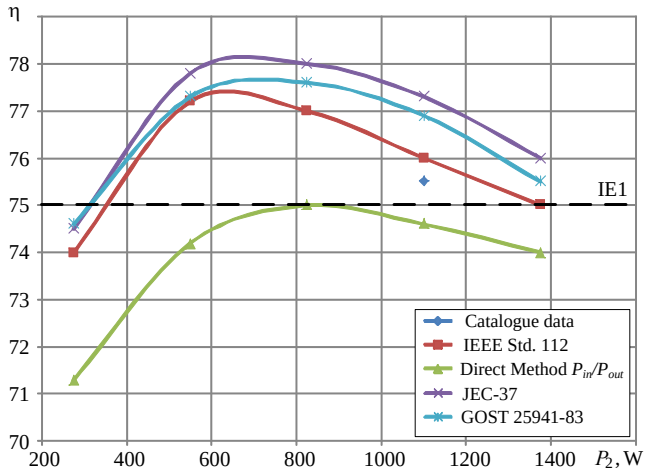


Fig. 2. Efficiency of 1.1 kW induction motor according various standards

The value of induction motor efficiency can be affected by various aspects one of them is National Standardization. The paper considers the influence of various standards on the value of induction motor efficiency and the efficiency level in accordance with CEMEP is evaluated. As efficiency level determined in accordance with National standards depends on the stray load losses accuracy determination in the future it is planned to work on the development of the experimental procedure for stray load losses determination.

REFERENCES:

1. Mzungu H., Barendse P., Khan A., Manyage M. Determination of effects on induction motor efficiency // Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE), 2008. – pp. 1-8.

2. Agamloh. E. B. A Comparison of direct and indirect measurement of induction motor efficiency // Electric Machines and Drives Conference, 2009 , USA, 2009. – pp. 36-42.

3. Dobzhanskyi O., Gouws R. Study on energy losses in industrial sector caused by low actual efficiency of induction motors // Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE), 2014. – pp. 1-5.

4. IEC 60034-2-1, Rotating Electric Machines Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests, 2007. – 53 p.

5. IEEE Std. 112: Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, IEEE, 2004. – 79 p.

6. CSA C390: Energy Efficiency Test Methods for Three-Phase Induction Motors, Canadian Standards Association, 2004. – 79 p.

7. JEC 37: Induction Machine, Standard of Japanese Electrotechnical Committee, 1979. – 44 p.

8. GOST 7217-87. Rotating electrical machines. Asynchronous motors. Test methods. – Instead of GOST 7217-79. – Moscow: Standards Publishing House, 2003. – 42 p.

9. GOST 25941-83. Rotating electrical machines. Methods for determining losses and efficiency. – Moscow: Standards Publishing House, 2003. – 31 p.

СЕКЦИЯ 2

ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

SESSION 2.

ELECTRONIC ENGINEERING

ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MATLAB

Асочаков А.С., Старостин А.Л.

Научный руководитель: Шульгина Ю.В. –ассистент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр.Ленина,30,634050

E-mail: inecra@yandex.ru

Аннотация: В статье представлен алгоритм обработки данных, полученных с фазированной антенной решетки, с использованием среды MatLab. Приводится изображение среза объекта контроля для антенной решетки, состоящей из 5 датчиков.

PROCESSING OF PHASED ARRAY SYSTEM DATA USING MATLAB

Asochakov A.S., Starostin A.L.

Scientific adviser: Shulgina J.V. - Assistant of the Department of Industrial and Medical Electronics

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin st., 30,634050

E-mail: inecra@yandex.ru

Abstract: The article presents an data processing algorithm for the phased array system using MatLab. Cut of the control object for the phased array containing of 5 sensors is presented.

В настоящее время ультразвуковой неразрушающий контроль приобрел новый виток в своем развитии. Благодаря применению антенных решеток появилась возможность осуществлять 3D визуализацию контролируемых материалов и объектов с высокой скоростью сканирования в реальном масштабе времени.

В последнее время для решения многих задач неразрушающего контроля стал активно применяться метод тактированной фазированной решетки или SPA (*Sampling phased array*) [1], разработанный во Фраунгоферовском институте неразрушающих методов контроля (Германия). Суть этого метода заключается в поочередном возбуждении элементов антенной решетки и параллельном приеме всеми элементами отраженных сигналов. Принятые ультразвуковые сигналы для каждого преобразователя решетки с каждой позиции сохраняются и служат исходными данными для 2D и 3D визуализации объекта контроля. Таким образом, даже после однократного цикла приема-передачи могут быть реализованы все углы распространения ультразвуковых сигналов на всю глубину прозвучивания. Поскольку управление звуковым лучом в каждой точке объема, т.е. для всех углов падения и глубины фокусировки, осуществляется не физически, а виртуально с помощью компьютера, то путем реализации принципа SPA можно достичь значительного увеличения скорости контроля.

Для обработки информации и построения изображения выбран пакет программирования и математического моделирования MATLAB.

Для классической реализации метода SPA либо в процессе обработки, либо предварительно рассчитываются все расстояния от каждого датчика до каждой точки и до каждого приемника, т.е. в итоге имеется таблица которая несет в себе информацию о расстояниях (временах) распространения в зависимости от номера точки, номера излучающего датчика и номера принимающего датчика (Таб. 1).

Таб. 1. Информационная матрица

i,j / *N* точки	0,0	0,1	1,0	1,1	…	*i,j*
0	$L_{0,0,0}$	$L_{0,1,0}$	$L_{1,0,0}$	$L_{1,1,0}$	…	$L_{i,j,0}$
1	$L_{0,0,1}$	$L_{0,1,1}$	$L_{1,0,1}$	$L_{1,1,1}$	…	$L_{i,j,1}$
…	…	…	…	…	…	…
m	$L_{0,0,m}$	$L_{0,1,m}$	$L_{1,0,m}$	$L_{1,1,m}$	…	$L_{0,0,m}$

где: i – номер излучателя , *j* – номер приемника.

Вычисляется время прохода от каждого датчика до каждой точки изображения по формуле:

$$t = \frac{\sqrt{(h \cdot w)^2 + (k \cdot w)^2}}{c},$$

Где $\sqrt{(h \cdot w)^2 + (k \cdot w)^2}$ - расстояние от каждого датчика до каждой точки

h – номер точки по вертикали;

k – номер точки по горизонтали;

w – расстояние между соседними точками по ширине и глубине;

c – скорость распространения звука в среде.

Пространство под фазированной решёткой разбивается на конечные элементы, и с помощью полученных уравнений рассчитываются расстояния и времена от центра каждого элемента преобразователя до каждой точки пространства, как показано на рис. 1.

Алгоритм получения изображения с использованием пакета MATLAB выглядит следующим образом (Рис. 2.).

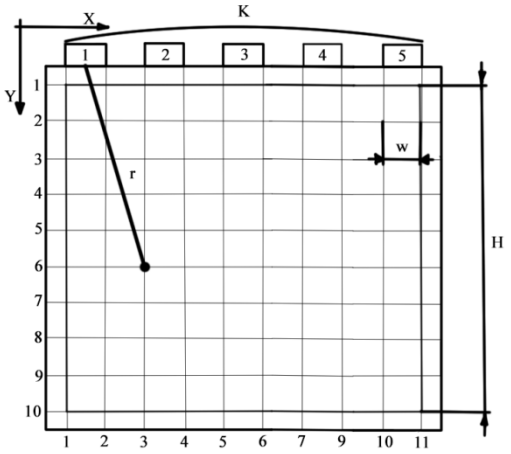


Рис.1. Разбиение пространства под фазированной решёткой

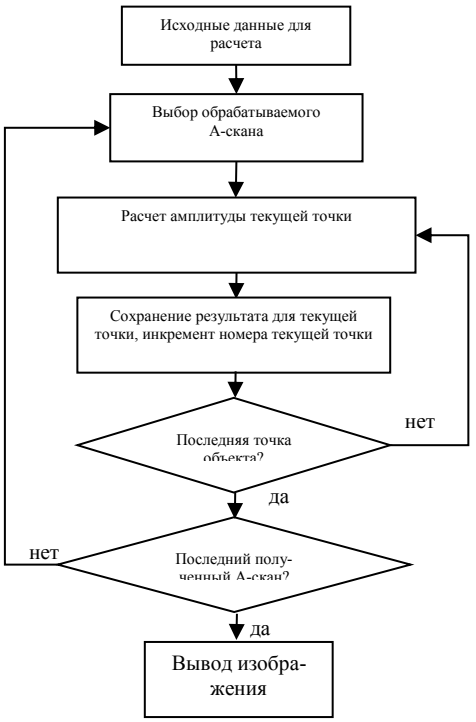


Рис.2. Алгоритм получения изображения объекта

Для каждой пары излучатель-приёмник рассчитывается и суммируется время распространения ультразвукового импульса от излучателя до приёмника через расчетную точку объекта контроля.

По рассчитанному времени формируется матрица путей, хранящая информацию о временном отрезке.

Следующим шагом формируется матрица изображения, заполняемая значениями амплитуды из А-скана в соответствии с матрицей путей.

После получения матриц изображения ото всех пар датчиков, осуществляется их суммирование.

Результирующая матрица с помощью функции *imagesc* выводится в виде изображения.

На Рис. 3. приводится полученное в пакете MATLAB изображение исследуемого объекта.

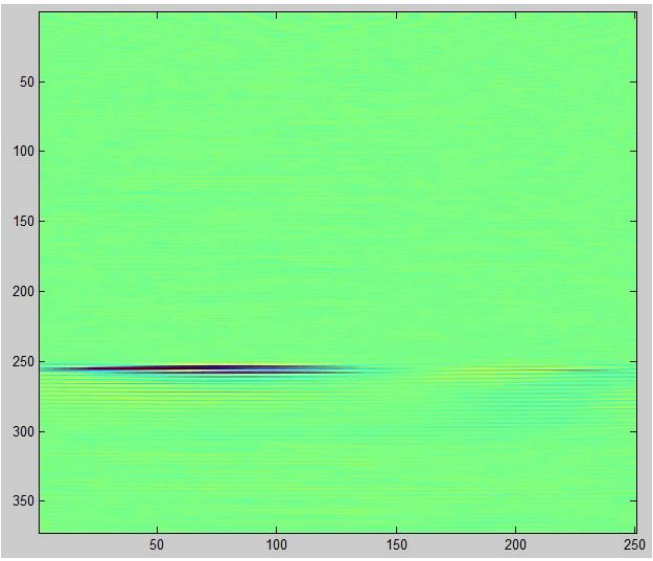


Рис.3. Изображение исследуемого объекта

В результате, в среде MATLAB была реализована модель, которая позволяет получить изображение объекта контроля в зависимости от параметров сканирования и размера фазированной решетки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ультразвуковые решетки для количественного неразрушающего контроля. инженерный подход. // Болотина И.О., Дьякина М.Е., Жантлесов Е., Крёнинг М., Мор Ф., Редди К., Солдатов А.И. Дефектоскопия. 2013. - № 3. - С. 21-40.

2. Диаграмма направленности антенной решетки при сканировании по методу SAFT. // Квасников К.Г., Макаров В.С., Солдатов А.И., Сорокин П.В., Солдатов А.А., Кренинг Х.М.В.А., Рябушкин А.П. Контроль. Диагностика. - 2012. № 13. - С. 62-66.

МЕТОД БЫСТРОГО ОТОГРЕВА КРИОЗОНДА В АППАРАТЕ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ФИБРИЛЛЯЦИЙ ПРЕДСЕРДИЙ

Бабчук С.В.
Научный руководитель: Киселева Е.Ю., доцент
Научный консультант: Ефтеев Г. А., инженер ЗАО «НПО «НИКОР»
ЗАО «НПО «НИКОР», Россия, 634024, г.Томск, ЛПК 2-ой пос., 111
E-mail: sofibabchuk@yandex.ru

NEW WAY OF CRYOINSTRUMENT DEFROST IN APPARATUS FOR TREATMENT THE FIBRILLATION OF ATRIA

Babchuk S.V.
Scientific Supervisor: Kiseleva E. J., associate professor
Scientific consultant: Efteev G. A. engineerof medical equipment, SPA «NIKOR»
111, LPK-2 St. Tomsk, Russia, 634024 SPA «NIKOR»
E-mail: sofibabchuk@yandex.ru

This work point at development a new device which combines such functions as electro and Cryoablation with using new way of Cryoinstrument defrosts. Using this device increase efficiency and reduce time of carry out of endocardial operation for treatment the fibrillation of atria , also it's decrease risk of development complications after operations. Moreover it provides reduce number of require electro surgery devices.

Мерцательная аритмия – самая сложная аритмия, патогенез которой до конца не изучен. В настоящее время под этим термином объединяются две формы аритмии: фибрилляция предсердий и трепетание предсердий. Статистика болезней сердца показывает, что на долю аритмий приходится около 10-15 % от всех болезней сердца. Каждый третий пациент, госпитализированный по поводу нарушений ритма, страдает именно мерцательной аритмией. Диагностика и лечение данного заболевания – актуальная проблема современной кардиологии. В качестве лечения применяют: антиаритмические препараты, постановка кардиостимулятора, хирургическое вмешательство, а также различные виды абляции.

Лучшим способ ликвидации хронической мерцательной аритмии был предложен, а затем и усовершенствован американским хирургом James L. Cox и назван им операцией «лабиринт»[1]. Суть операции заключалась в том, что хирургическим способом – «разрез–шов» – через оба предсердия от синусного до атриовентрикулярного узла формировался извилистый путь для прохождения импульса, без возможности замыкания круга риентри (патологического распространения импульсов). Операция стала «золотым стандартом» в аритмологии. У этой процедуры есть только два недостатка: сложность в исполнении и большая продолжительность, что чаще характерно для многокомпонентных сочетанных операций. Поэтому желающих выполнять ее всегда было не много.

Все дальнейшие усовершенствования и модификации этой процедуры происходили за счет замены разрезов аблационными воздействиями – радиочастотными, микроволновыми, ультразвуковыми, криогенными – с единственной целью – добиться двунаправленного блока проведения возбуждения в зонах развития процесса риентри. Хотя эти процедуры сначала и не достигали по эффективности высот классического «лабиринта», тем не менее, постепенно приближались к ним и становились менее трудоемкими. Операция, выполненная с помощью аблационных воздействий, отличается от классического «лабиринта» минимумом дополнительных разрезов, позволяющих завести в предсердия зонд и выполнить им аблацию по известным направлениям[2].

Метод радиочастотной (РЧ) абляции заключается в воздействии электрическим током «высокой» частоты, который приводит к локальному разогреву биологических тканей. Криоабляцией называют воздействие чрезвычайно низких температур, которые приводят к образованию кристаллов льда в тканях и повреждению клеточных структур. Популярность методов крио и РЧ абляций обусловлена наличием их существенных преимуществ перед другими методами, но также они имеют и свои недостатки.

При использовании одного вида воздействия в разных зонах не всегда получается достичь одинаково хорошего эффекта, что может быть исправлено использованием другого метода. В этом смысле встаёт вопрос о комбинировании данных методов для взаимной компенсации их недостатков, а, следовательно, повышения эффективности проводимых процедур.

В ЗАО «НПО «НИКОР» ведутся исследования в данном направлении, создан макетный образец комбинированного аблатора. Суть разработки заключается в создании аппарата с функциями крио и РЧ абляций превосходящего по эффективности существующие устройства подобного назначения. Это позволит уменьшить время при проведении операций и снизит риск развития послеоперационных осложнений. Кроме того, обеспечит сокращение количества требуемых электрохирургических аппаратов в медучреждениях, сократить место, занимаемое оборудованием, упростит работу персонала.

В настоящее время главными техническими проблемами создания криомедицинского оборудования являются: поиск максимальной хладопроизводительности инструмента в сочетании с его минимальной скоростью отогрева.

Был проведён ряд экспериментов, в результате которых найден эффективный способ разморозки криоинструмента, обеспечивающий быстрый отогрев и отрыв рабочей части инструмента криодеструктора, работающего по принципу эффекта Джоуля-Томсона (адиабатическое расширение сжатого газа), после промораживания биологических тканей.

Метод заключается в быстром и эффективном разогреве газа, используемого для заморозки рабочей части инструмента, за счёт теплопередачи от стенок капиллярной трубки, с помощью которой подводится газ. Разогрев трубки, в свою очередь, осуществляется за счёт пропускания через неё постоянного тока и выделения на ней мощности в виде тепла. Разогретый газ под большим давлением (порядка 60 бар), выходя из трубки мощной струёй, омывает внутреннюю поверхность рабочей части и приводит к быстрому отогреву. Изобретение защищено патентом Российской федерации № 149061

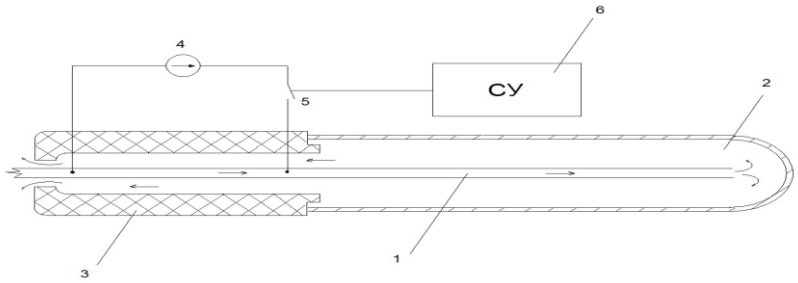


Рис. 1. Изображение рабочей части криоинструмента.

Рабочая часть криоинтрумента изображена на рис.1. Она состоит из коаксиально расположенных: магистрали подвода газа 1, представляющей собой стальную капиллярную трубку, и наконечника 2 (теплообменника), закреплённого на корпусе 3 рабочей части инструмента. На капиллярной трубке, ближе к дистальному концу, выделяется участок, который будет использоваться в качестве нагревателя. К концам участка с помощью проводников подключается источник питания 4, который коммутируется при помощи ключа 5 системы управления. Длина участка выбирается исходя из требуемой мощности нагрева (удельного сопротивления материала, напряжения питания), которая подбирается опытным путем.

После промораживания биологических тканей в соответствии с выбранным режимом, система управления коммутирует ключ устройства отогрева, который приводит к разогреву магистрали. Рабочий газ, который используется для заморозки, проходя через подводящую магистраль, забирает тепло от

стенок нагретого участка и переносит его к наконечнику. Для обеспечения большей эффективности отогрева, участок подводящей магистрали в области наконечника выполняется в виде спирали[3].

Для решения проблем эффективности мной был проведён ряд экспериментов, задачей которых являлось определение оптимальных параметров заморозки и отогрева криозонда. Необходимо было определить величины выходного отверстия подводящей магистрали, оптимального расстояния между внутренней поверхностью наконечника и выходным отверстием подводящей магистрали, при которых обеспечивается наилучшее охлаждение.

В исследованиях использовались разные по размеру отверстия, от исходного сечения подводящей магистрали, до минимального из имеющихся калибров. Для калибровки выходного отверстия использовалась вольфрамовая проволока, которая вставлялась в отверстие магистрали, и путём обжима формировалось отверстие приблизительно равное сечению проволоки. В ходе эксперимента для каждого калибра снимали характеристики изменения температуры отходящих газов от времени при разном расстоянии выходного отверстия магистрали до торца внутренней поверхности аппликатора, представляющего собой трубку с запаянным концом. Расстояние между концом магистрали и торцом аппликатора меняли с шагом 2 мм от момента соприкосновения и удаляли до тех пор, пока характеристики не перестали меняться. В качестве измерителя температуры использовали термопару с поверенным измерителем, конец которой был свободно закреплён во внутренней полости аппликатора. Далее путём сравнения характеристик выбрали оптимальный калибр отверстия и расстояние до торца. Чем ближе они находятся друг к другу (но не в плотную), тем ниже температура охлаждения и быстрее происходит заморозка. Показания снимались каждые 5 секунды, пока температура наконечника не становилась постоянной.

Также было необходимо определить длину участка предварительного охлаждения подводящей магистрали, обеспечивающую получение минимальной температуры наконечника, так как отходящий хладогент приводит к охлаждению магистрали и к ещё большему охлаждению выходящего газа. Для этого в эксперименте на выходе аппликатора устанавливались, коаксиально подводящей магистрали, трубки разной длины из теплоизолирующего материала, которые вместе с внутренней полостью аппликатора формировали общий отводящий канал, с помощью которых обеспечивалось предварительное охлаждение участков магистрали разной длины.

По результатом экспериментов был собран криозонд со следующими характеристиками. Температура наконечника в рабочем состоянии достигает -60°С. После заморозки длительностью 1 мин, автоматически начинается отогрев, который происходит за время не менее 5 секунд, обеспечивается быстрый отъем наконечника от замороженной и прилипшей к нему ткани. Аппарат выводит на дисплей информации о давлении газа в системе и температуре наконечника. Начало процесса отогрева криозонда сопровождается звуковым оповещением.

Такой криохирургический инструмент изготовлен, прошел технические испытания на предприятии, а также прошел процедуру патентования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cox, J. L. The surgical treatment of atrial fibrillation. IV. Surgical Technique / J. L. Cox // J. Thorac. Cardiovasc. Surg. – 1991. – Vol. 101. – P. 584–592.

2. Поляков В. П., Белый В. С. Операция «лабиринт»: настоящее и будущее//Журнал. Анналы аритмологии. 2008. - Т.5. - № 4. С.47-53.

3. Пат. 149061 РФ. МПК A61B18/02. Криохирургический инструмент/.

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МИКРОПИРОМЕТРИИ НАНОСЕКУНДНОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Бебия А.Г., Серегин А.Е., Бороненко М.П.

Научный руководитель: Гуляев П.Ю, д.т.н. профессор

Югорский государственный университет, Россия, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16, 628012

E-mail: MarinaB7@yandex.ru

OPTICAL - ELECTRONIC SYSTEM FOR MICROPYROMETER NANOSECOND RESOLUTION

Bebiya A.G., Seregin A.E., Boronenko M.P.

Supervisor: Gulyaev P.Yu, Ph.D. professor

Ugra State University, Russia, Khanty-Mansiysk, Chekhov str., 16, 628012

Аннотация

Описана особенность калибровки оптико-электронной системы контроля температуры высокотемпературных быстропротекающих процессов. Учет кинетики свечения люминофора позволяет выбрать линейную область работы ОЭС.

Введение

Интенсивное развитие элементной базы оптико-электронных систем (ОЭС) позволяет эффективно применять их для неразрушающего контроля быстропротекающих высокотемпературных процессов [1-4]. Проблема малых значений облученности фоточувствительного сенсора на высоких скоростях ввода кадров и малых временах накопления решается включением в ОЭС электронно-оптического преобразователя (ЭОП) на микроканальных пластинах (МКП). **Целью исследований** является разработка методики калибровки ОЭС, учитывающей кинетику свечения люминофора, покрывающего экран ЭОП.

Методика проведения эксперимента

Исследование эксплуатационных характеристик применяемой ОЭС [5-6] обнаружило разгорание люминофора, покрывающего экран ЭОП видеокамеры. Время высвечивания люминофора $t=3\times10^{-3}$с (рис.1.а) меньше максимально возможного времени экспозиции $t_э=20\times10^{-6}$с. Поэтому, априори, яркость регистрируемого сигнала ниже, чем при полном высвечивании люминофора. При высокой интенсивности электронного потока и больших временах накопления наблюдается тушение люминесценции. Эффект тушения приводит к нелинейной свет - сигнальной характеристике ОЭС и отличию одного и того же сигнала, регистрируемого по первым кадрам, от сигналов, фиксируемых по последующим кадрам (рис.1.а). Теоретически, нарастание интенсивности люминесценции I_0 описывается выражением [7]:

$$I_0 = E \cdot \varphi \cdot \left[(1 - \exp(-t/\tau)\right],$$

где E — интенсивность возбуждения; τ— время затухания; φ — квантовый выход. Аппроксимирующая экспериментальные данные функция (рис.1.а), описывающая кинетику люминофора

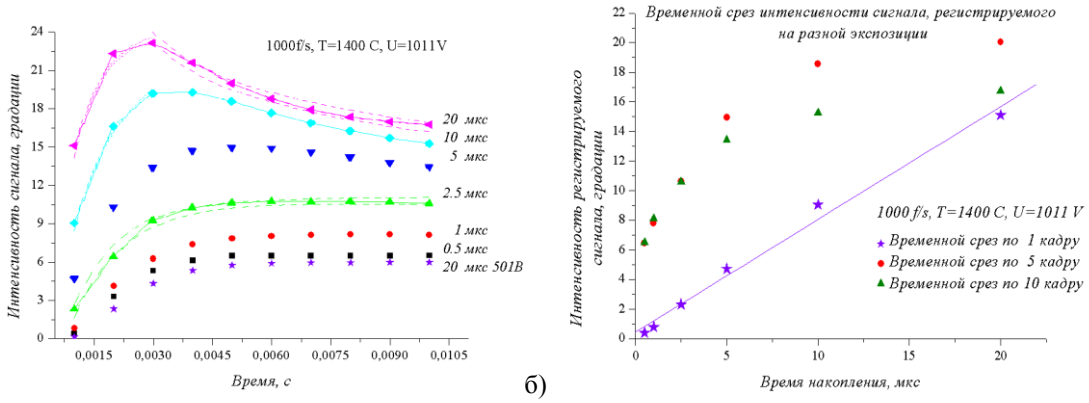
за время наблюдения менее 0,003с, хорошо согласуется с теорией:

$$I = A \cdot \left[1 - \exp(-k \cdot (t - c))\right], \qquad (1)$$

где *I*-отклик ОЭС, *k, c* – константы, определяемые при аппроксимации (разные для каждого времени накопления). Тушение люминесценции при временах наблюдения больше 0,003с (рис.1.а), описывается аппроксимирующей функцией:

$$I = b \cdot \ln(t - a),$$

где *b, a*- константы, определяемые при аппроксимации. Начиная с некоторого времени экспозиции, в данном случае с 2,5 мкс, тушения люминесценции не наблюдается (рис.1.а) и кинетика излучения полностью описывается функцией (1).



а) б)

Рис.1. а) Временная развертка отклика фоточувствительной ячейки камеры с ЭОП на постоянный световой поток при разных временах накопления; б) «Временной срез» значений интенсивности сигнала

Обычно, при калибровке видеокамеры по эталонной температурной лампе, производится несколько серий снимков снятых с одной выдержкой τ при различных значениях тока лампы. В каждую такую группу входит несколько снятых подряд кадров. Усредненной яркости пикселов полученного изображения ставится в соответствие яркостная температура эталонной лампы. Описанные причины приводят к росту погрешности с увеличением количества усредняемых последовательных кадров. Рассматриваемая ОЭС предназначена для осуществления контроля температуры и скорости процессов, время протекания которых сопоставимо со временем накопления одного кадра. За время экспонирования, процесс успевает начаться и завершится. Испускаемое при этом излучение преобразуется, достигает экрана ЭОП и вызывает разгорание люминофора. Поэтому, при калибровке, в серию снимков должен входить каждый первый кадр отдельно снятых на одинаковом накоплении видеопоследовательностей. Разброс значений одного и того же сигнала в серии невелик, о чем свидетельствует приведенная в таблице 1 статистика. Далее, как обычно. В снимках выделяется тарировочный участок лампы. На нем выбирается фиксированная для всех снимков область N×M точек. В выбранной области рассчитывается среднее значение уровней сигналов, соответствующих шкале серого и их стандартное отклонение.

Таблица 1.

Описательная статистика сигнала

Advanced Statistics				Normality Test (Shapiro-Wilk)			
Dataset	Mean(Y)	sd(yEr±)	se(yEr±)	N	W	P Value	Decision
DATA1_B	12,05952	0,0137	0,00433	10	0,96865	0,86878	Normal at 0,05 level

Свет - сигнальная характеристика, построенная по измерениям, произведенным до наступления тушения люминесценции, аппроксимируется прямой линией (рис.1.б). Таким образом, при калибровке, регулируя напряжение на МКП, учитывая особенности излучения люминофорного покрытия экрана ЭОП и того факта, что время накопления априори меньше времени высвечивания люминофора, становится возможным осуществлять работу ОЭС в линейном режиме.

Основные результаты и выводы

Описанная методика калибровки позволяет использовать ОЭС в качестве микропирометра статических объектов с температурой выше 1573±25К, и микропирометра-анемометра для двухфазных потоков с частицами dmin=33мкм, движущимися со скоростью 100м/с и имеющих температуру не ниже 1573±25К, (при 1140м/с температура не менее 2037±50К)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Оптико-электронная система диагностики двухфазных потоков динамическим методом счета частиц/ П. Ю. Гуляев, В. И. Иордан, И. П. Гуляев, А. А. Соловьев // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2008. — Т. 51. — № 9-3. — С. 79–87.

2. Еськов А.В., Кирюшин И.И. Использование высокоскоростной цифровой камеры для изучения динамики длины струи распыленного топлива / А.В. Еськов, И.И. Кирюшин. - Вестник Югорского государственного университета. - 2014. - №2(33). - С. 29-31.

3. Афонин В.С., Малютин Ю.Ю. Моделирование зависимости электрической емкости 3-х электродного емкостного преобразователя от расположения в нем частицы конечного размера / Афонин В.С., Малютин Ю.Ю. - Вестник Югорского государственного университета. - 2013. - № 2 (29). - С. 63-65

4. Иордан В.И., Рябченко И.К. Модернизация программно-аппаратного обеспечения высокоскоростной интеллектуальной видеокамеры / В.И. Иордан, И.К. Рябченко - Вестник Югорского государственного университета. - 2014. - №2(33). - С. 74-80.

5. Полухина К.К. Exploration of time of afterglow of luminescent screen electro - optical of converter / К.К. Полухина, М.П. Бороненко. — Proceedings of the 3rdInternational conference on Eurasian scientific development. «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. — 2014. — P. 112-117.

6. Бороненко М.П. Метрологические характеристики телевизионной измерительной системы наносекундного разрешения / М.П. Бороненко, П.Ю. Гуляев. — Вестник Югорского государственного университета. — 2014. — №2(33). — С. 68-73.

7. Эмануэль Н. М., Кузьмин М. Г. (ред.). Экспериментальные методы химической кинетики. – МГУ, 1985.

ПУСКОВОЙ РЕЖИМ МИКРОДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА

Буй Дык Бьен, Иванова А. Г., Мартемьянов В. М.
Научный руководитель: Мартемьянов В. М., доцент, к.т.н.,
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: bientomsk@mail.ru

STARTING MODE MICROMOTOR-FLYWHEEL

Bui Duc Bien, Ivanova A. G., Martemyanov V. M.
Scientific adviser: Martemyanov V. M., Ph. D., Associate Professor
Tomsk Polytechnic University
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050
E-mail: bientomsk@mail.ru

Наряду с требованием минимальных массо-габаритных характеристик микродвигатель-маховик для малого космического аппарата должен развивать достаточный управляющий момент при минимальном энергопотреблении. Особое внимание должно быть уделено переходному процессу изменения потребляемого тока при включении двигателя, так как этот процесс может существенно сказаться на маломощном бортовом источнике питания.

В качестве основы для микродвигателя-маховика выбран электродвигатель привода флоппи-дисков персонального компьютера. Такой синхронный двигатель имеет плоскую инверсную конструкцию, подобную двигателям-маховикам космических аппаратов большой массы. Трехфазная обмотка микродвигателя подключена к выводам контроллера двигателя - микросхеме LB11880 [1-4]. Некоторые вопросы функционирования такой системы приведены в [5]. Были определены пусковые и номинальные токи при вариации управляющих воздействий на микросхему.

В настоящей работе представлены результаты дальнейших исследований. Изучение переходного процесса проводилось при помощи цифрового запоминающего осциллографа TDS2000B.

Характер изменения пускового тока, полученный экспериментально, показан на рис.1 нижней кривой, на основании которой делается вывод, что ток приобретает установившееся значение за время, не превышающее 0,7 – 0,8 с. В верхней части рис.1 показан закон изменения выходного сигнала оптического датчика скорости вращения ротора двигателя. Датчик выдает один импульс за один оборот ротора. Видно, что установившаяся скорость вращения наступает после числа оборотов ротора, не превышающих 8 -10. Анализ таблицы, сопровождающей записанные графики, позволил построить график зависимости изменения скорости вращения ротора от времени переходного процесса (рис.2), а также график изменения углового ускорения (рис. 3). Последний позволяет оценить величину момента, развиваемого двигателем.

$$M = J \cdot \omega,$$

где $J = 5{,}7 \cdot 10^{-6}$ кг $\cdot$ м^2 – момент инерции ротора двигателя.

При включении двигателя момент на валу достигает величины порядка $1 \cdot 10^{-3}$ н·м.

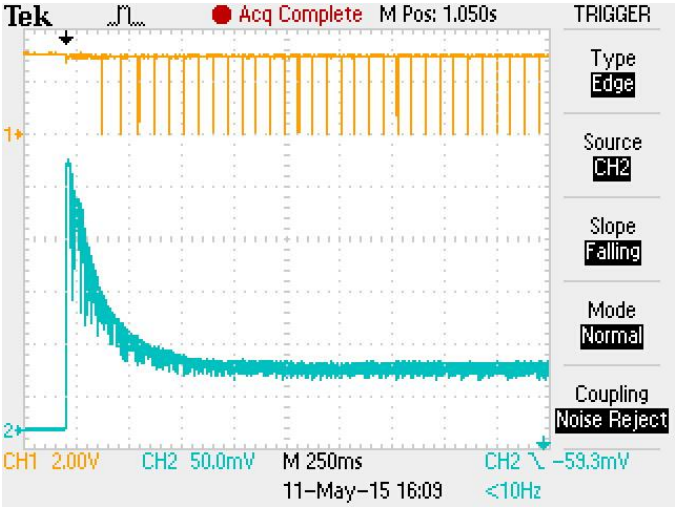


Рис.1 Зависимость изменения тока (CH2) и выходного сигнала оптического датчика скорости (CH1).

Скорость вращения ротора (об/с) определяется путем определения интервала времени между двумя соседними нулевыми значениями сигнала. Для ускорения процесса выборки нулевых значений напряжения и их моментов времени записи в таблице чисел, выданной запоминающим осциллографом, а также определения скорости вращения ротора, построения ее зависимости от времени, были разработаны в среде программирования Matlab алгоритмы обработки данных [6].

С массивов значений напряжения и моментов времени подбираются все значения последних времени, у которых напряжение равно нулю и заносятся в новый массив; затем происходит цикл определения разности времен, на основе которой рассчитывается скорость вращения и среднее значение между двумя соседними моментами времени (середина временного интервала). Все полученные данные заносятся в новые массивы. После совершения цикла происходит построение графика зависимости скорости вращения ротора двигателя от времени.

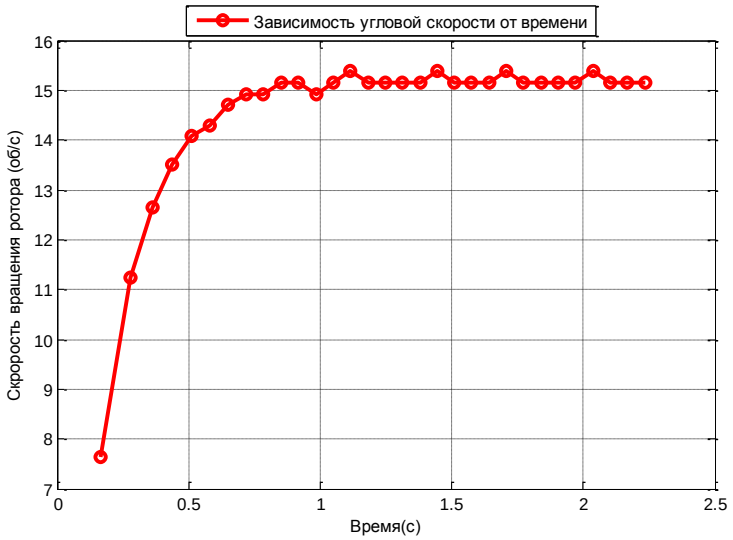


Рис.2. Зависимость изменения скорости вращения ротора от времени переходного процесса.

На основе полученной зависимости изменения скорости вращения ротора от времени также построен график изменения углового ускорения с использованием среды программирования Matlab.

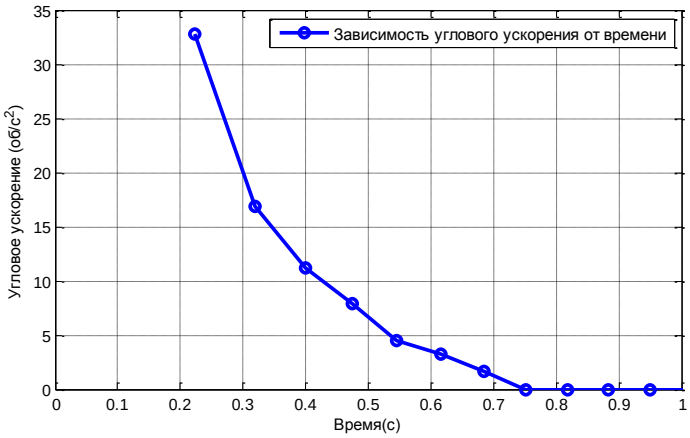


Рис.3. Зависимость изменения углового ускорения от времени переходного процесса.

Аналогичным образом могут быть получены данные о тормозных моментах при вращении ротора; в этом случае необходимо воспользоваться результатами записи режима выбега ротора двигателя, представленными на рис. 4.

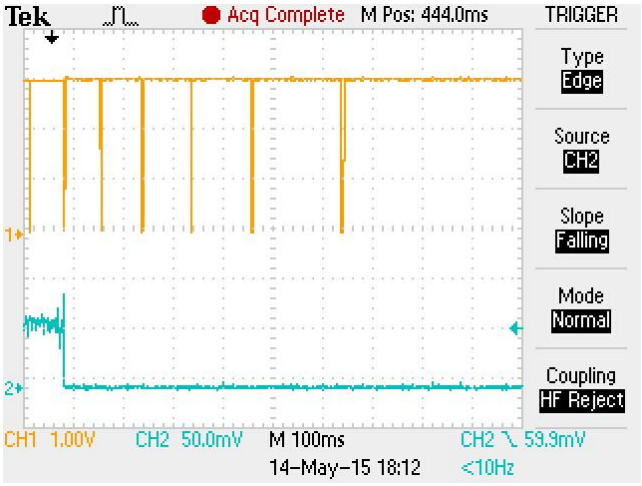


Рис.4. Осциллограмма режима выбега.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Three-Phase Sensorless Motor Driver with Loading Motor Driver LB11880. SANYO datasheet. [Электронный ресурс]. - режим доступа: http://datasheet.eeworld.com.cn/pdf/SANYO/134901_LB11880.pdf

2. Алексеев К. Б., Палагута К. А. Микроконтроллерное управление электроприводом: Учебное пособие. - М.: МГИУ, 2008. - 298с.

3. Микросхемы привода бесконтактных двигателей постоянного тока NJR, SITI, ONS. - Журнал "Компоненты и технологии", № 3, 2010.

4. Энциклопедия ремонта. Выпуск 12: Микросхемы для управления электродвигателями. - М.: ДОДЭКА, 1999, 288с.

5. Буй Дык Бьен. Бесконтактные двигатели постоянного тока и управление ими микросхемой LB11880 // Космическое приборостроение: Сборник научных трудов. - Томск, 2015. - С. 60-63.

6. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил.

РАЗРАБОТКА ОПТОВОЛОКОННОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Василевская Е.С.
Научный руководитель Казаков В. Ю., к.ф-м.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: paiper@sibmail.com

DEVELOPMENT OF FIBER OPTIC DISPLACEMENT SENSOR

Vasilevskaya E. S.
Scientific Supervisor PhD Kazakov V. Y.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: paiper@sibmail.com

АННОТАЦИЯ

В работе представлена структурная схема датчика малых перемещений на основе волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо. В качестве оптической среды было выбрано одномодовое оптическое волокно, которое включено в сплиттер, источник лазерного излучения компании Grandway FHS-1D02 и оптический измеритель мощности Grandway FHP12-A.

ABSTRACT

The paper shows a block diagram of a fiber optic displacement sensor based on fiber-optic Fabry-Perot interferometer. A single mode optical fiber is chosen as the optical medium, which is included in the splitter, a laser light source is Grandway FHS-1D02 and an optical power meter is Grandway FHP12-A.

Введение

Измерение малых перемещений необходимо при контроле деформации поверхностей, качества механической обработки, точном позиционировании и др. Существующие методы измерения малых длин (индуктивные, емкостные, потенциометрические и др.) подвержены воздействию электромагнитных помех [1]. В качестве альтернативы можно воспользоваться оптическими методами измерения малых перемещений. В настоящее время актуальна разработка новых типов и конструкций приборов на основе оптоволоконной и лазерной технологий, развитие которых позволило удешевить элементную базу, что дало возможность использовать их повсеместно.

В работе представлена функциональная схема датчика малых перемещений на основе волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо. Также приведен выбор основных элементов данной схемы: источника излучения (обеспечивающий одномодовый режим работы), приемника излучения и оптической среды.

1 Структурная схема

На рисунке 1 представлена предполагаемая схема датчика малых перемещений, основанная на волоконно-оптическом интерферометре Фабри-Перо [2].

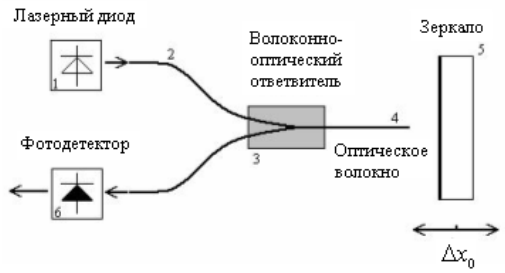


Рис.1. Схематическое изображение датчика малых перемещений

В данной схеме зеркало перемещается относительно торца волокна. При изменении расстояния между ними Δx_0 (смещении зеркала) будет изменяться интенсивность света, отражаемого этим интерфе-

рометром обратно в волокно. Формула (1) позволяет определить величину перемещения зеркала Δx_0 по значению интенсивности излучения на фотодетекторе [3].

$$\Delta x_0 = \frac{\lambda \cdot \arccos\left(\frac{I_0 - I_n + kK(I_0 - I_n) - (1-k)(1-K)I_0}{2\sqrt{kK}(I_0 - I_n)}\right)}{4\pi}, \quad (1)$$

где λ – длина волны излучения, I_0 – начальная интенсивность света в волокне, I_n – интенсивность света, регистрируемая фотодетектором, k – коэффициент отражения торца волокна, K – коэффициент отражения зеркала.

2 Компоненты системы

Далее проведем выбор основных элементов данной схемы. В качестве оптической среды, которая будет направлять поток световой энергии в необходимом нам направлении, возьмем оптическое волокно (ОВ). По отношению к длине волны в зависимости от диаметра сердцевины ОВ делятся на одномодовые и многомодовые. Одномодовое ОВ по сравнению с многомодовым имеет малое искажение сигнала и малый коэффициент затухания (порядка 0,5 дБ/км). Поэтому для целей измерения малых перемещений выбор одномодового ОВ является оптимальным.

В схеме (рисунок 1) сплиттер используется для деления светового сигнала от одного порта (источника излучения) к двум другим (зеркалу и приемнику излучения). По технологии производства оптические сплиттеры делятся на сплавные (FTB) и планарные (PLC). При разработке мы будем использовать сплавные разветвители, так как они позволят разделить оптический сигнал в заданных пропорциях, вплоть до соотношения 1/99 (1% от источника излучения к приемнику, остальные 99% к зеркалу). Рабочая длина волны у таких ответвителей составляет 1310, 1490 и 1550 нм, потому что одномодовый режим при малом диаметре центрального волокна (порядка 8-10 мкм) достигается при большой длинней волны излучения [4]. На рисунке 2а изображен оптический сплавной сплитер.



а



б



в

Рис.2. Компоненты датчика. а) оптический сплавной разветвитель (сплитер) 1x2 с разъемами SC/APC; б) источник лазерного излучения компании Grandway FHS-1D02; в) оптический измеритель мощности Grandway FHP12-A

В данной работе измерение перемещения основываться на интерференции. Исходя из этого, в качестве источника будут использоваться лазерные источники излучения. Сейчас на рынке представлен широкий выбор лазерных модулей с длиной волны излучения порядка 650-850 нм и довольно низкой стоимостью. Однако, нам необходим источник, обеспечивающий одномодовый режим работы. Лазерные модули с необходимой длиной волны (1300 нм и выше) не доступны в свободной продаже, их изготавливают только под заказ. В таблице 2 представлены сравнительные характеристики пяти моделей лазерных источников. А один из них (Grandway FHS-1D02) представлен на рисунке 2б.

Все эти источники компактны, способны генерировать световой поток на длинах волн, например от 850 до 1550 нм. Кроме этого, имеют встроенный коннектор, позволяющий легко подсоединить имею-

щийся в схеме оконцованный сплиттер, сводя к минимуму потери сигнала при введении излучения в волокно. Они все имеют хорошую стабильность излучения. Сравнив все представленные источники по цене, Grandway FHS-1D02 оказывается на порядок дешевле и является оптимальным выбором.

Таблица 2

Характеристики пяти моделей источников оптического излучения

	Модель				
	Grandway FHS-1D02	Grandway FHS-1D03	Greenlee DLS 355	ТОПАЗ-3102	Greenlee 580XL
Длина волны, нм	1310/1550	850/1300	1310/1550	1310	1310/1550
Стабильность излучения, дБ	<0,1	<0,1	0,05	0,07	0,05
Цена, руб	8 855,00	15 180,00	63 520,00	14 020,00	92 060,00

Для определения мощности излучения необходим измеритель оптической мощности. В таблице 3 приведены характеристики пяти моделей измерителей мощности. Grandway FHP12-A представлен на рисунке 2в. Свой выбор мы остановили на модели Grandway FHP12-A, так как, по совокупности параметров он наиболее предпочтителен.

Таблица 3

Характеристики пяти моделей измерителей оптической мощности

	Модель				
	Grandway FHP12-A	RP GreenLee 440-02	Greenlee 560XL	Tempo 522	Fluke Networks SimpliFiber PRO
Длина волны, нм	850/1300/1310/ 1490/1550/1625	1310/1490/1 550	850, 1300, 1310, 1550	980, 1310, 1480, 1550, 1625	850, 1300, 1310, 1490, 1550, 1625
Точность измерений, дБ	0,35	0,24	0,25	0,25	0,25
Цена, руб	3 163,00	35 990,00	63 680,00	86 130,00	68 060,00

Заключение

В данном докладе были определены необходимые компоненты для конструирования оптоволоконного датчика перемещения, схематически изображенного на рисунке 1. В качестве оптической среды было выбрано одномодовое оптическое волокно, которое включено в сплиттер, источник лазерного излучения компании Grandway FHS-1D02 и оптический измеритель мощности Grandway FHP12-A.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Датчики перемещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://devicesearch.ru/article/3648 – 10.04.2015

2. Волоконно-оптический интерферометр Фабри-Перо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://physics.nad.ru/sensors/Cyrillic/setup.htm – 15.04.2015

3. Василевская Е. С., Казаков В. Ю Разработка оптоволоконного датчика перемещения// Молодежь и современные информационные технологии: Труды XII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2014. –Т. 1. –С. 204–205.

4 Оптоволоконные каналы и беспроводные оптические связи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://book.itep.ru/3/optic_32 – 12.04.2015

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА НАКАЧКИ CuBr-ЛАЗЕРА

Васнев Н.А.[1], Тригуб М.В.[1,2]

Научный руководитель: Тригуб М.В.,

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: vasnev.nickol@yandex.ru

На сегодняшний день лазерные системы весьма активно применяются для решения ряда задач, как в промышленности, так и в медицине. Широкое применение лазерных комплексов объясняется их многоплановостью и разнообразием. К ним предъявляется ряд требований, среди которых можно выделить регулировку основных параметров работающей лазерной системы в процессе ее эксплуатации. Другими словами, современные лазерные установки должны обладать системой управления, которая позволит пользователю без труда изменять текущий режим работы лазера.

Одним из приоритетных направлений в промышленности является визуализации быстропротекающих процессов, экранированных от наблюдателя мощной фоновой засветкой [1]. Для решения задач в этой области используют лазеры на парах металлов, в частности, на парах меди. Работа любого лазера предусматривает накачку его активной среды. Для возбуждения лазеров на парах меди, довольно часто используют источники на базе газоразрядных коммутационных приборов, таких как тиратрон и модуляторные лампы. При этом для источника накачки весьма важное значение имеет длительность фронта импульса напряжения, поскольку при наибольшей крутизне фронта наблюдается более эффективное заселение резонансного уровня в сравнении с нижнем метастабильным уровнем. Затянутость фронта, в свою очередь, способствует заселению нижних метастабильных уровней, в результате чего мощность генерации вынужденного излучения и его эффективность работы лазера падают. Применение уже упомянутых газоразрядных приборов в отличие от полупроводниковой техники обеспечивает коммутацию с высокой скоростью тока при напряжении порядка десятка кВ [2].

Помимо этого энергетические характеристики лазерного излучения зависят от частоты следования импульсов накачки, которая, в том числе, ограничена коммутационными способностями используемых газоразрядных приборов. Частотное ограничение коммутации обуславливается тем, что при эксплуатации газоразрядного прибора необходимо обеспечивать время для протекания процесса релаксации, необходимое для восстановления электрической прочности прибора [3]. Таким образом, частота следования импульсов накачки лазерного вещества может быть увеличена в два раза за счет работы двух коммутационных приборов на одну нагрузку.

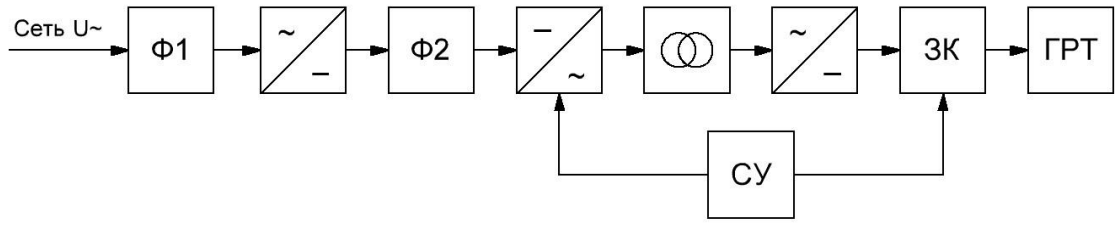


Рис. 1. Структурная схема источника с импульсным зарядом рабочей емкости: Ф1, Ф2 – фильтры, ЗК – зарядный контур, СУ – система управления, ГРТ – газоразрядная трубка.

Разработка такой системы управления для лазера на парах меди проводилась в Лаборатории квантовой электроники ИОА СО РАН г. Томск.

На рис.1 представлена структурная схема источника накачки лазера на парах меди с импульсным зарядом рабочей емкости [1, 3]. В качестве коммутационного прибора в зарядном контуре было решено использовать тиратрон в силу вышеуказанных достоинств данного прибора в сравнении с полупроводниковыми.

Кратко рассмотрим процессы в управляемой части схемы при работе одного тиратрона на газоразрядную трубку. Система управления формирует две серии импульсов, поочередно отпирающих два силовых транзистора, на которых построен управляемый инвертор. Через открытый транзистор происходит заряд накопительной емкости в зарядном контуре. После запирания транзистора следует задержка порядка 2 мкс, по окончанию которой на сетку тиратрона приходит импульс от системы управления. Далее происходит коммутация тиратрона, и накопительная емкость разряжается на газоразрядную трубку.

Затем следует пауза, необходимая для протекания процессов релаксации тиратрона, после чего открывается другой транзистора и все процессы повторяются.

Работа двух тиратронов на одну газоразрядную трубку позволяет увеличить частоту накачки в два раза (см. рис. 2). Для реализации такой системы управления был выбран микроконтроллер STM32F100RB. Такой выбор обусловлен рядом достоинств данного микроконтроллера, серди которых можно выделить его большой функционал, сравнительно высокую частоту работы (24 МГц), большое количество внешних прерываний и различные режимы работы аналого-цифрового преобразователя. Последнее достоинство является одним из наиболее важных, поскольку использование АЦП позволяет осуществлять плавную регулировку частоты следования импульсов накачки, а также изменение временного интервала между генерируемыми импульсами управления.

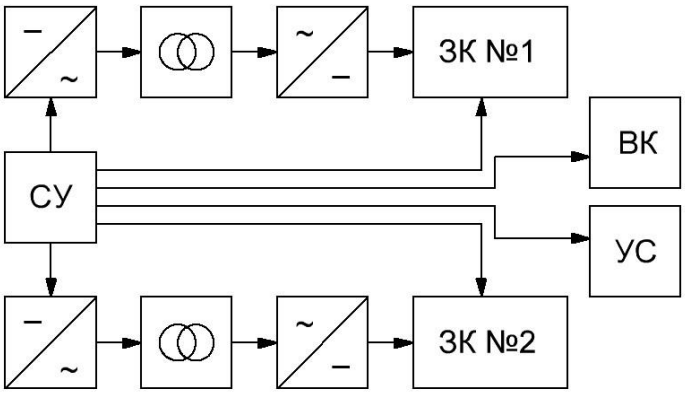


Рис. 2. Систему управления, работающая на два источника накачки: СУ – система управления, ЗК №1 и ЗК №2 – зарядные контуры 1 и 2 соответственно, ВК – видеокамера, УС – устройство синхронизации.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) в выбранном микроконтроллере содержит 18 мультиплексированных каналов, позволяющих ему измерять сигналы от 16 внешних и двух внутренних источников. Высокая разрядность регистров (от 16-ти до 32-бит) без труда позволяет осуществлять логические операции над 32-х битными числами. Помимо группы регулярных каналов АЦП выбранного контролле-

ра содержит группу инжектированных каналов, которая может состоять максимум из 4-х преобразований. Особенностью использования инжектированных каналов является то, что результат преобразования каждого канала АЦП записывается в свой отдельный регистр. Именно использование группы инжектированных каналов позволило реализовать независимую регулировку времени длительности импульсов накачки и времени длительности паузы между ними.

Для реализации данной системы управления было использовано четыре внешних прерывания, два таймера-счетчика, а также АЦП. Как оговаривалось ранее, работа АЦП обеспечивает плавную регулировку необходимых временных интервалов. После завершения каждого преобразования инжектированной группы каналов выходной код АЦП подвергается необходимым логическим и арифметическим операциям, после чего полученный результат записывается в регистр таймера, содержимое которого определяет время его переполнения. Таймер отсчитывает время длительности каждого импульса и времени пауза между ними. Внешние прерывания нужны для обеспечения условий независимой регулировки указанных временных интервалов.

При использовании лазерных систем на парах меди для визуализации быстропротекающих процессов возникает также потребность в запуске видеорегистрирующего устройства и синхронизации его работы с исследуемым процессом. Для решения такого рода задач в разработанную систему управления целесообразно добавить блок, отвечающий за запуск устройства скоростной покадровой визуализации путем генерации синхроимпульса. На рис. 2 в качестве видеорегистрирующего устройства представлена видеокамера. Также рис.2 включает в себя блок УС (устройство синхронизации), который предназначен для обеспечения синхронизации работы видеокамеры необходимой точности.

Таким образом, частота импульсов накачки при работе двух газоразрядных коммутационных приборов может варьироваться от 50 до 100 кГц. Диапазон изменения длительности одного импульса накачки составляет от 10 до 50 мкс с шагом изменения до 3 мкс. Задержка перед запуском тиратрона является фиксированной и составляет 2 мкс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. И.В. Красников, М.В. Тригуб, Г.С. Евтушенко. Источник накачки cubr-лазера с импульсным зарядом рабочей емкости // Вестник науки Сибири. - 2012. - № 5 (6). – С. 54 – 58.

2. В.М. Батенин, В.В. Бучанов, М.А. Казарян. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов – М.: «Научная книга». 1998 – 544 с.

3. Тригуб М.В., Огородников Д.Н., Димаки В.А. Исследование источника накачки лазера на парах металлов с импульсным зарядом рабочей емкости. // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 12. С. 1112-1115.

МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ

Вторушин С.Е., Коледа А.Н., Барбин Е.С.
Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., доцент, к.т.н.
Томский политехнический университет, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: vtorushin1991@mail.ru

MEMS GYROSCOPE WITH INTERMEDIATE BODIES

Vtorushin S.E., Koleda A.N., Barbin E.S.
Scientific Supervisor: Doc. Nesterenko T.G.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: vtorushin1991@mail.ru

В настоящее время активно развиваются направления, связанные с разработкой и созданием малогабаритных, надежных и экономичных инерциальных приборов контроля параметров движения и деформации объектов. Системы контроля необходимы в аэрокосмической, нефтегазовой и железнодорожной отраслях, автомобильной промышленности, медицине, робототехнике. Примером таких разработок являются системы контроля пространственной ориентации скважин и скважинных объектов, инерциальные методы и средства контроля геометрических параметров рельсовых путей, информационно-диагностические системы оценки состояния автомобильных дорог, системы ориентации, навигации и управления с повышенной надежностью, точностью и безопасностью для автомобильного и железнодорожного транспорта [1, 2]. В этих системах основными источниками первичной информации об угловых перемещениях объекта являются микроэлектромеханические гироскопы, метрологические характеристики которых определяют качество создаваемых приборов.

Амплитуда первичных колебаний в микрогироскопе обычно на несколько порядков больше амплитуды информативных колебаний. Для устранения нежелательных связей между этими режимами необходимо их изолировать друг от друга. Желательно, чтобы перемещение сенсорных электродов происходило только при информативных колебаниях вдоль одной оси. Для этого предлагается применение в сенсоре гироскопа промежуточных тел (рис. 1) [3, 4 ,5].

Первичное и информативное движение тел сенсора гироскопа происходит в одной плоскости *XY*. Гребенчатый привод 8 возбуждает первичные колебания рамы 1, установленной на упругом подвесе 4, вдоль оси Y. Внутри этой рамы на упругом подвесе 6 установлено промежуточное тело 2, которое связано с инерционным телом 3 через упругие элементы 5.

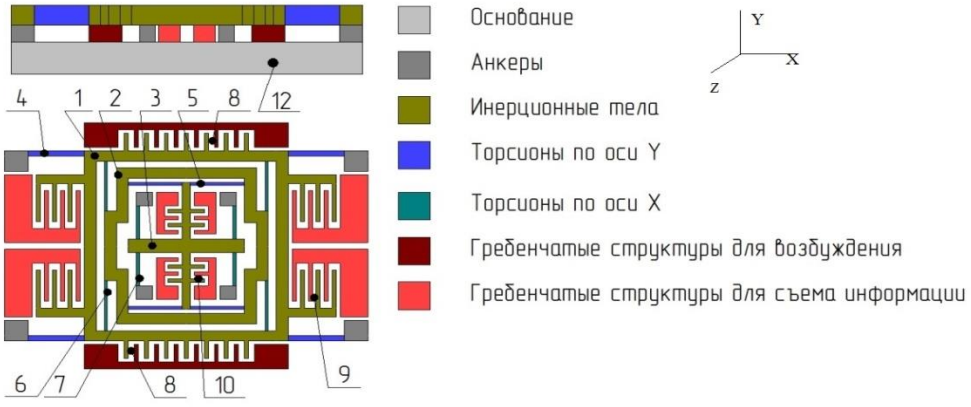


Рис. 1. Функциональная схема однокомпонентного Z-сенсора

Жёсткости упругих элементов таковы, что промежуточное тело совершает первичные колебания вместе с рамой 1. Возникающая при наличии скорости Ω_z сила Кориолиса через промежуточное тело 2

приводит в колебательное движение вдоль оси *X* инерционное тело 3, установленное в основании 12 на упругом подвесе 7.

Сенсорные электроды 10 связаны с инерционным телом 3, которое совершает информативное движение вдоль оси *X*, но не участвует в первичном движении. В результате минимизируется нежелательное изменение ёмкости сенсорных электродов из-за первичного движения.

Математическая модель и динамические характеристики сенсора микрогироскопа

Эквивалентная схема сенсора гироскопа, как системы с сосредоточенными массами, представлена на рисунке 2, где m_1, m_2, m_3 – масса рамы 1, промежуточного тела 2 и инерционного тела 3 соответственно, k_1 – жёсткость упругого подвеса 4 по оси *Y*, k_{2x}, k_{2y} – жёсткость упругого подвеса 6 по осям *X* и *Y*, k_{3x}, k_{3y} – жёсткость упругого подвеса 5 по осям *X* и *Y*, k_{4x}, k_{4y} – жёсткость упругого подвеса 7 по осям *X* и *Y*, μ_x, μ_y – коэффициенты сил вязкого трения.

При проектировании сенсора необходимо обеспечить выполнение соотношений между жесткостями по осям *X* и *Y*: $k_{2x} << k_{2y}$, $k_{3y} << k_{3x}$, $k_{4x} << k_{4y}$.

Тогда эквивалентная схема сенсора микрогироскопа упрощается (рис. 3).

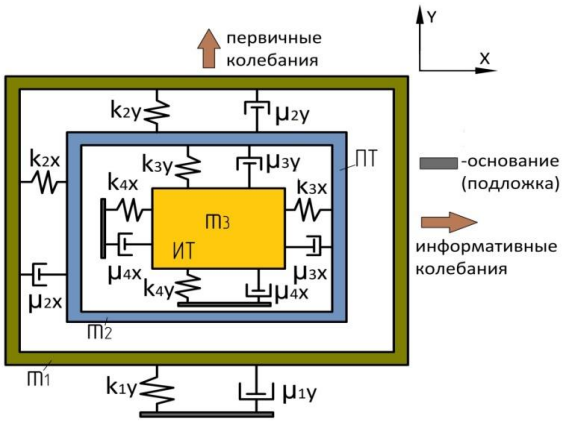


Рис. 2. Эквивалентная схема однокомпонентного Z-сенсора с промежуточным телом

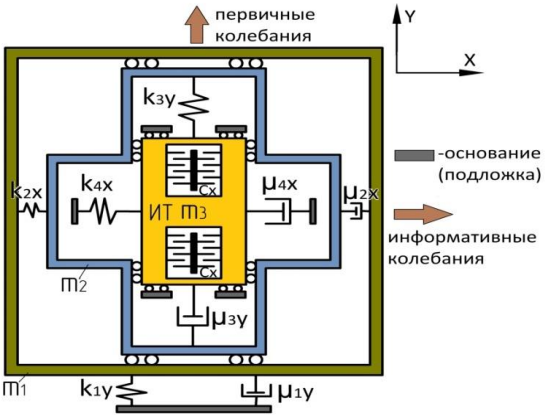


Рис. 3. Упрощённая эквивалентная схема Z-сенсора

В этом случае математическая модель сенсора имеет вид

$$m_y\ddot{y} + \mu_y\dot{y} + k_y y = F_{эл} + m_y a_y,$$
$$m_x\ddot{x} + \mu_x\dot{x} + k_x x = 2m_2\dot{y}\Omega_z - k_{xy}y + m_x a_x, \qquad (1)$$

где введены обозначения: $m_y = m_1 + m_2$; $m_x = m_2 + m_3$; $\mu_y = \mu_{1y} + \mu_{3y}$; $\mu_x = \mu_{4x} + \mu_{2x}$; k_y, k_x – суммарные жёсткости упругих подвесов по осям *X* и *Y*; k_{xy} – перекрёстная жёсткость; $F_{эл} = f_m sin(qt)$ – гармоническая сила вибропривода, возбуждающая гармонические первичные колебания

$$y(t) = y_m \sin(qt + \varphi_0).$$

Амплитуда и фаза первичных колебаний определяется выражениями

$$y_m = \frac{f_m}{m_y\sqrt{\left(\omega_y^2 - q^2\right)^2 + \frac{\omega_y^2 q^2}{Q_y^2}}} \qquad \varphi_0 = arctg\,\frac{\omega_y q}{Q_y\left(\omega_y^2 - q^2\right)}$$

Из решения системы (1) получим, что информативные колебания инерционного тела вдоль оси X имеют вид $x(t) = \frac{m_2 2\Omega_z y_m \omega_y}{m_x\cdot\sqrt{\left(\omega_x^2-\omega_y^2\right)^2+\frac{\omega_y^2\omega_x^2}{Q_x^2}}}\cos\left(\omega_y t + \varepsilon_1\right),$

где ω_x, Q_x – собственная частота и добротность информативного канала; ε_1 - сдиг фаз первичных и информативных колебаний. Механический масштабный коэффициент сенсора

$$k_m = \frac{m_2 2\Omega_z y_m \omega_y}{m_x \cdot \sqrt{\left(\omega_x^2 - \omega_y^2\right)^2 + \frac{\omega_y^2 \omega_x^2}{Q_x^2}}}$$

Перемещение инерционного тела преобразуется в изменение ёмкости C_x, зависящее от величины измеряемой скорости Ω_z.

При наличии ускорения и конечной перекрёстной жёсткости между каналами первичные и вторичные колебания определяются выражениями

$$y(t) = \frac{f_m}{m_y \sqrt{\left(\omega_y^2 - q^2\right)^2 + \frac{\omega_y^2 q^2}{Q_y^2}}} \sin(qt + \varphi_0) + \frac{a_{ym}}{\sqrt{\left(\omega_y^2 - \omega^2\right)^2 + \frac{\omega_y^2 \omega^2}{Q_y^2}}} \sin(\omega t + \varphi)$$

$$x(t) = \frac{m_2 2\Omega_z y_m \omega_y}{m_x \sqrt{\left(\omega_x^2 - \omega_y^2\right)^2 + \frac{\omega_y^2 \omega_x^2}{Q_x^2}}} cos\left(\omega_y t + \varepsilon_1\right) + \frac{a_{xm}}{\sqrt{(\omega_x^2 - \omega^2)^2 + \frac{\omega_x^2 \omega^2}{Q_x^2}}} \sin(\omega t + \varepsilon_2) - \\ - \frac{k_{xy} y_m}{m_x \sqrt{\left(\omega_x^2 - \omega_y^2\right)^2 + \frac{\omega_y^2 \omega_x^2}{Q_x^2}}} sin\left(\omega_y t + \varepsilon_1\right) \quad (2)$$

Первое слагаемое в выражении (2) определяет полезный сигнал, пропорциональный измеряемой скорости, второе и третье слагаемые определяют погрешности гироскопа.

Выводы

Применение дополнительного промежуточного тела позволяет изолировать информативное перемещение сенсорных электродов от первичного движения, что упрощает систему обработки выходной информации и повышает точность измерения угловой скорости объекта

Работа выполнена в Томском политехническом университете при финансовой поддержке Минобрнауки России, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», Соглашение № 14.575.21.0068, уникальный индентификатор соглашения RFMEFI57514X0068.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евстифеев М. И. Основные этапы разработки отечественных микромеханических гироскопов // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 6. С. 75 – 80.
2. Козин С. А. Технологии МЭМС в разработках интегральных датчиков механических параметров // Микросистемная техника. 2003. № 11. С. 10—14.
3. IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 12, NO. 7, JULY 2012. Design of Micromachined Vibratory Gyroscope. With Two Degree-of-Freedom Drive-Mode and Sense-Mode. Wei Wang, , XiaoyongLv, and Feng Sun. Page 2460-2464.
4. JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, VOL. 15, NO. 2, APRIL 2006, Inherently Robust Micromachined Gyroscopes With 2-DOF Sense-Mode Oscillator. CenkAcar, and Andrei M. Shkel.Page 380-387.
5. IEEE SENSORS 2008 Conference. A Highly Double-Decoupled Self-OscillationGyroscope Operating at Atmospheric Pressure .Haitao Ding, Jian Cui, Xuesong Liu, Xiaozhu Chi, ZhenchuanYang andGuizhen Yan. Page 674-677.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ 3D ФОРМЫ СЕРДЦА ПО ТОМОГРАФИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Зуева Д.Ю., Ковешникова А.А.
Научные руководители: Наталинова Н.М., к.т.н.; Казаков В.Ю., к.ф.-м.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dashulyazueva@mail.ru

SURFACE RECONSTRACTION OF 3D HEART SHAPE BY TOMOGRAPHIC IMAGES

Zueva D.Ju., Koveshnikova A.A.
Scientific Supervisor: Dr. Natalinova N.M., Dr. Kazakov V.Ju.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: dashulyazueva@mail.ru

Важнейшей задачей электрокардиологии является диагностика состояний и заболеваний сердечно-сосудистой системы. Проблема диагностики сердечно-сосудистой системы заключается в сложном, многоуровневом механизме её функционирования, поэтому установление правильного диагноза порой оказывается возможным только опытным специалистам. Применение виртуальной модели сердца является наглядным представлением состояния сердечно-сосудистой системы и дает возможность врачу-диагносту возможность сопоставлять изменения ЭКГ, в частности, на уровне мкВ, с повреждениями миокарда на реалистичном трехмерном изображении сердца. Поэтому возникает необходимость получения наглядного реалистичного трехмерного изображения сердца пациента для дальнейшего проведения исследования электродинамической активности сердца с помощью метода конечных элементов [1].

Целью данной работы является определение по серии двумерных снимков, полученных методом компьютерной томографии геометрических параметров сердца пациента и синтез реалистичного трехмерного изображения сердца пациента, таким образом, получение и дальнейшая обработка данных медицинских изображений является важным первым шагом для дальнейшего исследования электродинамической активности сердца. Алгоритм получения 3Д модели сердца представлен на рисунке 1.

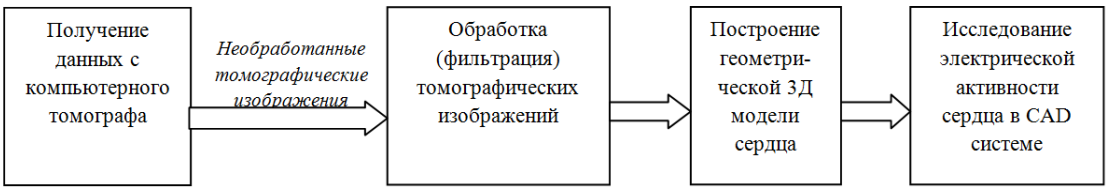


Рис. 1. Преобразование данных медицинских изображений

Исходная информация, полученная при проведении КТ, является последовательностью двумерных цифровых изображений. Каждый элемент изображения является функцией рентгенологической плотности объекта исследования в соответствующей точке q (x, y, z), представленной в градациях шкалы серого цвета. Эти изображения сохраняются и передаются в виде серии файлов формата DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Томографические срезы имеют равную толщину и одинаковое количество пикселей на каждый срез. После их упорядочения в диагностическом программном обеспечении (томографическая реконструкция) создается объемный блок, представленный регулярной сеткой вокселей, который характеризуется разной интенсивностью поглощения и отражают структуру объекта исследования в объемном виде. На рисунке 2 приведена серия двумерных снимков пациента, полученных с помощью компьютерной томографии. Для графического представления отдельных анатомических структур в виде виртуальных трехмерных объектов применяют технику объемного (3D) рендеринга. Для

этого оператор определяет пороговые значения рентгенологической плотности (например, те, что соответствуют плотности костной ткани).

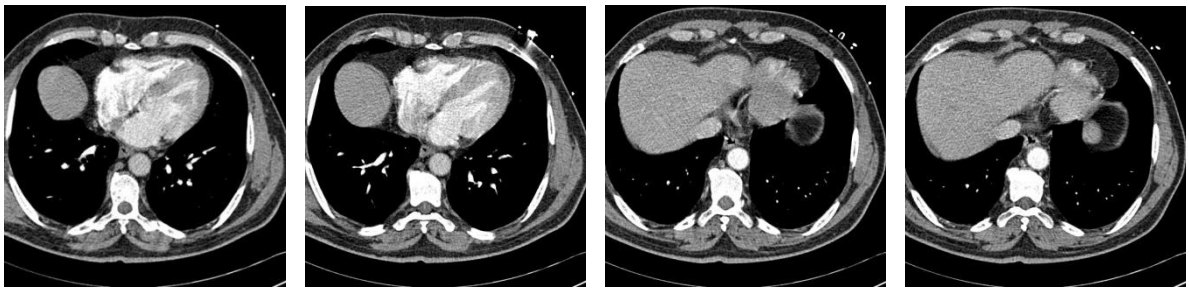


Рис. 2. Серия двумерных снимков сердца пациента, полученных с помощью компьютерной томографии.

После этого проводится построение трехмерной модели, соответствующей заданному диапазону рентгенологической плотности в программном пакете 3D Slicer (распространяется бесплатно). Для понимания особенностей построения трехмерных изображений рассмотрим алгоритм, применяемый в программном комплексе 3D Slicer. Изменяя пороговые значения рентгенологической плотности и методы графической обработки изображения, можно создать сложные, многокомпонентные модели, состоящие из отдельных элементов, которые соответствуют костям, мышцам, дыхательным путям, сосудам и тому подобное. Некоторые модели выделяют разным цветом и изменяют их прозрачность для получения максимально наглядного и простого для восприятия изображения объекта исследования. На рисунке 3 представлены 3D реконструкции серии двумерных снимков торса пациента, полученных с помощью компьютерной томографии: костная модель, мягкотканная модель, объемная модель дыхательных путей.

Программный комплекс 3D Slicer содержит широкую панель инструментов для редактирования модели как на этапе создания маски сегментации, так и непосредственно в режиме 3D. Существует дополнительная возможность сглаживания поверхности, заполнения пустот, а также аппарат булевых операций, что позволяет объединять маски, отделять одну маску от другой и определять участки пересечения различных объектов. При этом правильное определение границ объекта исследования и создание высокоточной виртуальной трехмерной модели требует точного знания особенностей его нормальной и патологической анатомии, топографических соотношений различных анатомических структур и особенностей представления их изображений на томограмме, особенностей проведения исследования с учетом типа томографа, применяемого причин возникновения артефактов и недостатков томографического изображения. Современные CAD-программы для работы с томографическими изображениями имеют большой набор инструментов для лучшей визуализации трехмерного изображения в зависимости от задач исследования: модель можно перемещать и вращать, рассматривать ее пересечения в разных плоскостях, увеличивать или уменьшать отдельные участки, изменять прозрачность модели и ее окраску. Важным преимуществом современных программных комплексов является возможность обмена данными с другими CAD/CAM/CAE-системами, в основе которого – импорт/экспорт 3D-моделей из одной программы в другую. Проблема совместимости с инженерными программами CAD/CAE решена в программном комплексе 3D Slicer, что позволяет импортировать STL-файлы и хранить или экспортировать модели в форматах, совместимых с большинством программных компонентов автоматизированного проектирования, в частности, для дальнейшего исследования электродинамической активности сердца пациента методом конечных элементов [2].

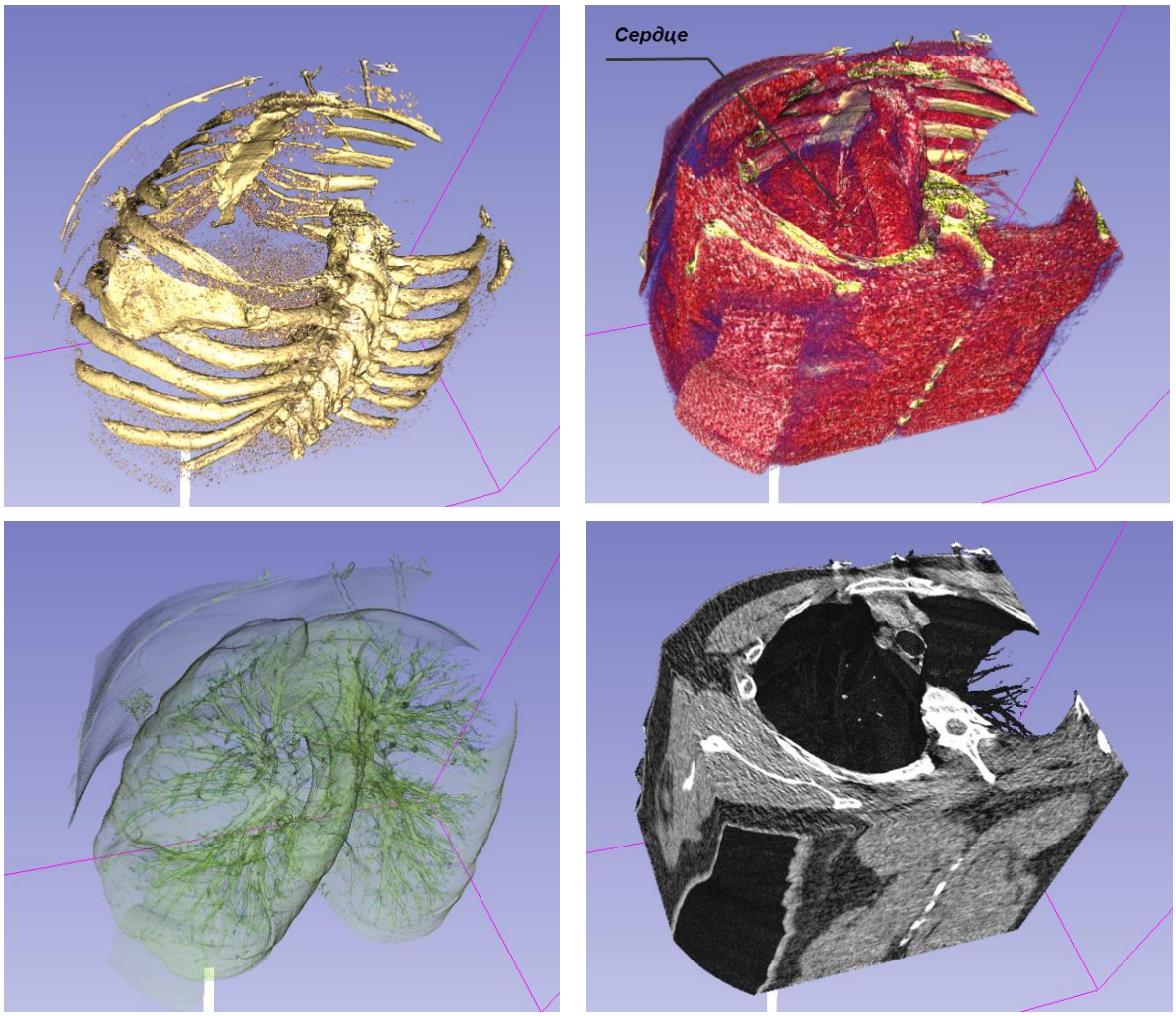


Рис. 3. Трехмерная реконструкция по данным компьютерной томографии: модель костной ткани, модель сердечной ткани, объемная модель дыхательных путей и модель мягких тканей.

Важное значение в процессе создания виртуальных 3D-моделей имеет предварительная оценка качества томографических изображений, выявление имеющихся артефактов и их устранение в процессе обработки графического изображения. Качество полученной модели будет, таким образом, определяться качеством входных данных, разрешением томографа, толщиной одного томографического среза, точностью определения границ объекта в процессе сегментации, особенностями обработки модели в программном обеспечении для работы с медицинскими изображениями. Хотя компьютерная томография является высокоточным методом медицинского исследования, в ходе ее проведения могут возникать различные артефакты, которые существенно повлияют на качество полученной 3D-модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бодин О.Н., Кузьмин А.В., Митрошин А.Н. // Разработка визуальной модели сердца для обучения студентов-медиков Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2007. – № 2. – С. 3-10.

2. Sovilj, S., Magjarevic, R., Lovell, N., Dokos, S. Realistic 3D bidomain model of whole heart electrical activity and ECG generation // Computing in Cardiology. – 2013. – Vol. 40. – pp. 377–380.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ

Ли Линь[1], Губарев Ф.А.[1,2], Кленовский М.С.[1,3]

Научный руководитель: Губарев Ф.А., доцент, к.ф.-м.н.

[1] Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

[2] Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1, 634021

[3] Институт электронной физики НАН Украины, Украина, г. Ужгород, ул. Университетская, 21, 88017

E-mail: wojiaolilin@mail.ru

INVESTIGATION OF RADIATION PROFILE OF A LASER MONITOR BASED ON COPPER BROMIDE VAPOR

Li Lin[1], Gubarev F.A.[1,2], Klenovskii M.S.[1,3]

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Dr. Gubarev F.A.

[1] National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050

[2] V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,

Russia, Tomsk, Academician Zuev square, 1, 634021

[3] Institute of Electron Physics, National Academy of Sciences of Ukraine,

Ukraine, Uzhgorod, Universiteskaya St., 21, 88017

E-mail: wojiaolilin@mail.ru

В работе приводятся результаты исследования профиля излучения активного элемента лазера на парах бромида меди, применяемого в качестве усилителя яркости в лазерном мониторе. Получены профили усиленного за один проход излучения на лазерных переходах $4p^2P^0_{3/2} \to 4p^{2\,2}D_{5/2}$ *и* $4p^2P^0_{1/2} \to 4p^{2\,2}D_{3/2}$ *атома меди.*

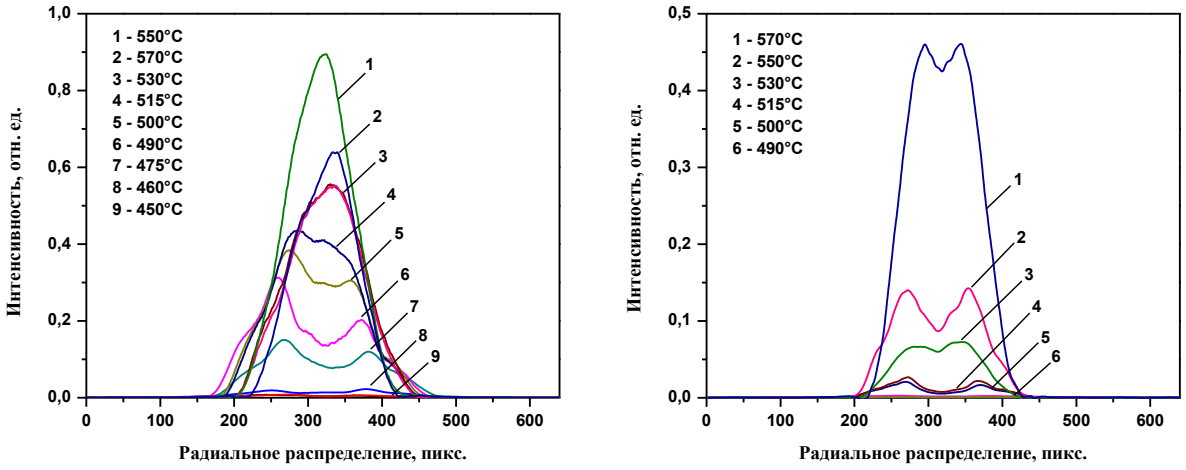
Лазерный монитор на основе усилителя яркости на парах металла является одним из уникальных инструментов, позволяющих визуализировать объекты, экранированные мощным тепловым излучением [1, 2]. Примерами таких объектов могут быть структуры, образующиеся при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе или воздействии мощным потоком энергии на поверхность вещества. Формирование этих структур сопровождается выделением большого количества лучистой энергии, а потому недоступно для наблюдения обычными визуальными способами.

Качество изображений, получаемых лазерным монитором, во многом определяется оптическими характеристиками усилителя яркости. Для получения изображений высокого качества необходимо, чтобы профиль усиления был радиально равномерным. Именно изучению данного вопроса и посвящена представляемая исследовательская работа.

В работе исследовался активный элемент лазера на парах бромида меди (усилитель яркости), идентичный применяемому в [2, 3]. Профили однопроходового излучения на отдельных лазерных переходах $4p^2P^0_{3/2} \to 4p^{2\,2}D_{5/2}$ и $4p^2P^0_{1/2} \to 4p^{2\,2}D_{3/2}$ атома меди регистрировались посредством применения

интерференционных оптических фильтров. В остальном техника и методика эксперимента идентичны применяемым в работе [3].

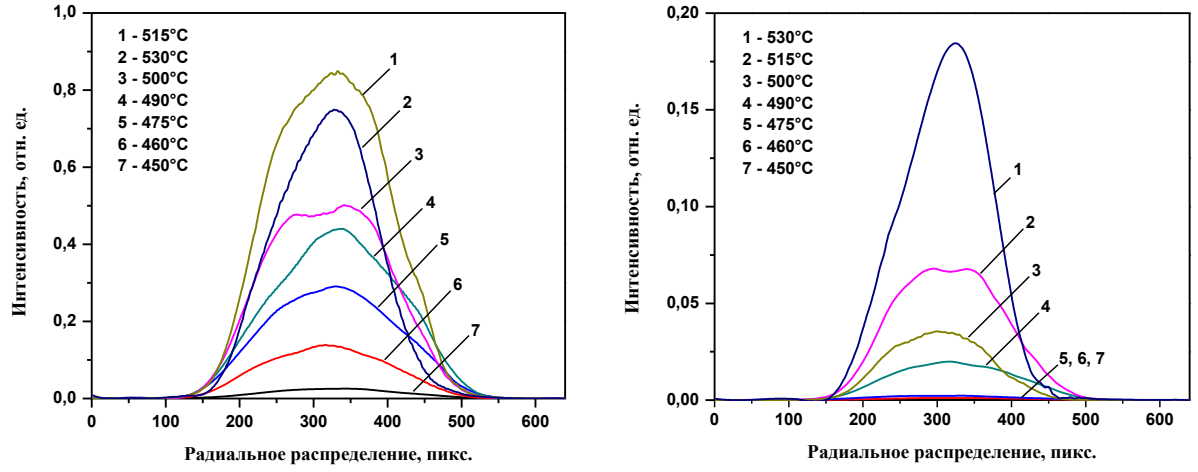
На рис. 1 приведены профили однопроходового излучения зеленого и желтого лазерных переходов атома меди при различном содержании в активной среде паров бромида меди (различной температуре нагрева контейнеров с порошком CuBr). Можно заметить, что профили однопроходового излучения на обоих лазерных переходах характеризуются наличием провала интенсивности на оси пучка. Подобные провалы приводят к искажениям передачи яркости изображений, получаемых лазерным монитором. Хотя при повышении концентрации паров CuBr провал интенсивности излучения на зеленом лазерном переходе исчезает, при этом попутно происходит сужение пучка излучения. Данный режим работы лазерного монитора является нежелательным, т.к. может приводить к существенному снижению контраста изображений, получаемых лазерным монитором. Следует также отметить, что в используемом активном элементе для приведенных условий усиление на лазерном переходе $4p^2P^0_{3/2} \rightarrow 4p^{2\,2}D_{5/2}$ преобладает над усилением на $4p^2P^0_{3/2} \rightarrow 4p^{2\,2}D_{5/2}$ переходе атома меди.



а) *б*)

Рис. 1. Профили усиленного за один проход излучения лазерных переходов $4p^2P^0_{3/2} \rightarrow 4p^{2\,2}D_{5/2}$ *(а) и* $4p^2P^0_{1/2} \rightarrow 4p^{2\,2}D_{3/2}$ *(б) атома меди при различной температуре контейнеров с порошком CuBr.*

На рис. 2 приведены профили однопроходового излучения зеленого и желтого лазерных переходов атома меди при введении в активную среду активной примеси HBr, парциальным давлением ~0,2 Тор. При наличии добавки активной примеси HBr провал усиления на оси газоразрядной трубки, как для зеленого, так и для желтого лазерных переходов атома меди не наблюдается. При температуре контейнера с порошком CuBr равной 500 и 515°C на профиле однопроходового излучения наблюдалось плато на зеленой или желтой линии (рис. 2). Данные условия можно выделить как наиболее благоприятные для получения качественных изображений лазерным монитором.



а) *б*)

Рис. 2. Зависимость профилей усиленного за один проход излучения лазерных переходов $4p^2P^0_{3/2} \rightarrow 4p^{2\,2}D_{5/2}$ *(а) и* $4p^2P^0_{1/2} \rightarrow 4p^{2\,2}D_{3/2}$ *(б) атома меди от температуры контейнера с порошком CuBr при наличии добавки активной примеси HBr (~0,2 Тор).*

Следует также отметить, что при наличии добавки активной примеси HBr разница усиления на зеленом и желтом переходах становится еще более заметной, нежели в случае ее отсутствия (рис. 1). Видно, что интенсивность однопроходового излучения на лазерном переходе $4p^2P^0_{1/2} \rightarrow 4p^{2\,2}D_{3/2}$ практически на порядок ниже, нежели на переходе $4p^2P^0_{3/2} \rightarrow 4p^{2\,2}D_{5/2}$ атома меди.

Помимо ряда преимуществ, таких как увеличение мощности генерации, увеличение ЧСИ, устранения провала усиления на оси ГРТ, применение добавки активной примеси HBr является целесообразным также и с той точки зрения, что увеличивает разницу усиления между зеленым и желтым лазерными переходами. Это сопутствует улучшению качества изображений, получаемых лазерным монитором, и не требует дополнительного использования светофильтров, часто применяемых для отделения изображения, получаемого на одном из лазерных переходов. Отметим, что регистрация изображения, полученного на каком-то одном переходе, обеспечивает более качественные изображения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абрамов Д.В., Галкин А.Ф., Жарёнова С.В., Климовский И.И., Прокошев В.Г., Шаманская Е.Л. Визуализация с помощью лазерного монитора взаимодействия лазерного излучения с поверхностью стекло- и пироуглерода // Известия ТПУ. – 2008. – Т. 312. – № 2. – С. 97–101.

2. Evtushenko G.S., Trigub M.V., Gubarev F.A., Evtushenko T.G., Torgaev S.N., Shiyanov D.V. Laser monitor for non-destructive testing of materials and processes shielded by intensive background lighting // Review of Scientific Instruments. – 2014. – Vol. 85. – P. 033111-1–033111-5.

3. Gubarev F.A., Klenovskii M.S., Lin Li. Radial distribution of a single-pass amplified radiation in the active elements of CuBr lasers // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 81. – P. 012116-1–012116-7.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СЛУХОВОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Литвинова С.А., Аристов А.А.

Научный руководитель: Аристов А.А., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия , г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: litvinova-svetlana@list.ru

THE EVOKED-POTENTIALS-BASED DEVICE FOR THE SENSE OF HEARINGDIAGNOSIS

Litvinova S.A., Aristov A.A.

Scientific Supervisor: Aristov A.A.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: litvinova-svetlana@list.ru

Abstract

The device relates to medical equipment in Otorhinolaryngology. Its function is to determine the threshold of sound perception and of a patient 's profound hearing loss. The method consists in the registration of evoked potentials stimulated by sound signals with various intensity and frequency. The device becomes portable and facile due to miniaturisation. The ability to process data with handheld mobile devices will eliminate the need of bulky PCs. The technical result of the method ensures an increase in the accuracy of the patient's threshold sensitivity determination at harmonic frequencies within the acoustic range of human perception. The method enables to reduce the total time of hearing loss diagnosis.

В зарубежных, а также в российских источниках отмечают, что процент населения, страдающего снижением слуха возрос до 10%, хотя в 2000-х годах он достигал всего 4%. .По данным ВОЗ к 2020 году нарушение слуха будут иметь уже 30% всей популяции. В России 13 млн. слабослышащих (2006 г.), среди которых увеличилось количество лиц молодого и трудоспособного возраста. Также по статистическим данным известно, что 14% лиц в возрасте от 45 до 64 лет и у 30% старше 65 лет имеются проблемы слухового аппарата [1]. Это приводит к потребности разработки достаточно простого и высокоточного аппарата для диагностики тугоухости.

Острота слуха, как известно, определяется порогом восприятия звука. Данный анализ слухового аппарата носит название – аудиометрия[2]. Существуют множество методов аудиометрии. Самым простым и доступным является исследования слуха речью. Для этого применяют шепотную и громкую речь. Считается, что при нормальном слухе шепотная речь воспринимается на расстоянии 6-7 м, в условиях относительной тишины, а при полной тишине на расстоянии 20-25м. Данный способ позволяет исследовать слухового ананализатора но является не объективным по дозировке звука и по оценке результатов. Недостатком данного способа является его низкая точность, связанная с отсутствием точных количественных значений подаваемых пациенту звуковых сигналов, недостаточно точной установки момента перехода уровня звуковых сигналов через порог чувствительности, а также с невозможностью определения дифференциальных порогов чувствительности на различных частотах. Также исследования слуха проводят при помощи камертонов, настроенных на тон «до», в разных октавах. Но данный метод так же имеет неточности в плане оценки результатов.

Существуют технические устройства дляопределения остроты слуха, такие как аудиометры (рис. 1). Способ работы заключается в формировании гармонических сигналов определенной частоты с помощью задающего генератора, задание калиброванных уровней гармонических сигналов с пошаговым изменением уровня с помощью управляемого аттенюатора, изменение частоты гармонических сигналов в пределах слышимости человека с помощью перестраиваемого генератора. Пациент сообщает о достижении порога слышимости, далее осуществляется фиксация количественного значения уровня порога чувствительности с помощью блока регистрации. Недостатком этого способа является невозможность дифференциальной диагностики патологий слухового восприятия при различной интенсивности звука в широком диапазоне частот, недостаточная достоверность количественных оценок уровня слухового восприятия человека.



Рис.1. Скрининговый аудиометр с измерением порогов слуха ST 20 (*MAICO DiagnosticGmbH, Германия)*

Ограниченное применение поведенческих тестов (тональная пороговая аудиометрия, речевая аудиометрия) в раннем возрасте показывает необходимость использования объективных методов диагностики, которые не требуют активного участия исследуемого. Одной из объективных методик является регистрация вызванных потенциалов при восприятии звуковых сигналов различной частоты и силы. Данная методика дает возможность дифференциальной диагностики патологий слухового восприятия во всем звуковом диапазоне и повышает точность получаемых количественных значений уровня слухового восприятия человека. Перспективным в данном отношении является метод регистрации вызванных ответов на постоянный амплитудно- и/или частотно-модулированный тон. Такие потенциалы получили название стационарных вызванных потенциалов, или ответами, вызванными амплитудной модуляцией. На сегодняшний день уже существует множество технических комплексов основанных на этом методе.

Аналогом предлагаемой разработки является устройство, основанное на способе оценки слуховой функции по данным регистрации коротколатентных слуховых вызванных потенциалов (КСВП) [3]. Регистрирующие электроды располагаются по средней линии лба на границе роста волос, активный электрод на сосцевидном отростке, в области лба также располагают электрод заземления. Стандартная методика представляет собой регистрацию коротколатентного слухового вызванного потенциала частотой предъявления стимулов от 11 до 21 в секунду. Нижняя граница полосы пропускания усилителя 100 - 300 Гц, а верхняя граница - от 2 - 3 кГц, окно анализа - 10-15 мс. При выявлении вызванных потенциалов используют от 2000 до 4000 усреднений [4].

В современных приборах для регистрации КСВП присутствуют различные типы стимулов для регистрации (узко и широкополосные щелчки, тональные посылки, модулированные стимулы). В большинстве случаев используется стандартная методика регистрации КСВП на широкополосные щелчки. В качестве стимулов при регистрации коротколатентных слуховых вызванных потенциалов используют короткие акустические щелчки переменной полярности, однако не исключено также применение очень коротких тональных посылок или фильтрованных щелчков. Во время тестирования через наушники подаются щелчки или тональные сигналы. Для исследования слуховых вызванных потенциалов применяют головные телефоны для аудиометрии (TDH-39 или HDA-280) или внутриушные (insertphones) телефоны (ER-3A или ER-5A), которые выглядят как мягкие поролоновые вкладыши, по центру вкладыша проходит звуковод, через который подается сигнал (щелчок или тональная посылка).

Несмотря на несомненные достоинства метода регистрации коротколатентных слуховых вызванных потенциалов, он имеет и определенные ограничения. Использование в качестве стимула акустического щелчка, не обеспечивает в полном объеме информацию о частотной специфичности снижения слуха. Существенный недостаток заключается в невозможности оценить слух в низкочастотном диапазоне. К тому же подобные аппаратные комплексы громоздки, в большинстве своем стационарны и дорогостоящи. А время, затрачиваемое на подобную диагностику, занимает часы [5-6].

Нашей целью является разработка портативного, высокоточного аппарата для диагностики остроты слуха в широком диапазоне частот при различном уровне интенсивности 10дБ,20 дБ, 40 дБ, 60 дБ, 80 дБ, 90 дБ, 100 дБ. Предлагаемый аппарат может быть использован при обследовании детей раннего возраста для выявления и определения степени тугоухости, а также выявления глухоты. Способ позволит объективно оценить степень снижения слуха и своевременно назначить соответствующую терапию и электроакустическую коррекцию слуха.

Для разработки подобного устройства существует необходимость в проведении исследования по определению наиболее пригодных точек для наложения электродов, разработка конструкции, имеющей минимальные масса-габаритные параметры, а также оценка влияния формы модулированного сигнала на регистрируемые потенциалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент РФ № 2261655. Способ диагностики слухового восприятия человека. Страхов А.Ф., Белокрылов В.Д. Аль-Шаер В.М. МПК[7] A61B 5/12. Заявка № 2003137738/14. Опубликовано 10.10.2005.
2. Медицинская энциклопедия. Аудиометрия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.medical-enc.ru/1/audiometry.shtml.-12.05.15.
3. Альтман Я.А., Таварткиладзе Г.А. Руководство по аудиологии. – М.: ДМК Пресс, 2003. - 360 с
4. Вызванные потенциалы. Слуховые вызванные потенциалы.[Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://www.nevromed.ru/diagnostica/ep/aep.-12.05.15.
5. Левин С.В. Использование слуховых вызванных потенциалов в современныхаудиологических исследованиях: Автореф. дис. - С.-Петербург, 2009. - 21 с.
6. Патент РФ № 2481788. Способ проведения исследования для оценки слуховой функции у детей раннего возраста. Савельева Е.Е. МПК[8] A61B 5/12. Заявка № 2012108382/14. Опубликовано 20.05.2013.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СКОРОСТИ «ВИЗИР»

Ломакина А.А.

Научный руководитель: Казаков В.Ю., доцент, к.ф.м.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: nastya_1711@bk.ru

RESEARCH METROLOGICAL RELIABILITY SPEED MEASURING «VIZIER»

Lomakina A.A.

Scientific Supervisor: PhD., Kazakov V.Yu.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: nastya_1711@bk.ru

Abstract. *In this paper we have been selected experimental methods for estimating the reliability. The object of the study was the rate meter radar video "Vizir."*

Аннотация. *В данной работе был выбран экспериментальный метод оценки показателей надежности. Объектом исследования являлся измеритель скорости радиолокационный видеозаписывающий «Визир».*

Введение

В настоящее время обстановка на дорогах и автомагистралях требует постоянного наблюдения. Основными средствами контроля скоростного режима являются радиолокационные приборы. В связи с этим актуальной является проблема обеспечения единства измерений в области измерения скорости средств измерений и их метрологическая надежность. Надежность средств измерений характеризует его поведение с течением времени, включающим в себя стабильность, безотказность, долговечность, ремонтопригодность (для восстанавливаемых средств измерений) и сохраняемость.

Целью работы является исследование метрологогической надежности измерителей скорости «Визир». На предприятии имеется парк приборов измерителей скорости, за которыми ведется наблюдение и собираются статистические данные.

Измеритель скорости радиолокационный видеозаписывающий «Визир», предназначен для измерения скорости движения транспортных средств, видеозаписи факта нарушения правил дорожного движения, визуального отображения на экране монитора, обработки, сохранения и воспроизведения видеозаписей. Измеритель скорости предназначен для контроля скоростного режима движения транспортных средств. Внешний вид измерителя скорости «Визир» представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Измеритель скорости «Визир»

Показатели надежности измерителя скорости

Для измерителей скорости движения в соответствии с [1] установлена следующая номенклатура показателей надежности:

- значение наработки на отказ (T_0);
- гамма – процентный ресурс (γ);
- среднее время восстановления (T_Θ);
- гамма процентный срок сохраняемости (γ);
- межповерочный интервал;
- значение вероятности отсутствия скрытых отказов за межповерочный интервал ($P\tau$).

Произведем оценку каждого показателя надежности, учитывая статистические данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Статистические данные

Число измерителей скорости, работоспособных в начальный момент времени	Число измерителей скорости, отказавших в течении времени t	Суммарная наработка, ч	Математическое ожидание числа отказов	Вероятность безотказной работы	Среднее время восстановления, ч
56	5	8760	0,108	0,91	336

Значение наработки на отказ – технический параметр, характеризующий надежность восстанавливаемого прибора, устройства или технической системы [2], определяется по формуле:

$$T_0 = \frac{t}{M(r(t))} = \frac{8760}{0{,}108} = 81111{,}11 \text{ ч},$$

где t - суммарная наработка; г (t) - число отказов, наступивших в течение этой наработки; M(г(t))- математическое ожидание этого числа.

Среднее время восстановления – показатель надёжности изделий, характеризующий среднее время, затрачиваемое на восстановление работоспособности изделия после отказа [2].

Гамма – процентный ресурс – наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью, выраженной в процентах [2], определяется по формуле:

$$P(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100}, \qquad (1)$$

где $P(t_\gamma)$-вероятность безотказной работы

В среднем из 56 измерителей скорости типа около 91% проработают более 744 ч. Вероятность $P(t_\gamma)$ изменяется от нуля до единицы. Чем она ближе к единице, тем выше безотказность работы измерителей скорости. На практике допустимым считается значение $P(t_\gamma) > 0{,}9$.

Следовательно, подставив вероятность безотказной работы в формулу (1) получим:

$$\gamma = P(t_\gamma) \cdot 100 = 91\ \%,$$

Наработка измерителей скорости составляет 91 %, в течение, которого объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью безотказной работы 0,91. При γ = 91 % гамма – процентный ресурс называют установленным безотказным ресурсом.

Гамма – процентный срок сохраняемости - срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью, выраженной в процентах [2]. Гамма – процентный срок службы – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта, в течение которой он не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью, выраженной в процентах [2]. Определяются по формуле:

$$F(t_\gamma) = 1 - \frac{\gamma}{100},$$

где $F(t_\gamma)$ – функция распределения наработки до отказа (ресурса, срока службы).

Межповерочный интервал – интервал времени, указанный в документе по поверке, в течение которого СИ должно удовлетворять установленным требованиям [2]. В соответствии с паспортом на прибор, поверка осуществляется 1 раз в 24 мес.

Значение вероятности отсутствия скрытых отказов за межповерочный интервал для всех показателей надежности составляет 0,9. Критерием отказа является выход значений параметров измерителя скорости за допустимые пределы.

Для оценки показателей надежности был выбран экспериментальный метод, использующий статистические данные о работе измерителей скорости движения «Визир» за весь период эксплуатации, как это рекомендовано в разделе 3.6 руководящего документа [3]. Однако, для экспериментального метода не хватает собранных статистических данных для оценки всех показателей надежности, а именно функции распределения наработки до отказа. Следовательно, нужно изменить план отчетности предоставления информации на предприятии, чтобы в процессе эксплуатации можно было оценить показатели надежности с целью обеспечения единства измерений и их метрологической надежности.

Заключение

В работе был выбран экспериментальный метод оценки показателей надежности. Обработка полученной информации о приборах привела к выводу, что для оценки показателей надежности измерителей скорости не хватает данных, что привело к выводу об изменении плана отчетности предоставления информации на предприятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 ГОСТ Р 50856 – 96. «Измерители скорости движения транспортных средств радиолокационные». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://ezproxy.ha.tpu.ru:2065/docs/. – 25.04.2015

2 ГОСТ 27.002 - 89. «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://ezproxy.ha.tpu.ru:2065/docs/. – 28.04.2015

3 ГОСТ 27.410 - 87. «Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://ezproxy.ha.tpu.ru:2065/docs/. – 01.05.2015

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ГЕПАТОТРОПНЫХ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫХ КОНТРАСТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Михайлова К.К., Нам И.Ф., Жук В.В.,
Научный руководитель: Нам И. Ф., к. т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
kkm2@tpu.ru

Современные подходы к созданию гепатотропных магнитно-резонансных контрастных препаратов

Диагностика и дифференциальная диагностика очаговых поражений печени представляется актуальной проблемой современной медицины. В настоящее время различные новообразования печени выявляются в 3% ультразвуковых исследований, выполненных в качестве скрининга, и встречаются в 20-51% случаев аутопсий. При этом чувствительность диагностических методов колеблется от 20 до 95% в зависимости от применяемых методик и размеров выявляемых очагов. Важным является не только обнаружение очаговых изменений печени, но и их тканевая дифференциация, определение стадийности, степени вовлечения сосудов, васкуляризации опухолей, поскольку от этих параметров зависит решение вопроса об оптимальной тактике лечения пациента. Печень является органом-мишенью при метастатическом поражении. Наиболее часто наблюдаются метастазы колоректального рака, молочной железы, легкого и желудка от которых погибает около 20% пациентов [1].

Для обнаружения и дифференциальной диагностики очаговых изменений печени наиболее информативным считается магнитно-резонансная томография (МРТ), выполненная в условиях динамического контрастирования [2]. Магнитно-резонансное контрастное средство (МРКС) увеличивает чувствительность, специфичность и диагностическую эффективность метода, способствуя не только идентификации патологического процесса, но и более точному определению характеристик очагового образования печени. Основными направлениями применения МРТ с контрастными средствами являются выявление метастазов и первичных злокачественных новообразований печени, которые имеют артериальный тип кровоснабжения и наиболее эффективно диагностируются в артериальную фазу контрастного усиления, либо в портальную фазу, когда образование становится гипоинтенсивным по отношению к гиперинтенсивной паренхиме печени[3].

В тоже время, известно, что целый ряд злокачественных образований имеет однотипные характеристики сигнала при контрастном усилении и дифференцировать их между собой сложно. В связи с этим гиперваскулярные образования, выявляемые в артериальную фазу контрастного усиления, могут оказаться как злокачественными, требующими решения вопроса о хирургическом лечении, так и доброкачественными, при которых возможно динамическое наблюдение и отказ от инвазивного вмешательства.

Применение гепатотропного МРКС позволяет:

— существенно повысить качество диагностического изображения печени;
— дифференцировать доброкачественные и злокачественные новообразования печени;
— избежать повторных уточняющих исследований;

— сократить время обследования пациента и, тем самым, минимизировать количество артефактов, связанных с дыханием и сокращением сердца.

В связи с изложенным, целью настоящего исследования явилось: в эксперименте изучить возможности использования отечественного гепатотропного контрастного средства на основе гадолиния для магнитно-резонансной диагностики злокачественных новообразований.

Материалы и методы

На разной стадии разработки в настоящее время находятся более 20-ти МРКС для визуализации печени. Из всех существующих МРКС в качестве действующего вещества используется: гадолиний - в 40%; Fe - в 40%; Mn и Cr - в 20%.

Полностью прошли все необходимые испытания и присутствуют на рынке 4 лекарственных средства – «Резовист», «Эндорем», «Примовист», «Тесласкан». Из них в России зарегистрирован только «Примовист» (Регистрационный номер: ЛСР-003252).

В России единственный (разрешенный к клиническому применению) гепатоспецифический контрастный препарат «Примовист» (динатриевая соль гадоксетовой кислоты — Gd-EOB-DTPA). Благодаря наличию в составе действующего вещества данного препарата особой функциональной группы (этоксибензильной) - он селективно захватывается поверхностными рецепторами интактных гепатоцитов и таким образом накапливается здоровой тканью печени [4].

Появление в клинической практике новых отечественных гепатотропных контрастных препаратов повысит качество диагностики очаговых поражений печени, а, следовательно, улучшит результаты лечения этой патологии.

В настоящее время разработаны опытные образцы гепатотропного контрастного средства, состоящей из субстанции МКРС на основе гадолиния, инкапсулированной в микросферы из биоразлагаемого полимера.

Разрабатываемый лиофилизат для приготовления ГЛФ МРКС получают методом двойной эмульсии (w/o/w). Оболочка микросферы формируется из биоразлагаемых полимеров (полилактидов или полилактидгликолидов). Внутренний объем микросферы заполнен гель-образующим полисахаридом, содержащим хелатный комплекс на основе гадолиния.

Гепатотропное МРКС представляет собой смешанные с физиологическим раствором лиофилизированные микросферы, содержащие хелатный комплекс на основе гадолиния, диаметром от 1 до 3 мкм. ГЛФ вводят пациенту внутривенно перед выполнением МРТ.

Накопление инновационного МРКС в клетках печени, обуславливающее гепатотропность, базируется на фагоцитозе малых частиц клетками ретикуло-эндотелиальной системы [4]. Основные усилия в этом направлении сосредоточены на создание МРКС с частичной селективностью к Купферовским клеткам печени и селезенки, чтобы избежать распределения разрабатываемого МРКС во внеклеточном пространстве и уменьшить дозу, необходимую для измерения МРТ-сигналов печени и селезенке. Нормальные ретикулоэндотелиальные макрофаги фагоцируют частицы, а в канцерогенной ткани фагоцитоз отсутствует, тем самым достигается селективное изменение МР-сигнала неопластической ткани. На долю лимфатических узлов и костного мозга приходится менее 10% фагоцитирующих клеток, в то время как 80% этих клеток находится в печени и 10% в селезенке. Эффективный метод получения гепатотропых

МРКС связан с инкапсуляцией субстанции МРКС, в микросферы из биоразлагаемого полимера. Размер микросфер из биоразлагаемого полимера должен быть определенного размера (1-3 мкм) для свободной циркуляции в просвете сосудов всех уровней и прохождения легочно-капиллярного барьера, а так же не вызывать окклюзию сосудов. Выведение лекарственного средства осуществляется преимущественно почками путем клубочковой фильтрации после разрушения биоразлагаемого полимера в Купферовских клетках и выхода из них гадолиний-содержащей субстанции.

К настоящему времени в лабораторных условиях получены экспериментальные образцы лиофилизата гепатотропного МРКС на основе гадолиния, проведена предварительная оценка распределения препарата в организме лабораторных животных, которая показала интенсивное накопление МРКС в органе-мишени.

Исследования проводились на лабораторных животных– крысы линии «Вистар», пол. муж., массой 250±47гр. После введения гепатотропное МРКС распределяется в кровеносном русле.

Исследование выполнялось спустя 15 - 20 минут после введения парамагнетика в терапевтической дозе. В целях обеспечения полной неподвижности на протяжении всего исследования экспериментальные животные наркотизировались путем внутримышечной инфузии 5% раствора кетамина. В момент томографии животные помещались в гибкой катушке в центре магнитного поля томографа головой вперед в положении на спине так, что в поле зрения окажется все тело. На рисунке приведены МР-томограммы интактных животных через 20 минут после введения препарата. Слева направо: Примовист®, нативное состояние, предлагаемая композиция. Видно интенсивное накопление препарата в области печени [1].

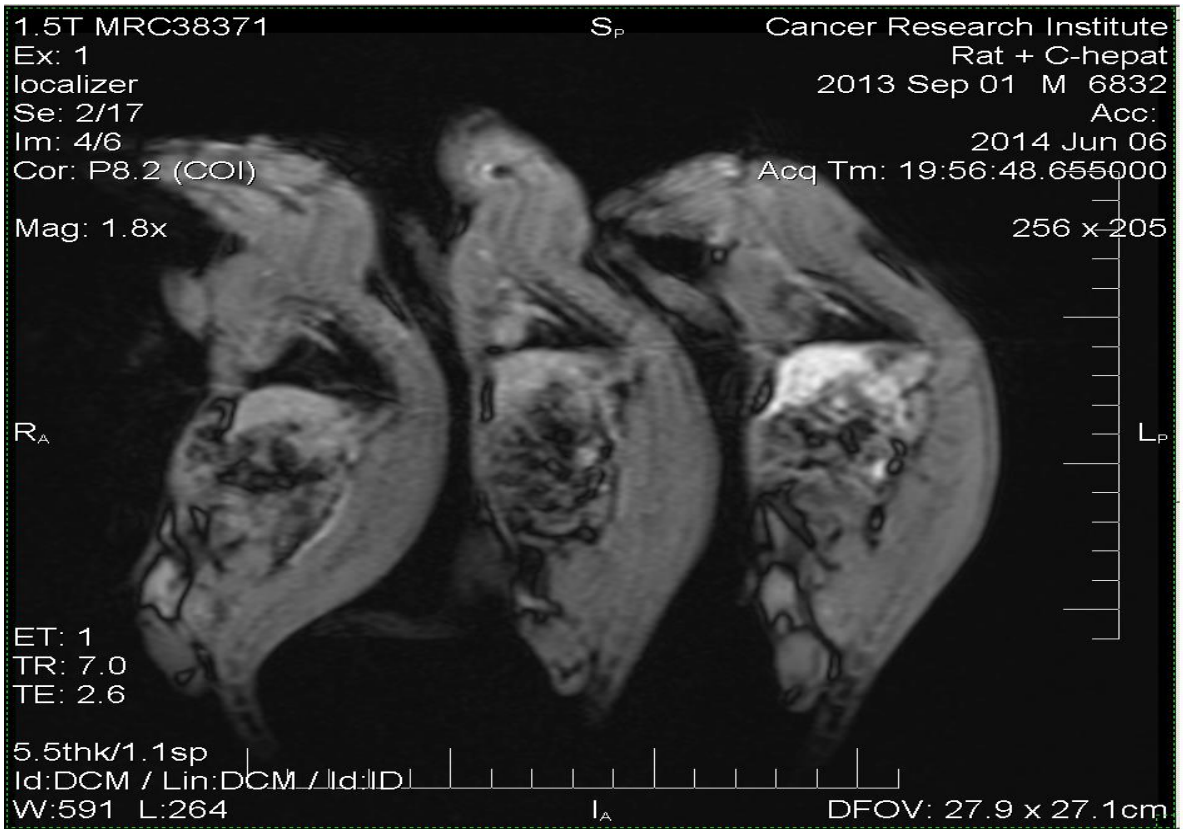


Рис 1. Распределение исследуемого лекарственного средства в организме интактных животных

Эксперименты на животных осуществлялись в соответствии с правилами, принятыми Европейской Конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей 1986.

Результаты и их обсуждение

1. Готовая лекарственная форма гепатотропного контрастного лекарственного средства на основе гадолиния для магнитно-резонансной томографии интенсивно накапливается в органе мишени, что достоверно фиксируется при любой стандартной Т1-взвешенной последовательности.
2. Разрабатываемое контрастное лекарственное средство может применяться в качестве гепатотропного для проведения диагностических исследований печени.

Список использованной литературы:

1. Weinmann HJ, Ebert W, Misselwitz B, Schmitt-Willich H. Tissuespecific MR contrast agents. /Eur J Radiol. 2003 Apr; 46(1): 33-44.
2. Кармазановский Г.Г., Шипулева И.В., Сидорова Е.Е., Колганова И.П., Осипова Н.Ю. Лучевая диагностика гиперваскулярных образований печени. // Сборник научно-практических работ «20 лет клинической больнице № 1», Москва, 2008. – С. 228-230.
3. Сидорова Е.Е., Кармазановский Г.Г. Дифференциально-диагносические возможности гепатотропного препарата (гадоксетовой кислоты) в хирургической гепатологии).// Мат. Невского радиологического форума, 2009., Санкт-Петербург. Сборник научных работ. - С. 487-488.
4. Сергеев П.В., Поляев Ю.А., Юдин А.Л., Шимановский Н.Л. Контрастные средства./ М.: Издательство «Известия», 2007, 496 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ МИКРОСХЕМ КМОП-ТИПА

Мишанов Р.О.

Научный руководитель: Пиганов М.Н., профессор, д.т.н.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (Национальный исследовательский университет),

Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34, 443086

E-mail: kipres@ssau.ru

TECHNOLOGY OF DIAGNOSTIC FOR NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF THE INTEGRATED CIRCUITS CMOS-TYPE

Mishanov R.O.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Piganov M.N.

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University),

Russia, Samara, Moskovskoe shosse, 34, 443086

E-mail: kipres@ssau.ru

Abstract. The article is devoted to new setting (device) of diagnostic control and rejection of potentially unreliable chip CMOS structure. Two versions of the installation for control and rejection circuits are developed. There is a comparative evaluation of these modifications. Special attention is given to the structural scheme settings and operation principle.

Введение

В связи с усложнением выполняемых современной аппаратурой функций растет и ее сложность, которая оценивается числом входящих в нее элементов, что требует использования высоконадёжной элементной базы. В современных радиоэлектронных устройствах наибольшее распространение получили полупроводниковые интегральные микросхемы (ИМС) КМОП-типа.

Отбор микросхем повышенного качества осуществляют обычно на основе методов электрофизического диагностирования (ЭФД) или диагностического неразрушающего контроля (ДНК). На данном этапе разработаны различные методы и средства ДНК элементной базы, которая используется в ответственной аппаратуре [1-3]. Однако постоянно идущий рост номенклатуры ЭРИ различного функционального назначения, использование новых материалов, конструкций, технологических процессов изготовления требуют новых информативных параметров, более точных критериев отбраковки, а значит и разработки новых средств контроля. Целью данной работы является разработка установки диагностического неразрушающего контроля (ДНК) интегральных микросхем (ИМС) КМОП-типа и разработка схемы её автоматизации.

Неавтоматизированная установка диагностического неразрушающего контроля

Установка ДНК реализует диагностический контроль ИМС сравнением с эталоном, который заключается в проверке истинности логических функций ИМС, в частности, в задании на входах проверяемой ИМС тестовых последовательностей сигналов и сравнении выходных сигналов контролируемой ИМС с выходными сигналами эталонной ИМС. По результатам сравнения вырабатывается сигнал рассогласования, на основании которого осуществляется разбраковка или диагностика надежности ИМС. Структурная схема установки представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема неавтоматизированной установки ДНК для микросхем КМОП-типа

Установка состоит из следующих основных блоков: наборного поля; двух генераторов прямоугольных импульсов с частотой 10 кГц и 10 МГц; блока питания, который состоит из трех стабилизированных источников напряжения: +5 В, 1 А; +10 В, 50 мА; +0...10 В (регулируемый), 50 мА; адаптера, к которому подключаются контролируемая и эталонная микросхема; компаратора, сравнивающего выходные сигналы контролируемой и эталонной ИМС и вырабатывающего сигнал рассогласования; схемы усреднения сигнала рассогласования; устройства индикации.

Принцип работы заключается в следующем. Сигнал с генератора 10 кГц подается на три делителя на два, соединенных последовательно, в результате образуются сигналы с частотами 5 кГц; 2,5 кГц и 1,25 кГц, которые используются для задания тестовой последовательности на входах контролируемой и эталонной ИМС. Все четыре сигнала подаются на наборное поле. Туда также подается питающее напряжение 10 В (50 мА) для эталонной ИМС и регулируемое напряжение 0...10 В (50 мА) для контролируемой ИМС.

Адаптеры с устанавливаемыми ИМС подключены к наборному полю. Для подачи на нужные выводы ИМС питающего напряжения и тестовых последовательностей сигналов используются перемычки, чем достигается многофункциональность прибора.

Выходные сигналы контролируемой и эталонной ИМС через коммутационную систему наборного поля подаются на переключатель выходов ИМС, который выведен на лицевую панель установки. Затем сигналы подаются на компаратор, вырабатывающий сигнал рассогласования, который заполняется импульсами частотой 1 МГц. Длительность сигнала рассогласования равна задержке между фронтами выходных сигналов контролируемой и эталонной ИМС. При диагностическом контроле ИМС питающее напряжение контролируемой ИМС понижается (вольтметр выведен на лицевую панель установки ДНК), поэтому задержка выходного сигнала контролируемой ИМС может быть значительной. Диагностика надежности контролируемой ИМС заключается в определении времени задержки выходного сигнала контролируемой ИМС по сравнению с эталонной ИМС при пониженном напряжении питания контролируемой ИМС. По экспериментально найденным зависимостям определяют надежность контролируемой ИМС. Сигнал рассогласования подается на схему усреднения сигнала, которая подсчитывает количество импульсов с частотой 1 МГц в 256 пачках (пачка - один импульс сигнала рассогласования), которые могут следовать с частотой максимум 10 кГц. Полученное число делится на 256, таким образом получаем среднее количество импульсов в пачке. Данная операция повышает достоверность информации.. На устройство индикации выводится количество импульсов заполнения (частотой 1 МГц) сигнала рассогласования, т.е. время задержки выходного сигнала контролируемой ИМС по сравнению с

эталонной. Полученная информация анализируется с целью выявления потенциально ненадежных ИМС.

Данная установка показала высокую эффективность отбраковки микросхем. Для внедрения данной установки была произведена ее доработка.

Автоматизированная установка диагностического неразрушающего контроля

Доработка установки проводилась с целью автоматизации контроля и заключалась в замене наборного поля системой заглушек (СЗ), что резко снизило время подготовки прибора к работе и повысило надежность данного блока, и введении дополнительного блока – интерфейсной платы (ИП) сопряжения установки ДНК с ПЭВМ. ИП подключается ко входу схемы усреднения сигнала, заменяя схему усреднения сигнала рассогласования и устройство индикации, и производит ввод данных в ПЭВМ используя магистраль Industry Standard Architecture (ISA). Усреднение сигнала, анализ и вывод информации производится программно при помощи ПЭВМ. Структурная схема автоматизированной установки представлена на рис. 2.

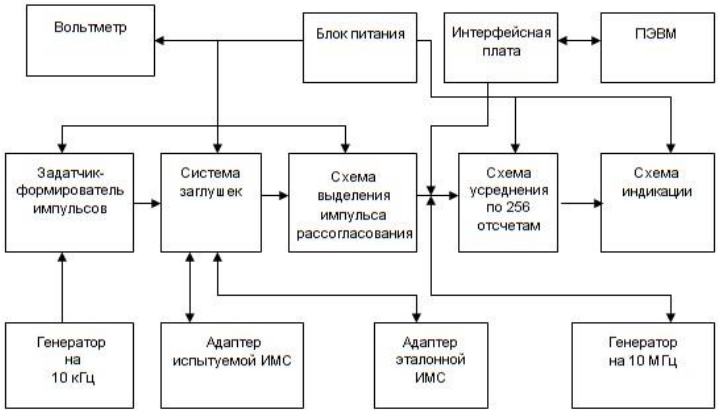


Рис. 2. Структурная схема автоматизированной установки ДНК для микросхем КМОП-типа

Заключение

Разработаны две модификации установки диагностического неразрушающего контроля микросхем КМОП-типа путем сравнения с эталоном: с наборным полем и системой заглушек. Преимущество установки ДНК заключается в ее универсальности применения для различных типов ИМС. Установки показали высокую эффективность в определении надёжности контролируемых ИМС.

Литература

1. Пиганов М.Н., Шопин Г.П., Тюлевин С.В., Козлова И.Н. Устройство для контроля и отбраковки двуханодных стабилитронов// Сборник научных трудов SWorld. – Одесса,2013. Т.10. №3. – С. 85-91.

2. Пиганов, М.Н. Пат. 2445640. Российская Федерация, МПК G01R 31/26. Устройство для отбраковки двуханодных стабилитронов [Текст]/ М.Н. Пиганов, Г.П. Шопин, С.В. Тюлевин, И.Н. Козлова; заявитель и патентообладатель: Самарский государственный аэрокосмический университет. – № 2010140421/28; заявл. 01.10.2010, опубл. 20.03.2012. Бюлл. №8. -8 с.

3. Тюлевин С.В., Козлова И.Н., Шопин Г.П., Архипов А.И. Устройство контроля стабилитронов//Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2012. - №7(38). – С. 156-159.

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АППАРАТА ЧЕРЕЗКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА

Мухомедшин А.А., Сивков Н.С.
Научный руководитель: В.А. Устюжанин, доцент, к.т.н.
Забайкальский государственный университет, г.Чита
E-mail: Alexcom92@gmail.com

EXPANDING THE FUNCTIONALITY OF THE DEVICE CHEREZKOSTNOGO OSTEOSYNTHESIS

Mukhomedshin A.A., Sivkov N.S.
Supervisor: VA Ustyuzhanin, Associate Professor, Ph.D.
Transbaikal State University, Chita

Метод управляемого черезкостного остеосинтеза предназначен для длительной фиксации фрагментов костной ткани, а также для её сжатия («компрессии») или растяжения («дистракции»), то есть, для проведения так называемого «чрескостного остеосинтеза». Аппарат применяется для лечения травм, переломов, врождённых деформаций костной ткани. Также используется при «эстетических» операциях в антропометрической (ортопедической) косметологии по удлинению и выпрямлению ног.

Установка аппарата Илизарова позволяет сократить сроки сращивания перелома и уменьшить вероятность развития ложного сустава практически до нуля. Частичная нагрузка на поврежденную конечность возможна уже на второй-третий день после процедуры.

Скорость сращения перелома зависит от его типа, степени сложности, а также других факторов – возраста, состояния здоровья ,

индивидуальных особенностей организма пациента и его ответственного отношения к лечению и реабилитации.

В настоящей практике лечения режимы «дистракции» и «компрессии» определяются и назначаются практически без учета индивидуальных особенностей пациента и текущего состояния перелома.

Повысить эффективность использования аппарата Илизарова и сократить сроки можно учитывая действительное состояние зоны перелома. Это возможно за счет использования элетроимпедансных методов контроля.

Повысить эффективность лечения можно за счет применения электростимуляции, которая осуществлена в предлагаемом нами аппарате.

На данный момент уже известны некоторые устройства для контроля состояния костного регенерата и окружающих тканей методом электроимпедансометрии на основе аппарата наружного остеосинтеза(он же аппарат Илизарова), где в качестве электродов используются изолированные спицы аппарата, обеспечивающие определение оптимальных сроков проведения дозированной компрессии или дистракции и других терапевтических действий с учетом действительного состояния зоны перелома и фазы регенерации костной ткани. Однако недостатком указанных устройств является невозможность влиять на процессы электрофореза и электроосмоса в участках костных тканей, что приводит к замедлению соединения тканей и изменению в их структуре.

Известны также имплантируемые и неимплантируемые устройства для электростимуляции поврежденных костных тканей, использование которых, в виде автономных устройств, возможно одновременно с аппаратом чрескостного наружного остеосинтеза, в которых в качестве электродов используются крепежные элементы, электроды-иголки, проволочные и накожные электроды.

Установка указанных устройств и стимулирующих электродов сопряжена с дополнительным хирургическим вмешательством для трансплантации в костную ткань блоков стимуляторов или отдельных электродов, а в случае периодического проведения процедуры электростимуляции, эта операция производится неоднократно. Недостатками указанных устройств кроме этого является невозможность изменения параметров стимулирующего тока и сроков проведения стимуляции в зависимости от фактического состояния зоны перелома.

Преимуществом представленного нами аппарата является расширение функциональных возможностей аппарата наружного остеосинтеза за счет совмещения в нем функций :

1)фиксации костных отломков

2)постоянного контроля состояния костного регенерата и окружающих тканей методом электроимпедансометрии

3)обеспечения оптимальной величины дистракции в автоматическом режиме

4)электростимуляции остеорепарации различными видами токов в зависимости от фаз регенерации костной ткани.

Такое сочетание функций достигается тем, что автоматизированный компрессионно-дистракционный аппарат наружного остеосинтеза, состоит из: колец, резьбовых дистракторов с электроприводами, спиц, в виде изолированных от колец электродов, блока измерения электрического импеданса и блока управления приводами резьбовых дистракторов, Так же он дополнительно снабжается генератором различных видов стимулирующего тока, управление которым производится микропроцессорным блоком управления, обеспечивающим согласованную работу аппарата в режимах измерения импеданса, дистракции отломков и электростимуляции, а спицы аппарата также выполняют функцию стимулирующих электродов.

После установки на объект аппарата наружного остеосинтеза, на первом этапе лечения на персональном компьютере задается периодичность измерений электрического импеданса. По команде с ПК, микропроцессорный блок управления (микроконтроллер) формирует управляющие сигналы на блок измерения импеданса , в результате на объект через спицы-электроды 3 подается зондирующий ток от блока измерения импеданса . После прохождения через объект , зондирующий ток попадает обратно в блок измерения импеданса ,

Результаты измерения поступают в компьютер где систематизируются и анализируются.

По результатам измерений, врачом оценивается скорость остеосинтеза в объекте. В ПК формируется суточный график автоматической дистракции с заданной периодичностью и величиной, определяется периодичность и мощность стимулирующего воздействия. На следующем этапе лечения составленный график с ПК реализуется через микропроцессорный блок управления (микроконтроллер) с помощью блока управления шаговыми двигателями и шаговых двигателей .

Также параллельно осуществляется электростимуляция с заданными режимами стимулирующего тока и измерение электрического импеданса, по заданной программе, с помощью

команд формируемых в ПК , через генератор стимулирующего тока, который осуществлён на том же микроконтроллере, и блока измерения импеданса.

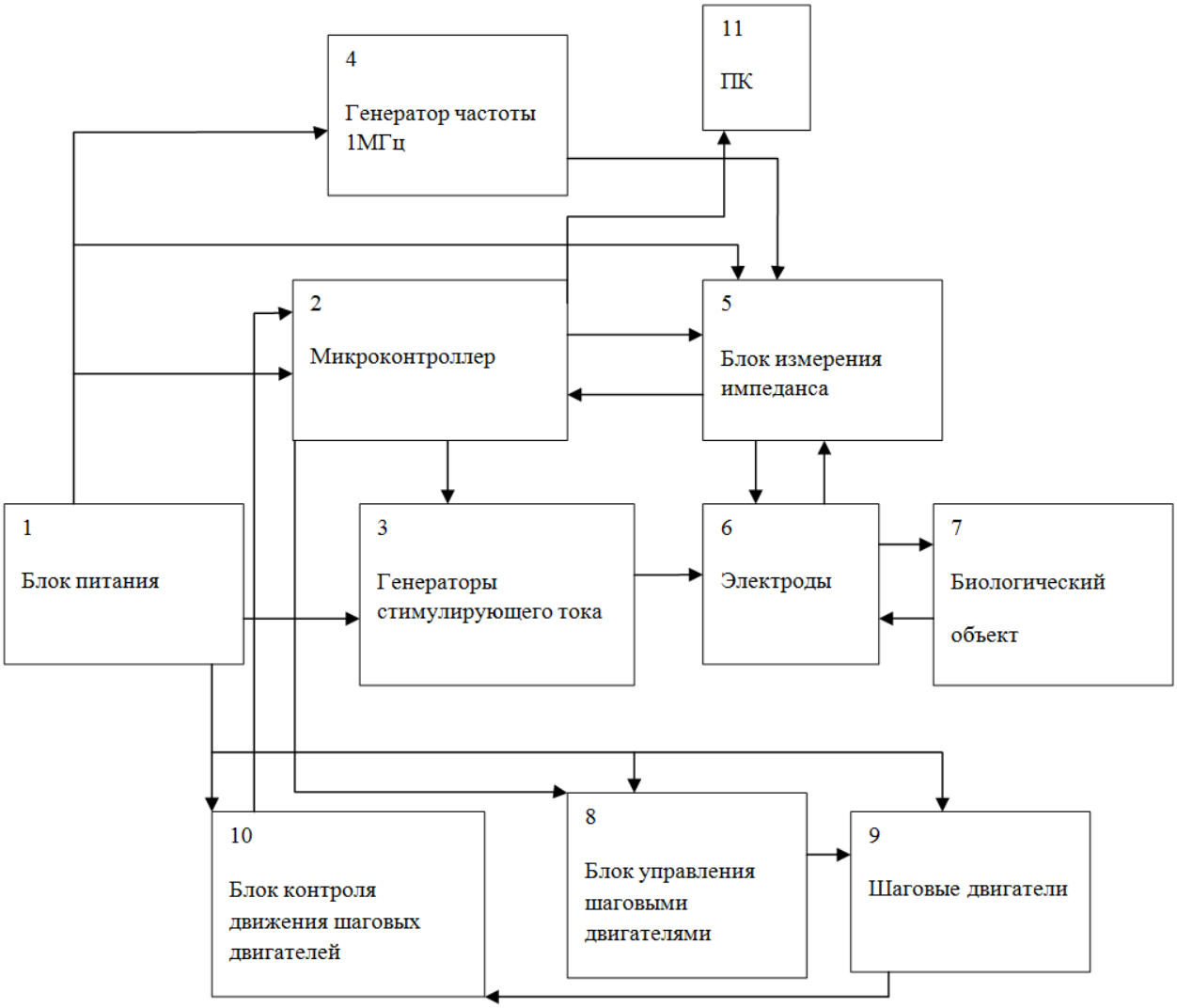


Рис.1. Структурная схема аппарата

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ткаченко С.С., Руцкий В.В. Электростимуляция остеопарации - М: Медицина, 1982 – 207с.

2. Хрупкин В.И., Артемьев А.А., Зубрицкий В.Ф., Ивашкин А.Н. Лечение переломов дистального отдела костей голени. Возможности метода Илизарова - М: ИнтелТек, 2005– 102с.

3. Ткаченко С.С. Остеосинтез, руководство для врачей - М: Медицина, 1987 – 207с.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ

Носова Е.В., Аристов А.А., Нефедова Н.С.
Научный руководитель: Евтушенко Г.С., профессор, д.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: zhogloev@gmail.com

DEVELOPMENT OF A METHOD OF ESTIMATION COAGULATION PROCESS PARAMETERS

Nosova E.V., Aristov A.A., Nefedova N.S.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Evtushenko G.S.
Tomsk Polytechnic University,
634050, Lenin str. 30, Tomsk, Russia
E-mail: zhogloev@gmail.com

Abstract

Article is devoted to the development of a new method of carrying out coagulation tests based on photometric study of bioliquid droplet samples. It is defined that the most informative are the optical curves obtained at the receiver location in the optical focus of droplet test, formed after the coagulation process. Researches on improvement of the methodology of carrying out experiments in order to increase the sensitivity and repeatability of our method are presented.

Своевременная диагностика нарушений процесса коагуляции играет большую роль в вопросе снижения уровня смертности и улучшения качества жизни. Много внимания уделяется разработке новых современных и надежных методов диагностики системы гемостаза. [1] В связи с этим на кафедре Промышленной и медицинской электроники НИ ТПУ был предложен и апробирован метод фотометрирования капельных образцов биожидкостей [2], а также техническое устройство, реализующее его.

В ранних работах [3] был описан разработанный метод и представлены первые результаты экспериментов. Полученные опытные данные использования метода фотометрирования капельных проб для определения протромбинового времени позволили сделать вывод о перспективности его применения. Действительно, полученная оптическая кривая, описывающая изменение светопропускания в ходе протекания процесса коагуляции, характеризует не только время образования сгустка, но и полную динамику данного процесса (рис.1).

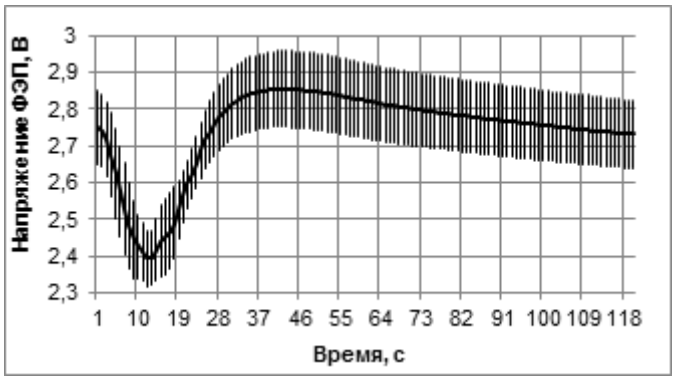


Рис.1. Форма оптического сигнала при образовании фибринового сгустка (тест по определению протромбинового времени, контрольная плазма)

Теоретический анализ процесса свертывания позволил четко соотнести форму типичной кривой со стадиями данного процесса. Наше предположение о соответствии времени минимума на кривой протромбиновому времени подтверждается экспериментами с использованием образцов плазмы, имеющих

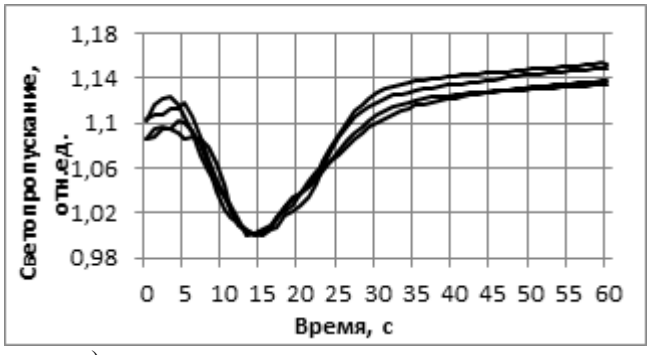
разное время образования фибринового сгустка вследствие разной концентрации факторов свертывания [3].

Первоначальные эксперименты проводились по методике, описанной ниже. Для определения протромбинового времени нами использовался набор реагентов «Техпластин-тест» фирмы «Технология-Стандарт» (г. Барнаул). Данный набор реагентов предназначен для оценки протромбинового времени свёртывания цитратной плазмы в ручном варианте или с помощью коагулометра.

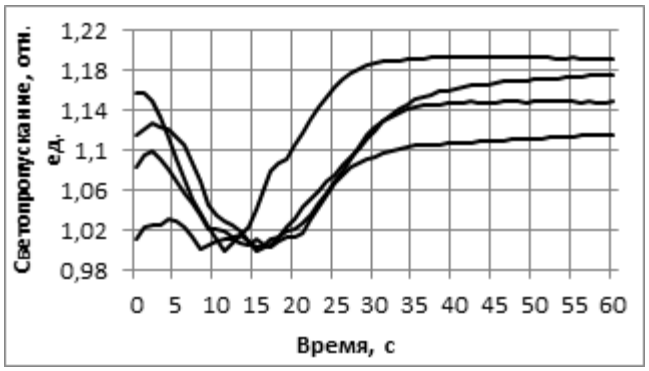
По стандарту, описанному в инструкции к набору реагентов, проводилась подготовка техпластина и контрольной нормальной плазмы (входит в состав набора) к анализу. Затем данные реагенты смешивались непосредственно на специальных фотометрических кольцевых кюветах диаметром 5 мм в соотношении 2:1 (две части техпластина и одна часть плазмы). Таким образом, анализируемые образцы формировались в виде лежащих капель. Объем капель был выбран таким, чтобы капля была устойчивой (не растекалась), и в то же время ее форма была достаточно выпуклой и стремилась к полусфере. Учитывая эти факторы, объем капель был выбран 21 мкл.

В ранних работах было доказано, что поскольку капля представляет собой плосковыпуклую линзу, а смешиваемые компоненты достаточно прозрачны, данная система обладает свойством фокусировать проходящее через нее излучение. Экспериментально было установлено, что наибольшие изменения оптического сигнала, связанные с процессами в капельном образце при образовании фибринового сгустка, регистрируется при положении приемника в области оптического фокуса [3]. Здесь, однако, необходимо уточнить, что точка фокуса при протекании процесса коагуляции в капле изменяет свое положение, а именно немного удаляется от капли. Это связано с изменениями энергетических характеристик капли в процессе коагуляции и перераспределением компонентов внутри капельного образца. И именно при положении фотоприемника в этом «удаленном» фокусе достигается наибольшая чувствительность оптической системы к протекающим процессам.

В целях разработки оптимальной схемы проведения фотометрических исследований было решено проверить влияние очередности смешивания реагентов при формировании капельного образца. В соответствии с первоначально принятой методикой на кювету наносился техпластин, после чего к нему добавлялась плазма, завершая формирование капельного образца. Сравнительные эксперименты, проведенные по данной методике и методике, при которой смешивание реагентов происходило в обратном порядке (7 мкл плазмы наносилось на кювету, после чего к ней добавлялось 14 мкл техпластина), показали следующие результаты (рис.2).



а)



б)

Рис.2. а) Динамики изменения оптических кривых при коагуляции в случае добавления плазмы к техпластину (серия из четырех повторений). б) Динамики изменения оптических кривых при коагуляции в случае добавления техпластина к плазме (серия из четырех повторений).

Видно, что эксперименты, выполненные по первоначально выбранной методике (рис.2а) имеют лучшую повторяемость результатов. Возможно, этот факт объясняется тем, что в отличие от случая (рис.2б), время реакции здесь больше времени смешивания потоков жидкости (техпластина и плазмы), в результате чего процесс коагуляции возникает в однородно смешанной гомогенной жидкости. Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности использования первоначальной методики смешивания реагентов.

Таким образом, проведенные нами экспериментальные исследования показали возможность использования метода фотометрирования капельных образцов для получения информации о времени коагуляции крови при проведении протромбинового теста. Причем, данная методика характеризуется простотой выполнения, малыми объемами образца, необходимого для проведения анализа, а так же возможностью повысить информативность исследования за счет оценки не только времени образования сгустка, но и отслеживания динамики всего процесса. Кроме того, поскольку отсутствует перемешивание образца в ходе анализа, не происходит искусственной активации процесса свертывания, что делает данную методику более физиологичной. Безусловно, требуются дальнейшие исследования, направленные на усовершенствование предложенного метода, заключающиеся улучшении оптической системы и конструкции измерительной камеры, а также апробации данного метода на других коагулометрических тестах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пантелеев М.А., Атауллаханов Ф.И. Свертывание крови: методы исследования и механизмы регуляции. — Клиническая онкогематология, 2008; 1: 174-181.

2. Аристов А.А. Биотехническая система экспресс-оценки процесса оседания эритроцитов в микрообъемах.// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск: Изд. ТПУ, 2006.

3. A. Aristov, E. Nosova. Estimation of blood clotting in the drip samples using optical methods // Mechanical Engineering, Automation and Control Systems: Proceedings of International Conference, Tomsk, October 16-18, 2014. - Tomsk: TPU Publishing House, 2014, pp. 1-4.

ВЛИЯНИЕ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ И ФОРМЫ ПРИВОДНОГО РЕМНЯ НА ПРОЦЕСС БАЛАНСИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ НА ЗАРЕЗОНАНСНОМ БАЛАНСИРОВОЧНОМ СТАНКЕ МАЯТНИКОВОГО ТИПА

Панфилов Д.С.

Научный руководитель: Сикора Е.А., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: panfilovdss321@gmail.com

EFFECTS OF POWER TENSION AND FORMS DRIVE BELT BALANCING PRODUCTS IN PROCESS AT ZAREZONANSNOM BALANCING MACHINES PENDULUM

Panfilov D.S.

Scientific Supervisor: candidate of engineering sciences, docent Sikora E. A.

Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: panfilovdss321@gmail.com

Актуальность работы связана с повышением точности балансировки вращающихся деталей механизмов и машин. Для этого необходимо знать факторы способные повлиять на качество балансировки, а так же иметь возможность количественной оценки их влияния. В данной работе исследуются подобные факторы – сила натяжения и форма приводного ремня. Целью исследования является определение степени влияния силы натяжения и формы приводного ремня на процесс балансировки.

Вибрация — упругие механические колебания высокой частоты и малой амплитуды. Часто в механизмах возникает не предусмотренная конструкцией вибрация. Подобное явление пагубно сказывается на работе как отдельных частей, так и всего механизма в целом.

Для количественного описания вибрации наиболее часто используются виброперемещение, виброскорость и виброускорение.

Виброперемещение показывает максимальное перемещение контролируемой точки в процессе вибрации. Используется для измерения частот в области от 0 до 100 Гц.

Виброскорость показывает максимальную скорость перемещения контролируемой точки в процессе вибрации. Используется для измерения частот в области от 10 до 1000 Гц.

Виброускорение характеризует изменение скорости контролируемой точки в процессе вибрации. Используется для измерения частот в области от 10 до 10000 Гц.

Эти три характеристики вибрационного движения являются взаимосвязанными, и, измерив, например, виброускорение, легко вычислить остальные два параметра путем однократного или двукратного интегрирования [1].

Возможность использования каждого из этих параметров позволяет контролировать вибрацию на объектах с различными частотными характеристиками. Однако считается что виброускорение наилучшая, для контроля характеристика вибрационного процесса, которую целесообразно использовать во всех областях виброметрии, пока по той или иной причине не возникает необходимость определения скорости или перемещения этих колебаний.

Наиболее распространенной причиной возникновения вибрации является дисбаланс вращающихся ча-

стей механизма, таких как ротор. При вращении ротора вокруг оси, не совпадающей с осью инерции, он становится неуравновешенным. Неуравновешенность—это состояние ротора, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опорах ротора и его изгиб. Мерой неуравновешенности является дисбаланс. [2]

Таким образом становится ясно, что для устранения вредоносной вибрации механизма, в большинстве случаев достаточно уменьшить дисбаланс его вращающихся частей до некоторого допустимого значения. То есть произвести балансировку.

Суть процесса балансировки сводится к тому, что во время вращения ротора 4, дисбаланс 6, присутствующий в нем, через опору 5 начинает раскачивать маятниковые подвесы 1 станка, величина этих перемещений измеряется датчиком 3, а радиальное положение ротора фиксируется фотоотметчиком (на схеме не указан). После измерения масса ротора изменяется на соответствующую величину в месте указанном на дисплее станка. Вращение ротору передается через приводной ремень 2, который в свою очередь приводится в движение электродвигателем (на схеме не указан). Натяжение ремня осуществляется за счет подвижного ролика 7 (рис. 1).

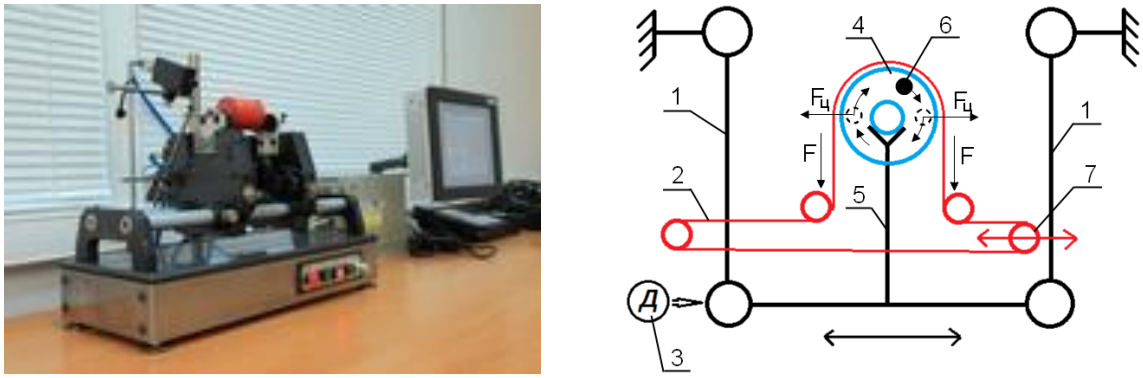


Рис. 1. Внешний вид и принципиальная схема зарезонансного балансировочного станка маятникового типа ВМ 010, производства Диамех

Достижение поставленной цели осуществлялось экспериментальным методом. На балансировочном станке (рис. 1) были проведены две группы экспериментов: с несбалансированным контрольным ротором и с контрольным ротором, дисбаланс которого был уменьшен. В каждой группе экспериментов использовались ремни с круглым сечением (РК) и ремни с прямоугольным сечением (РП). Одна группа экспериментов включала в себя построение двух графиков зависимости для каждой из двух опор станка: «Зависимость виброперемещения от силы натяжения приводного ремня с прямоугольным сечением» и «Зависимость виброперемещения от силы натяжения приводного ремня с круглым сечением» (рис. 2, 3). Каждая точка на приведенных графиках является результатом двадцати измерений. Помимо этого каждая точка имеет доверительный интервал – диапазон между большим и меньшим значениями данных двадцати измерений. Конкретная точка графика может находиться в любом месте соответствующего доверительного интервала.

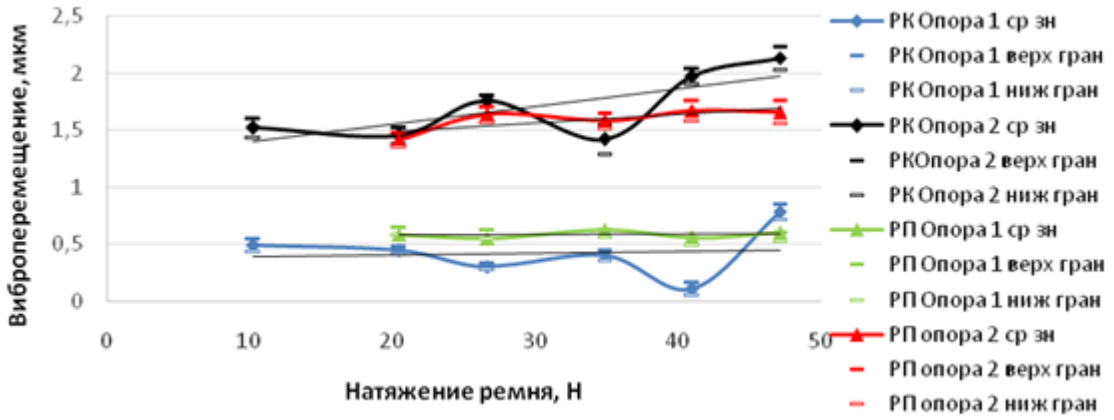


Рис. 2. График зависимости виброперемещения опор балансировочного станка от силы натяжения приводного ремня. Эксперименты с ротором до балансировки.

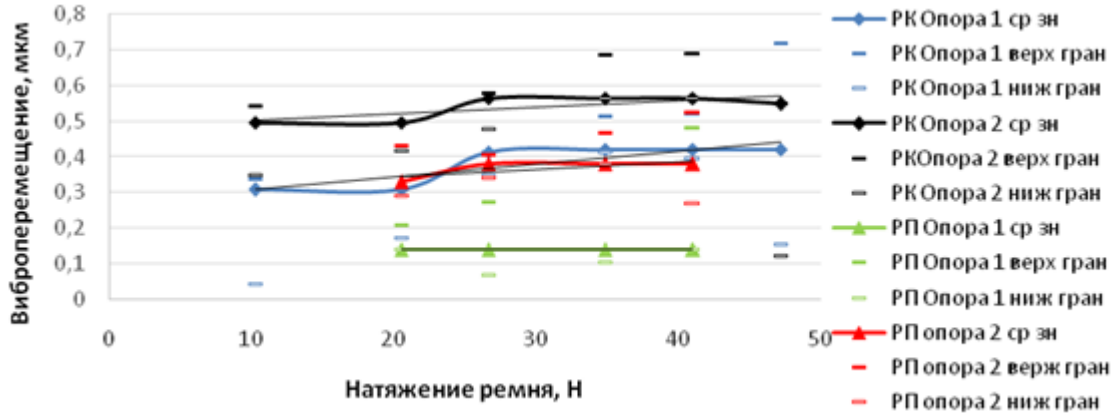


Рис. 3. График зависимости виброперемещения опор балансировочного станка от силы натяжения приводного ремня. Эксперименты с ротором после балансировки.

Для каждого из приведенных графиков была построена средняя линия, которая показывает увеличение амплитуды виброперемещения с увеличением силы натяжения приводного ремня. Графики зависимости виброперемещения от силы натяжения ремня с прямоугольным сечением повторяют динамику графиков зависимости виброперемещения от силы натяжения ремня с круглым сечением, однако имеют меньший размах.

Используя данные графиков, можно сформулировать следующие рекомендации: с целью увеличения чувствительности балансировочного станка, балансировку производить при максимально возможном натяжении приводного ремня, а так же использовать приводные ремни круглого сечения. Данные меры позволят, при неизменной величине дисбаланса, увеличить амплитуду виброперемещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Вибро-Центр [Электронный ресурс]// Виброускорение, виброскорость и виброперемещение – Режим доступа: http://vibrocenter.ru/text01.htm.

2 Кинематика [Электронный ресурс]// Балансировочные станки. Основные сведения, классификация и устройство. – Режим доступа: http://oookin.ru/balstanteor.htm.

ВОЛЬТМЕТР НА БАЗЕ ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ PINBOARD II

Рязанова В. Н.
Научный руководитель: Баранов П. Ф., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: *violetta-wikiria@yandex.ru*

VOLTMETER BASED ON DEBUG BOARD PINBOARD II

Ryazanova V. N.
Scientific Supervisor: Ph.D., Baranov P. F.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: *violetta-wikiria@yandex.ru*

Abstract *The objective of this work is installation of voltmeter based on debug board Pinboard II. Microcontroller Atmega16, LCD HD44780 and potentiometer were used in this development. Program for this instrument was designed on Cpp language. As result of this work the DC voltmeter was developed. This facility can be used in such disciplines as « Technology of microprocessors » and «Electronics».*

Введение

При изучении таких дисциплин как «Микропроцессорная техника», «Цифровая электроника», «Схемотехника» важно реализовывать на практике полученные знания. Для этих целей наиболее часто используются специальные макетные и отладочные платы или виртуальные среды моделирования.

Для получения практических навыков по созданию и разработке микропроцессорных средств измерений могут применяться универсальные отладочные платы типа *«Pinboard»*. Например, *Pinboard II* для AVR, которая содержит микроконтроллер Atmega16, программатор, 2 USB порта, LCD дисплей, трехразрядный семисегментный индикатор, кнопочную матрицу, разъем для SD-карты, для связи с компьютером установлена микросхема FT2232, которая реализует 2 виртуальных COM-порта. Такой набор аппаратных средств позволяет полностью реализовать лабораторно-практический цикл по дисциплине «Микропроцессоры в измерительных устройствах»

1. Разработка цифрового вольтметра

Примером использования отладочной платы *Pinboard II* может служить создание цифрового вольтметра постоянного тока. Постоянное напряжение задается с помощью потенциометра, средняя точка которого подключена к входу аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера Atmega16. Значение напряжения, полученное после аналого-цифрового преобразования, выводится на LCD дисплей.

Схема цифрового вольтметра постоянного тока на базе микроконтроллера Atmega16 представлена на рис. 1. Ниже приведены ключевые фрагменты программы, позволяющей реализовать цифровой вольтметр.

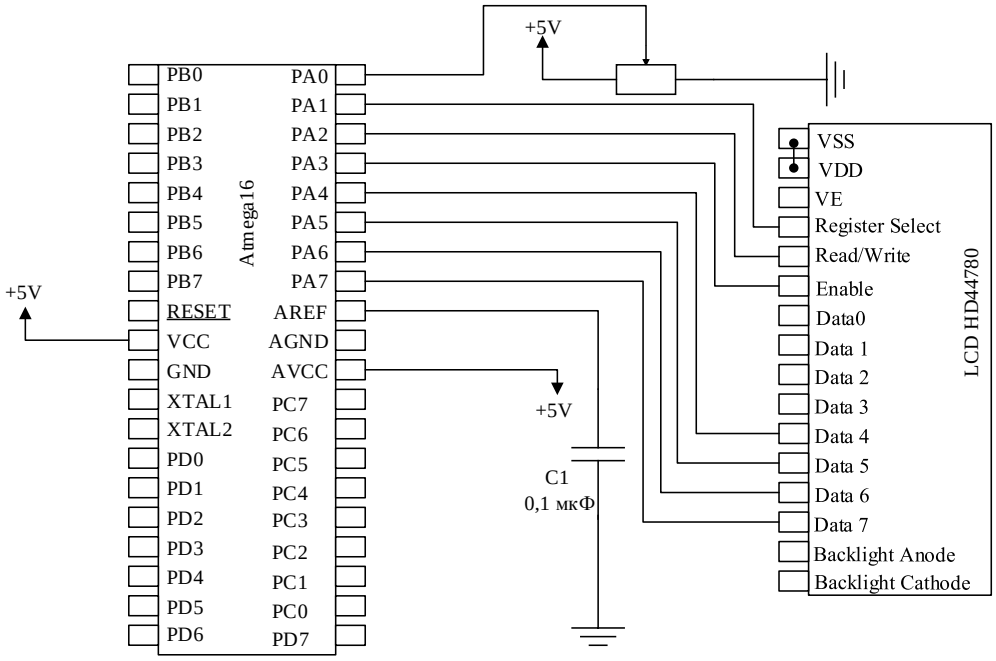


Рис. 1. Схема подключения

2. Инициализация АЦП

//внутреннее опорное напряжение, выравнивание влево, нулевой канал [1-2].

ADMUX=(1 << REFS1)| (1 << REFS0)| (1 << ADLAR)| (0 << MUX4)|(0 << MUX3)| (0 << MUX2)| (0 << MUX1)| (0 << MUX0);

//Так как используем внутреннее опорное напряжение, в биты REFS1 и REFS0 ставим 1, ADLAR отвечает за направление, направление выравнивания результата преобразования влево, так как используется нулевой канал АЦП, все биты MUX равны 0 [3].

ADCSRA = (1 << ADEN)| (1 << ADSC)| (1 << ADATE)| (0 << ADIF)| (1 << ADIE)| (1 << ADPS2)|(1 << ADPS1)|(1 << ADPS0);

// для работы АЦП в бит ADEN записываем 1, для запуска АЦП требуется отправить 1 в бит ADSC, для осуществления непрерывного преобразования записываем 1 в бит ADATE, записываем 1 в бит ADIE для разрешения прерывания, с помощью битов ADPS2, ADPS1,ADPS0 устанавливаем частоту преобразования.

SFIOR = (0 << ADTS2)|(0 << ADTS1)| (0 << ADTS0); // устанавливаем режим свободного запуска АЦП

3. Считывание данных

```
void lcd_data_bus_send(char tmp)
{LCD_PORT |= (1 << LCD_E); //начало передачи
LCD_PORT &= ~0b11110000; // переход в режим записи  старших битов
LCD_PORT |= tmp & 0b11110000; // переход в режим записи  младших битов
_delay_us(1); // задержка
LCD_PORT &= ~(1 << LCD_E); // конец передачи
 delay_us(1); // задержка
```

4. Вывод на результата измерений

```
lcd_send(0,0b10000000);
 lcd_send(1,number[tmp%1000/100]); // выделение целой части
lcd_send(1,'.'); // точка после целой части
lcd_send(1,number[tmp%100/10]); //выделение десятых
lcd_send(1,number[tmp%10/1]);  //выделение сотых
lcd_send(1,'V'); // единицы измерения }
{lcd_out(adc); // вывод на экран значения из переменной adc
_delay_ms(100); // задержка}
```

В результате на дисплей выводится значение напряжения, поступающего на вход АЦП (Рис.2). Изменение напряжения осуществляется с помощью потенциометра номиналом 1 кОм. К выводу AREF микроконтроллера подключен блокировочный конденсатор для фильтрации помех.

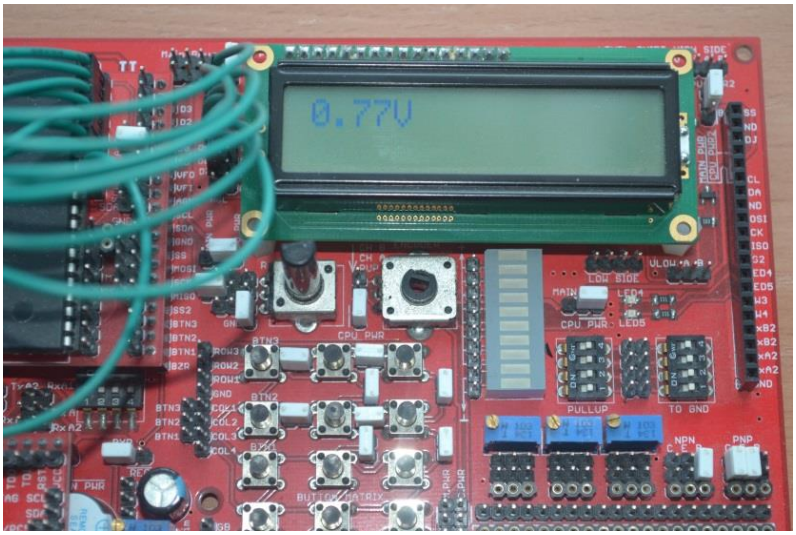


Рис. 2. Фотография полученной сборки

Заключение

В результате на универсальной отладочной плате типа *«Pinboard»* собран цифровой вольтметр постоянного тока с диапазоном измерений от 0 до 2,56 В и разрешающей способностью 0,01 В. Приведены и описаны фрагменты кода, позволяющие инициализировать АЦП микроконтроллера, считать с него данные и вывести на LCD дисплей в удобном для пользователя в виде.

Рассмотренное решение может использоваться при изучении дисциплин «Микропроцессорная техника», «Цифровая электроника», «Схемотехника».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шпак Ю. А. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров.– К.: МК-Пресс, 2006. – 156 с.

2. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 17 с.

3. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega программы – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 87 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ПРИХОДА ЭХО-ИМПУЛЬСА ДЛЯ МЕТОДА ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.

Старостин А.Л., Асочаков А.С.
Научный руководитель: Шульгина Ю.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: s-tar_94@mail.ru

Аннотация: В статье приводится математическое моделирование определения временной координаты момента прихода эхо-импульса для двухчастотного метода зондирования, а так же описание существующих ошибок. Произведено описание соответствующих математических операций. Приведен график зависимости ошибки измерения от порога срабатывания компаратора для первых десяти периодов, средняя ошибка примерно равна 1/6 периода.

DETERMINING THE ECHO ARRIVAL TIME USING THE DUAL-FREQUENCY SENSING METHOD

Starostin A.L., Asochakov A.S.
Scientific Supervisor: Shulgina Yu.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: s-tar_94@mail.ru

Abstract: The article presents determining mathematical modeling of the echo pulse arrival using dual-frequency sensing method for and description of the measurement errors. Description of the mathematical operations is produced. Graph of measurement error from the threshold comparator for the first ten periods is shows. The average error is approximately equal to 1/6 of the period

Оптимизация расходов является одной из важнейших статей повышения эффективности фондоемкого производства. Примером такого производства является горнодобывающая промышленность. При добыче полезных ископаемых, например железной руды, угля и др., необходимо производить взрывные работы, ведущие за собой значительные расходы. Для получения максимального результата от взрывных работ, необходимо соблюдать все расчетные требования, например объем взрывчатого вещества или глубину его закладки. [1]

Для снижения трудоемкости расчетных работ необходимо применять не погружные способы измерения глубины залегания скважины. Акустические приборы для измерения геометрических размеров получили широкое распространение, но имеют ограниченное использование в горнодобывающей отрасли. При распространении сигнала, вследствие неравенства фазовых скоростей различных мод, а также вследствие затухания сигнала, происходит изменение формы огибающей переднего фронта сигнала.

Для повышения точности измерения используются новые способы прозвучивания и обработки акустических сигналов[2], одним из которых является способ двухчастотного зондирования. Волновод зондируется двумя сигналами с разной частотой, а затем фиксируются временные координаты для каждого сигнала по моменту срабатывания компаратора (точки $t1$ и $t2$ рис. 1.).

После измерения временных интервалов между излученными и принятыми сигналами производится временная коррекция, согласно выражению: $(\Delta t_1 - i \cdot T_1) - (\Delta t_2 - i \cdot T_1) = \min$, [3]

где T_1 – период колебаний первой ультразвуковой волны, T_2 – период колебаний второй ультразвуковой волны, i – номер коррекции, Δt_1 – первый измеренный временной интервал, Δt_2 – второй измеренный временной интервал, полученное значение временного интервала $(\Delta t_1 - i \cdot T_1)$ используют при определении расстояния до отражающей поверхности.

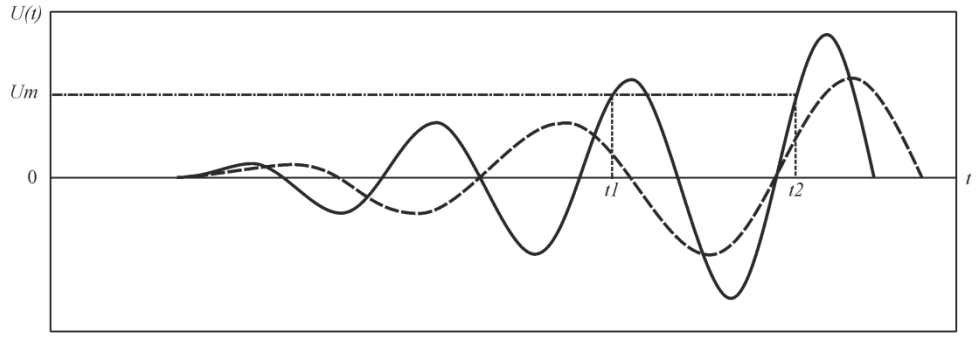


Рис.1.Принцип фиксации временных промежутков Δt_1 и Δt_2 *компаратором для двухчастотного метода.*

При проведении коррекции из всех вычислений выбирается итерация, при которой достигается минимальное отрицательное значение между $(\Delta t_1 - i \cdot T_1)$ и $(\Delta t_2 - i \cdot T_2)$. Затем происходит перемещение временной координаты, определяемой моментом срабатывания компаратора, по оси времени, путем вычитания из него интервала времени кратного периоду большей частоты. Множитель для временного сдвига определяется номером периода, в который произошло срабатывание компоратора.

Так как эхо-сигнал имеет сложную форму, и при расчете расстояния используются только положительные пороги срабатывания компараторов, можно аппроксимировать эти положительные полупериоды функцией: $U_m \cdot \sin t$, где U_m – максимальная амплитуда аппроксимируемой полуволны.

После преобразований функция принимает следующий вид:

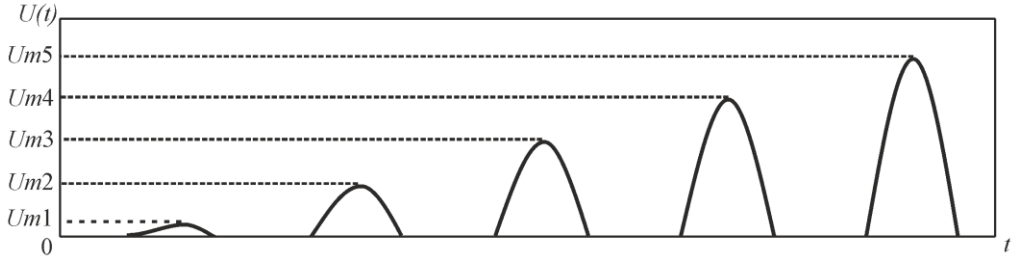


Рис.2. Функция, аппроксимирующая сложный эхо-импульс.

Используемое приближение порождает ошибку аппроксимации (Рис. 4.). Максимальное значение этой ошибки приходится на момент времени, соответствующий экстремуму полуволны, причем значение ошибки уменьшается с увеличением периода. Необходимо учитывать ошибку аппроксимации при определении результирующего расстояния.

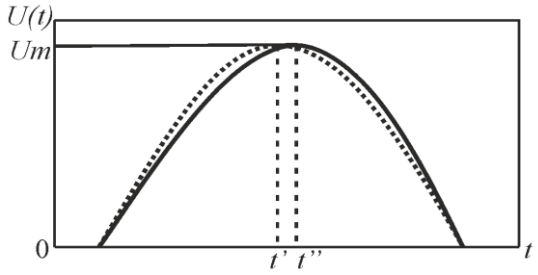


Рис.4. Иллюстрация ошибки аппроксимации.

Определить временную координату, соответствующую моменту срабатывания компаратора, можно воспользовавшись обратной функцией $t(R) = \arcsin(R/U_m)$, где R – порог срабатывания компаратора, U_m – максимальная амплитуда аппроксимируемой полуволны.

Так как момент прихода импульса определяется формулой $\Delta t_1 - i \cdot T_1$, то максимальная ошибка будет равняться четверти периода, причем с увеличением номера периода диапазон ошибки будет сокращаться в сторону максимальной (Рис. 4.).

На рисунке 4 приводится график зависимости ошибки измерения от порога срабатывания компаратора для первых десяти периодов, где $T/6$ – средняя ошибка, $T/4$ – максимальная ошибка.

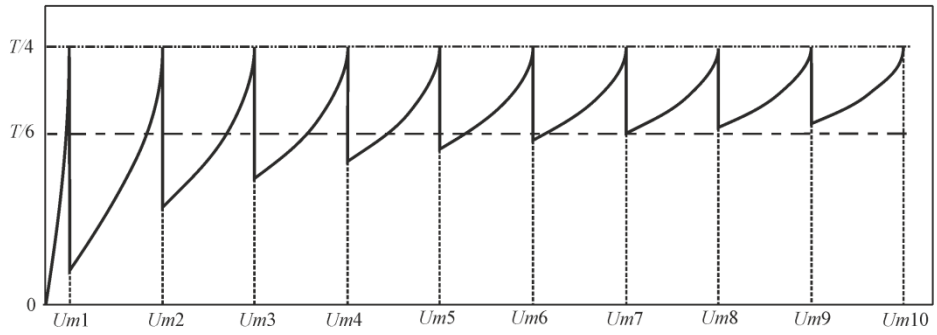


Рис.4. График зависимости ошибки определения момента прихода эхо-импульса от порога срабатывания компаратора

Для повышения точности измерений двухчастотного метода необходимо ввести поправочный коэффициент, определяемый номером периода, в который произошло срабатывание компаратора с учетом ошибки аппроксимации. Итоговая формула для определения момента прихода эхо-импульса примет вид: $(\Delta t_1 - i \cdot T_1) - \delta_{мет.ср.i} - \delta_{апр.ср.i}$, где $\delta_{мет.ср.i}$ - средняя ошибка метода для i-го периода, $\delta_{апр.ср.i}$ - средняя ошибка аппроксимации для i-го периода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Солдатов А.И., Чиглинцева Ю.В.(Шульгина) Теоретическое и экспериментальное исследование акустического тракта скважинного глубиномера //Известия Томского политехнического университета, 2009. -т. 315 -№ 4 -с. 85-89

2. Солдатов А.И., Шульгина Ю.В. Повышение точности ультразвуковых измерений методом двух компараторов //Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2010. -т. 110 -№ 9 -с. 102-107

3. Определение временного положения эхоимпульса методом двухчастотного зондирования / Ю.В. Шульгина [и др.] // Контроль. Диагностика. – 2014. - №13. – с. 152-154.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕТАТРОНА НА ОСНОВЕ ШИННОЙ ТОПОЛОГИИ

Сухарников К.В., Шестак А.П., Рычков М.М.
Томский политехнический университет
E-mail: suharnikov@tpu.ru

BUS-BASED BETATRON CONTROL SYSTEM

Sukharnikov K.V., Shestak A.P., Rychkov M.M.
Tomsk Polytechnic University
E-mail: suharnikov@tpu.ru

Abstract

Small-sized betatrons are robust and cost-effective sources of hard x-rays widely used in non-destructive testing. A state-of-the-art objective of the betatron control system is considered. A new control system architecture based on bus network is offered and tested. The described system structure is a leading one to be implemented in the induction accelerators of a new generation which are being developed in TPU.

Введение

Бетатрон – импульсный индукционный ускоритель электронов. Первый рабочий бетатрон был запущен Дональдом Керстом в 1940 году, хотя патенты, описывающие подобные устройства публиковались и ранее [1]. Принцип действия бетатрона аналогичен действию трансформатора. Под действием изменяющегося тока обмотки в сердечнике возникает магнитный поток, пересекающий область, где расположена вакуумная камера. Внутри тороидальной камеры возникает вихревое электрическое поле [2]. Под действием электрического поля в камере происходит ускорение частиц. Задача системы управления бетатрона – синхронизация и контроль параметров основных систем ускорителя. Структурная схема систем бетатрона представлена на рис. 1.

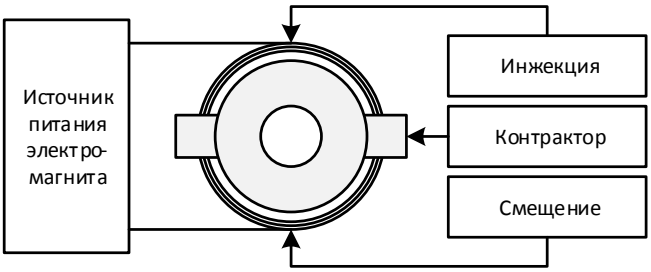


Рис. 1. Блок-схема систем бетатрона

По мере развития бетатрона усложнялась и система управления. Помимо синхронизации добавлялись блоки стабилизации, оперативного регулирования различных параметров, предотвращения аварийных режимов, блокировок и т.п. Изначально поставленные задачи решались аналоговыми системами, но вследствие усложнения задач и развития цифровой техники в 90-х годах был произведён переход на цифровые системы управления. В процессе эксплуатации цифровые системы хорошо зарекомендовали себя и показали высокую надежность, а бетатроны как источники излучения стали широко применяться в различных отраслях.

Требования к системе управления

Сегодня бетатроны можно считать доведенными до высокого уровня ускорителями, надежными, неприхотливыми с длительным сроком эксплуатации. Однако на современном этапе к бетатронам предъ-

являются новые требования, а именно, легкая интеграция во внешние системы (томографы, цифровые дефектоскопы, досмотровые комплексы) и легкое наращивание опционального оборудования, например, дозиметров, ФЭУ, статистических анализаторов излучения и т.п.

Целью настоящей работы является разработка надёжной, гибкой системы управления индукционным ускорителем, отвечающей современным требованиям.

На основе многолетнего опыта эксплуатации бетатронов и анализа современных требований, предъявляемых к источникам высокоэнергетического излучения можно выделить основные задачи для системы управления:

- внешняя синхронизация импульсов излучения;
- задание времени работы ускорителя;
- задание не только фазы, но и амплитуды импульсов тока инжекции путём регулирования температуры катода электронной пушки;
- синхронизация работы систем смещения и контрактора (системы, увеличивающей эффективность захвата электронов в ускорение);
- предотвращения несанкционированного доступа в помещение с работающим бетатроном;
- считывание показаний с внутренних и внешних дозиметров для оценки экспозиционной дозы;
- сбор, обработка и передача данных с датчиков тока и термометров для оценки состоянии системы и предотвращения аварийных ситуаций;
- автоматическая настройка системы на максимальную мощность дозы;
- передача информации о состоянии системы оператору и система управления высшего уровня (если ускоритель работает в составе комплекса).

Кроме того, система управления встраиваемого источника должна обеспечивать:

- высокую надёжность и скорость работы;
- минимальные задержки срабатывания при внешней синхронизации;
- масштабируемость, возможность подключения дополнительных устройств и датчиков;
- возможность связи с персональным компьютером (ПК);

Архитектура системы управления

В одном из последних патентов на полезную модель [4] уже описывается система управления, содержащая два микроконтроллера: в пульте управления и в блоке питания. В сопроводительном документе для [4] указываются также основные недостатки такой системы: низкая помехозащищённость, большие габариты и масса пульта, невозможность менять энергию ускоренных электронов по программе и др.

Важным требованием к современной системе управления бетатроном является её связь с ПК оператора. Де-факто в архитектуре компьютерных систем применяются протоколы USB и Ethernet. Если длина шины USB в редких случаях может достигать более 5 метров, то расстояние между узлами сети Ethernet может превышать 100 м. Также важным преимуществом сети Ethernet является возможность использования протоколов высокого уровня TCP/IP, UDP, DHCP и др. Благодаря чему можно строить аппаратно независимые системы на базе Web-интерфейсов [5]. Но протокол Ethernet едва ли подходит

для применения в системе управления. Реализация протоколов высокого уровня (сетевого, транспортного) даже в минимальном объёме требует довольно больших затрат процессорного времени.

Наиболее доступными протоколами, применяемыми в промышленности являются CAN и RS-484. CAN разработан компанией Robert Bosch GmbH в середине 1980-х для автомобильной промышленности, но в настоящее время быстро внедряется в область промышленной автоматизации [6].

Так как первоначальное назначение протокола CAN была автомобильная промышленность, он устойчив к электромагнитным помехам и надёжен [7]. С помощью этого протокола можно лёгко организовать масштабируемую сеть, подключив все системы бетатрона к общей шине.

Структурная схема системы управления представлена на рис. 2. В нормальном рабочем режиме, пульт управления, используя ведущий контроллер, опрашивает блоки, комбинирует полученную информацию, отображает её на дисплее и передаёт по сети Ethernet. Являясь интерфейсом с оператором, пульт генерирует большинство управляющих и сервисных команд.

Подключение блоков бетатрона и их совместная работа происходит посредством двух шин – шины связи (CAN) и шины синхронизации.

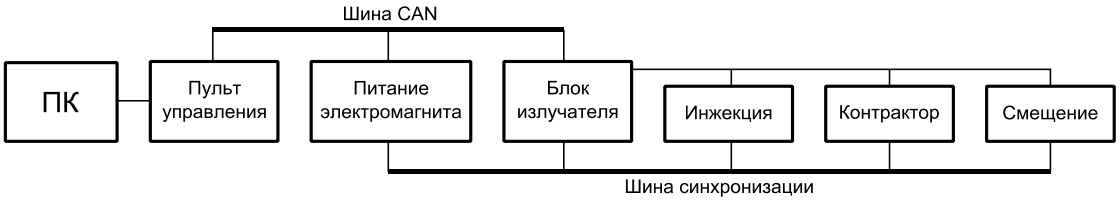


Рис. 2. Архитектура распределённой системы управления

Физической линией связи являлась витая пара с согласовывающими резисторами. Важным требованием к работе сети являлась гальваническая развязка блоков, поэтому контроллеры шины CAN сообщаются посредством оптопар.

В нормальном рабочем режиме, пульт является ведущим контроллером, он опрашивает блоки, комбинирует полученную информацию, отображает её на дисплее и передаёт по сети Ethernet. Являясь интерфейсом с оператором, пульт генерирует большинство управляющих сигналов. Все пакеты сети CAN являются широковещательными, но для экономии процессорного времени реализованы специальные фильтры, позволяющие отсеять сообщения, предназначенные отдельно взятому блоку. Тем не менее, в случае отказа одного из контроллеров или возникновения аварийной ситуации, информация об ошибке напрямую поступает на все остальные блоки, и система останавливает свою работу. Управляющие сообщения и сообщения об ошибке имеют наивысший приоритет.

Обе шины обеспечивают высокую нагрузочную способность, т.е. одновременно к ним могут подключаться до нескольких десятков устройств. Такое решение позволяет легко наращивать и исключать количество необходимых для конкретной задачи блоков, превращая систему управления в конструктор.

Управляющими контроллерами системы блоков бетатрона были выбраны микроконтроллеры семейства STM32. Они обладают всей необходимой для построения системы периферией и достаточным быстродействием. Важным решением в модернизации системы управления бетатроном было использование в контроллерах блоков операционной системы реального времени (ОСРВ). Благодаря разделению выполняемых задач на параллельные процессы удалось достичь более высокого уровня абстракции, что

заметно упростило разработку и отладку программного обеспечения. Также, значительно сократилось время разработки управляющих программ за счет инкапсуляции задач и их параллельной разработкой разными программистами. Кроме того, применение операционной системы позволяет пользователям при необходимости самостоятельно разрабатывать отдельные модули ПО под конкретную задачу.

Результаты тестирования

Существенно сократилось количество физических линий связи между блоками, что позволило исключить несколько многожильных кабелей, используемых в предыдущих системах.

Протокол CAN хорошо показал себя в условиях сильных электромагнитных помех. Шина протокола располагается вблизи проводников, с протекающими в них токами порядка 200 А.

Являясь импульсным источником рентгеновского излучения, в случае интеграции в систему, требующую синхронизации источника и детектора, бетатрон должен запускать импульс излучения строго по заданному сигналу извне. Использование высокоскоростного контроллера на базе ARM архитектуры с ОСРВ позволило получить дисперсию времени срабатывания 50 нс.

Заключение

В ходе работы была разработана и протестирована система управления индукционным ускорителем электронов – бетатроном. Основным отличием системы от применяемых ранее является её масштабируемость (возможность расширения путём подключения дополнительных устройств по шине CAN), децентрализованность (имеется несколько контроллеров, независимо друг от друга обменивающихся информацией) и использование ОСРВ (позволяет перейти на новый уровень абстракции и сделать алгоритмы управления более универсальными).

Разработанная система хорошо показала себя в условиях сильных электромагнитных помех, продемонстрировала надёжность и высокую скорость работы. Описанная архитектура системы является основным кандидатом для применения в индукционных ускорителях нового поколения, разрабатываемых в ТПУ.

Список литературы

[1] Kerst D.W. Historical development of the betatron // Nature. 1946. Vol. 157, № 3978. P. 90–95.

[2] Chao A. W. et al. Handbook of accelerator physics and engineering // Handbook of Accelerator Physics and Engineering (2nd Edition). Edited by Chao Alexander Wu et al. Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2013. ISBN# 9789814415859. – 2013. – Т. 1.

[3] Livingston, M. S.; Blewett, J. Particle Accelerators. New York: McGraw-Hill. – 1962.

[4] Volkov V.G. et al. Russian Federation patent RU 92285 U1. 2009. P. 11.

[5] Tanenbaum A. S. Computer Networks 4th Edition //ed: Prentice Hall. – 2003.

[6] CAN History. CAN in Automation. http://www.can-cia.org/

[7] ISO 11898-1:2003 – Road vehicles Controller area network // International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. – 2003.

РАЗРАБОТКА ФАНТОМА ГОЛОВЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВЫХ ТРАВМ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Тимченко К.А., Новосельцева А.П., Аристов А.А.,
Научный руководитель: Аристов А.А., к.н.т., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр Ленина, 30, 634050
E-mail: tina_tim7@mail.ru

DESIGNING OF PHANTOM HEAD USED IN OPTICAL DIAGNOSTICS OF BRAIN INJURY

Timchenko K.A, Novoseltseva A.P., Aristov A.A.
Scientific Supervisor: Aristov A., PhD in Technical Sciences, Associate professor
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: tina_tim7@mail.ru

При травматических повреждениях мозга крайне важно оперативно выявить наличие внутричерепных гематом. До сих пор основным точным инструментальным методом выявления таких повреждений является томография, однако возможность проведения томографического обследования пациента сразу после травмы практически отсутствует. В связи с этим, задача создания прибора, оперативно выявляющего наличие внутричерепных повреждений, является актуальной. Для решения данной задачи предлагается подход, основанный на спектроскопии в оптическом диапазоне волн [1].

После разработки нами варианта конструкции прибора [2], для проверки работоспособности метода, мы столкнулись с сложностью проведения экспериментов. Для этого в идеале необходимо иметь пациентов, имеющих повреждения с известными (по данным ЯМР томографии) характеристиками гематом. Однако проведение испытаний непосредственно на человеке не могут быть разрешены комитетом этики, без предварительных опытов на животных или моделях физически близких к реальным объектам, на которые направлено исследование. Решить эту проблему представляется возможным с использованием искусственных образцов биотканей (фантомов) с близкими к реальным объектам свойствами. В нашем случае это в первую очередь оптические свойства.

Так как основной вклад в ослабление приходящего на приемник сигнала вносят костная и мозговая ткани, в рамках нашего проекта в фантоме будут моделироватся три ткани: косная, мозговая и собственно сама гематома. Мозговая ткань - это совокупность большого числа нейронов, которые представляют собой нервные волокна, окруженные миелиновыми оболочками. Они и вносят основной вклад в ее оптические свойства. Предположено заменить данную ткань вязкой дисперсной жидкостью на основе масляной эмульсии. В частности на первом этапе исследований было предложено использовать майонез. Кость - это одна из наиболее важных модельных сред, поэтому она должна наиболее полно отвечать свойствам реального объекта. По результатам визуальной оценки интенсивности и размеров пятна рассеянного излучения от лазерного источника, полученных при просвечивании кости трепанированной с головы человека и образцов мутных пластиков, наше предпочтение было отдано фторопласту с той же толщиной, что и черепная кость. Гематома моделируется свернувшейся кровью человека, помещенной в силиконовую прозрачную ёмкость.

Мы провели оценку оптических свойств выбранных модельных материалов в сравнении с реальными образцами моделируемых тканей. Для исследования использовался полихроматический источник излучения (галагеновая лампа). Оценивалась интенсивность прошедшего и обратно рассеянного излучения через исследуемые образцы материалов и биотканей.

Измерения проводились с использованием фотометрической сферы. Данные с фотоприемника фиксировались и обрабатывались при помощи спектрографа Ocean Optics модели USB4000-IVS-NIR-ES. Образцы (корковое вещество мозга свиньи и кровь) помещались в тонкостенные кюветы толщиной 2мм. Фторопластовая пластина имела толщину равную средней толщине кости черепа человека.

Ниже приведены спектральные зависимости для исследуемых образцов, полученные в ходе исследования. На рис. 1 приведены спектры прошедшего излучения через мозг и среду, предположительно способную имитировать его в фантоме (майонез 70%).

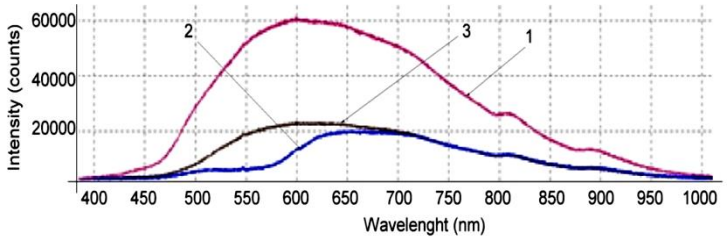


Рис. 1. Спектры прошедшего излучения через объекты. 1 –источника излучения без объекта, 2 – после прохождения через мозг, 3 – после прохождения через майонез.

Очевидно, что наибольшее совпадение характеристик, а это нам и требуется, наблюдается с 650 нм и далее (красная и ИК области спектра). Это подтверждается и графиком интенсивности прошедшего излучения (рис. 2). Оба образцы в этой области пропускают излучение одинаково, около 30%.

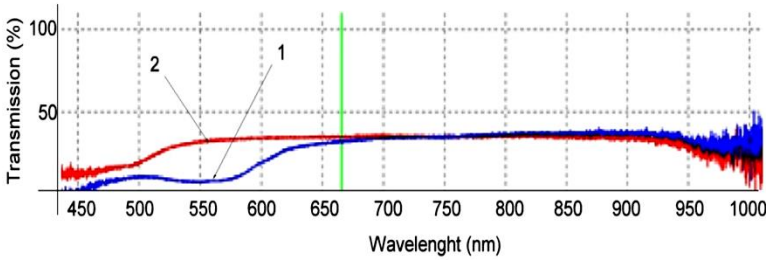


Рис. 2. Графики интенсивности прошедшего излучения через образцы. 1 – мозг, 2 – майонез.

Такое же исследование было проведено с костной тканью и фторопластом (рис. 3). Здесь наблюдается наибольшее совпадение характеристик с 750 нм. Что подтверждается и кривыми интенсивности прошедшего излучения (рис. 4). Как видно из графиков разброс между параметров кости и фторопласта в области от 750 нм и до 950 нм составляет около 5%.

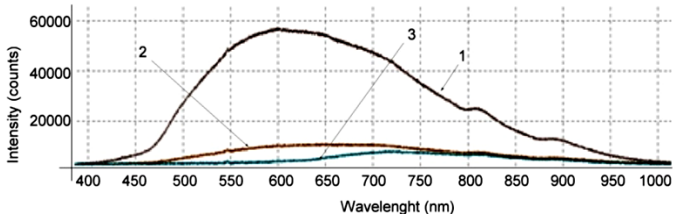


Рис. 3. Спектры прошедшего излучения через объекты. 1 –источника излучения без объекта, 2 – после прохождения через фторопласт, 3 – после прохождения через кость.

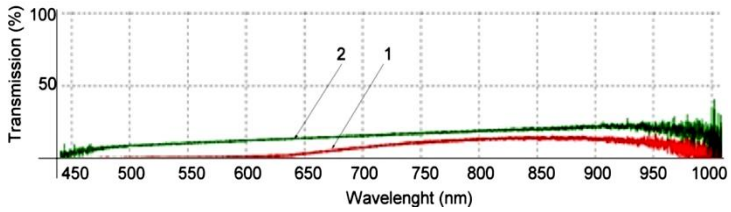


Рис. 4 Графики интенсивности прошедшего излучения через образцы. 1 – кость, 2 – фторопласт.

При исследовании образцов свернувшейся и не свернувшейся крови (рис. 5) было выявлено, что реакция на излучение в начинается с 600 нм. Достигает своего пика на 650 нм и затем постепенно спадает, но все же полностью не пропадает. Наибольшее различие в поглощении у образцов наблюдается на 650 нм, что подтверждается и кривыми интенсивности прошедшего излучения (рис. 6). На 650 нм разница составляет около 15-18%, тогда как в области 800 нм не более 6%.

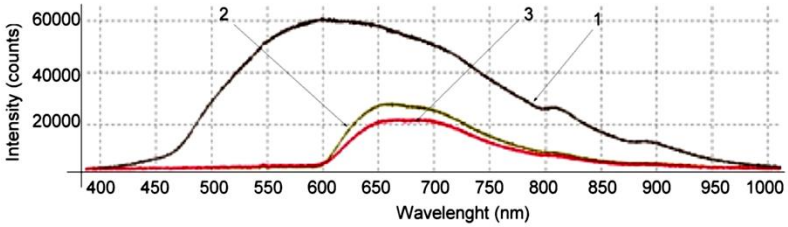


Рис. 5 Спектры прошедшего излучения через объекты. 1 – без объекта, 2 – не свернувшаяся кровь, 3 – свернувшаяся кровь.

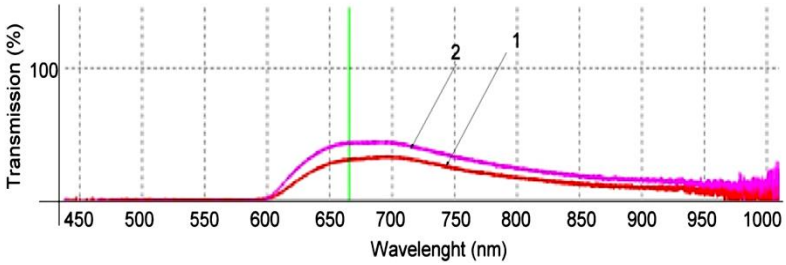


Рис. 6 Графики интенсивности прошедшего излучения через образцы. 1 – свернувшаяся кровь, 2 – не свернувшаяся кровь.

На основе данного факта можно сделать вывод, что наиболее специфичной для выявления гематомы (которая представляет собой сгусток свернувшейся крови) на фоне не свернувшейся крови, является красная область спектра. И, следовательно, проводя сравнительный анализ на этих двух длинах волн, можно более точно выделить участок с гематомой. В целом, в результате проведенных экспериментальных исследований доказана возможность применения выбранных нами модельных искусственных материалов для создания фантома головы для проведения оптических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зимняков Д.А., Тучин В.В. Оптическая томография тканей. Кантовая электроника., 2002, Т.32, №10, с.849-867.

2. Kristina A. Timchenko, Alexandr A Aristov, Ilya S. Musorov, Tatyana G. Evtushenko Development of Optoelectronic System for Subdural Hematoma Diagnostics // XV Международная конференция молодых специалистов по мокро/нанотехнологиям и электронным приборам (EDM2014) Изд-во NSTU Printing office, Novosibirsk State Technical University, 2014. – С 319-322.

РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНИРУЮЩЕГО ПРИБОРА НА ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЁТКАХ

Фазлыйяхматов М. Г.
Научный руководитель: Кашапов Н.Ф., профессор, д.т.н.
Казанский федеральный университет
Россия, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18, 420008
E-mail: mfazlyjy@kpfu.ru

ULTRASONIC SCANNING SYSTEM BASED ON PHASED ARRAY

Fazlyyyakhmatov M.G.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Kashapov N.F.
Kazan Federal University, Russia, Kazan, Kremlyovskaya str., 18, 420008
E-mail: mfazlyjy@kppu.ru

The given work is devoted to development of multi-channel ultrasonic scanning system. Block diagram of a system is proposed and realized. The system consists the transmitting part, receiving part and the switch transmission/reception. The system operates under the control of a computer and the FPGA. Communication between the computer and the FPGA is made via USB-interface. Designed equipment is part of a multi-channel ultrasonic sensing system for phased array and can work with two-dimensional matrices of piezoelectric transducers.

Большинство современных дефектоскопов имеют высокую цену и в связи с этим ограниченную область применения [1]. В связи с этим актуальной является задача разработки более дешёвого отечественного прибора для ультразвуковой диагностики многофазных и биологических объектов, а также и для других областей применения, в частности, для дефектоскопии.

Одним из основных направлений развития современной аппаратуры ультразвукового зондирования, диагностики и дефектоскопии являются многоканальные системы на фазированных решётках.

Главная особенность технологии ультразвуковых фазированных решёток (ФР) – управляемые компьютером амплитуда и фаза импульсов возбуждения отдельных пьезоэлементов в многоэлементном преобразователе. Возбуждение пьезоэлементов может осуществляться таким образом, чтобы была возможность управлять параметрами ультразвукового луча, например, углом, фокусным расстоянием, размером фокусного пятна посредством компьютерной программы [1]. Это позволяет обнаруживать дефекты, различно ориентированные относительно акустической оси. Таким образом, технология зондирования с ФР позволяет исследовать целые сектора образца без механического перемещения самой решётки.

К наиболее важным параметрам системы ультразвукового контроля на ультразвуковой фазированной решётки относятся: диапазон изменения фокусных расстояний, диапазон углов сканирования, разрешение в продольном направлении и разрешение в поперечном направлении.

Минимальное расстояние, на котором можно производить измерения, определяется длительностью зондирующего импульса τ. Минимальное расстояние определяется по формуле 1 [2].

$$d_{\min} = v\tau \,, \tag{1}$$

где ν - скорость распространения звука в среде.

Тогда длительность τ для минимального расстояния d_{min} = 1 мм (при t = 20^0 С) для стали составит 190 нс, для биологической ткани или воды 650 нс [3].

Максимальное расстояние без учёта затухания сигнала в среде, на котором производятся измерения, определяется периодом повторения зондирующих импульсов Т. Максимальное расстояние определяется по формуле 2.

$$d_{\max} = vT \,. \tag{2}$$

Для максимального расстояния 500 мм период повторения должен быть не менее 85 мкс для стали, для биологической ткани или воды 33 мкс [3].

Разрешение при определении расстояния в направлении распространения ультразвуковой волны может быть оценено по формуле 3 [2].

$$\delta d_z = \frac{v\Delta\tau}{2}, \qquad (3)$$

где $\Delta\tau$ – длительность фронта зондирующего импульса. Современная элементная база позволяет получить длительность фронта $\Delta\tau$ <3нс. Тогда как период дискретизации АЦП позволяющего осуществлять на порядок больше и составляет 30 нс. Поэтому разрешение в продольном направлении будет определяться периодом дискретизации АЦП. Примем $\Delta\tau$ = 30 нс, в этом случае разрешение в продольном направлении составит для стали δd_z = 0.1 мм для воды δd_z = 0.03 мм.

Структурная схема системы ультразвукового зондирования показана на рис.1.

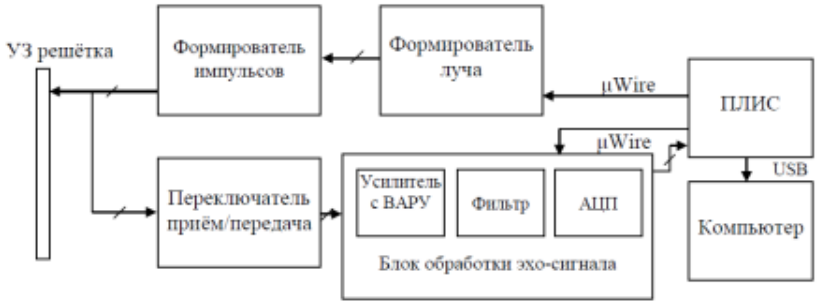


Рис. 1. Структурная схема ультразвукового сканирующего прибора.

Система работает под управлением Компьютера и ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема). Связь компьютера и ПЛИС производится по сетевому протоколу USB.

Передающая часть структурной схемы состоит из блока формирования луча, формирователя импульсов. Блок формирования луча формирует задержки формирования импульсов для каждого канала УЗ излучателя. Формирователь импульсов подаёт на УЗ излучатели импульс напряжения до 50В с заданной длительностью и задержкой. Формирователь импульсов работает под управлением сигналов формирователя луча.

Отражённая от неоднородностей исследуемого материала УЗ волна возвращается на УЗ элементы и преобразуется в электромагнитную энергию.

Сигнал от УЗ элементов поступает на переключатель приём/передача. Переключатель приём/передача необходим для защиты высокочувствительных цепей усиления и оцифровки от высоковольтных импульсов зондирования, поскольку и приёмник, и передатчик подключены к одной и той же цепи УЗ элементов.

Далее принятый эхо-сигнал поступает в блок обработки эхо-сигнала. Блок обработки эхо-сигнала состоит из усилителя с ВАРУ (временная регулировка усиления), фильтра, АЦП. Эти цепи усиливают сигнал до необходимого для АЦП уровня, фильтрацию сигнала от помех и сигнала зеркальных частот.

ПЛИС программирует параметры всех блоков системы (кроме компьютера). Кроме того, ПЛИС осуществляет приём высокоскоростного потока данных с АЦП, первичную обработку принятых данных и передачу данных на компьютер. Компьютер управляет работой всей системы, проводит вторичную обработку принятых данных и отображает результаты на экране.

Для реализации блоков усилителя с ВАРУ, фильтра и АЦП была выбрана микросхема AFE5851 фирмы Texas Instruments. Микросхема имеет последовательный порт передачи данных LVDS.

В качестве переключателя приёма/передачи выбрана микросхема TX810 фирмы Texas Instruments.

AFE5851 и TX810 микросхемы специализированы для УЗ аппаратуры на ФАР и полностью реализуют приёмный тракт эхосигнала.

Теоретический предел максимальной частоты входного эхо-сигнала задаётся АЦП и составляет чуть более 16 МГц. На рис.2. показан эхо-сигнал частотой 9 МГц, оцифрованный AFE5851.

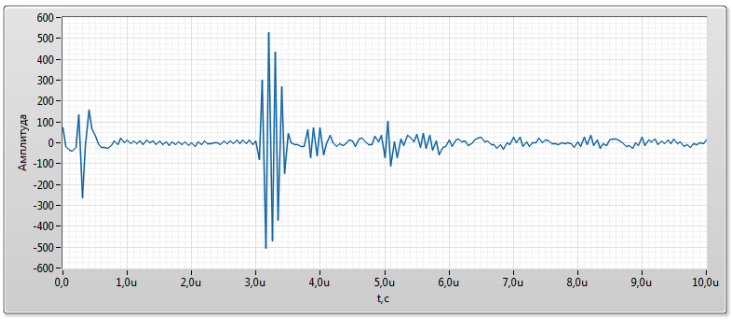


Рис. 2. Эхо-сигнал УЗ датчика частотой 9 МГц, оцифрованный AFE5851.

Частоту дискретизации АЦП можно менять посредством регулировки внешнего тактового генератора, подключаемого к AFE5851. Для этого был выбран генератор с кварцевой стабилизацией и с возможностью переключения частоты генерации. Выходной сигнал AFE5851 передаётся на ПЛИС посредством LVDS интерфейса.

В качестве формирователя луча и формирователя импульсов были выбраны микросхемы LM96550 и LM96570 фирмы National Semiconductors.

Для монтажа радиоэлементов приёмного и передающего трактов была разработана и изготовлена 4-хслойная печатная плата. Один из внутренних слоёв отведён для соединения общего провода "земли".

При реализации блока ПЛИС удобно использовать уже разработанные платы прототипирования. Нами была использована плата Genesys™ Virtex-5 FPGA Development Board фирмы Xilinx. Такие платы имеют готовые интерфейсы LVDS, USB, 100Base-T, стабилизаторы электропитания.

Программное обеспечение разработано в среде LabView. Оно представляет собой графический пользовательский интерфейс, позволяющий осуществлять конфигурацию оборудования, а затем осуществлять измерения принимаемого ультразвукового сигнала, его отображение и сохранение.

Таким образом, нами был разработан и изготовлен 32-х канальный прибор ультразвукового зондирования на фазированных решётках. Сочетание разработанных оригинальных блоков приёма-передачи эхо сигнала и подобранных серийно выпускаемых блоков ПЛИС и персонального компьютера позволяют решать наши научные задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Фазлыйяхматов М.Г. и др. // Нигматуллинские чтения-2013: Сб. тез. докл. междунар. науч.-техн. конференции. – Казань, 2013. – С. 134-137.
2. Moles M Advances in Phased Array Ultrasonic Technology Application: R/D Tech Guideline. - Waltham: Olympus NTD, 2007. – 492 c.
3. Фазлыйяхматов М.Г. и др. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2014. - № 69 (1), 012012

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ РОТОРОВ-МАХОВИКОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ В МЕТОДЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Фасхутдинов Р.М.
Научный руководитель: Гаврилин А.Н., к.т.н., доцент.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: rinat4a96@gmail.com

RAISING THE ACCURACY OF DETERMINATION THE MOMENT OF INERTIA OF ROTORS-FLYWHEELS MECHANICAL GYROSCOPE IN METHOD OF TORSIONAL OSCILLATIONS

Faskhutdinov R.M.
Scientific Supervisor: Docent, Candidate of Engineering Sciences, Gavrilin A.N.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: rinat4a96@gmail.com

К космическим аппаратампредъявляются высокие требования к точности, в частности к точности определения их ориентации.

Точность механического гироскопа определяется, прежде всего, временем ухода (град/час). Погрешность в приборе возникает вследствие неточности и несовершенства элементов конструкции, так что возникают моменты внешних сил, действующие на гироскоп и отклоняющие главную ось его вращения от заданного направления в пространстве [1]. Отсюда следует, что для повышения точности определенияскорости ухода и определения кинетического момента, механического гироскопа, необходимо с высокой точностью определять момент инерции роторов-маховиков.

В установках, измеряющих момент инерции роторов-маховиков, типа унифиляр [2], существует проблема передачи вибраций от привода торсиона на ротор-маховик. Эти вибрации изменяют период колебаний роторов-маховиков, что приводит к недостоверным результатам вычисленных значений моментов инерции. Поэтому в данных конструкциях необходимо применение демпфера. Схема и состав установки представлен на рисунке 1.

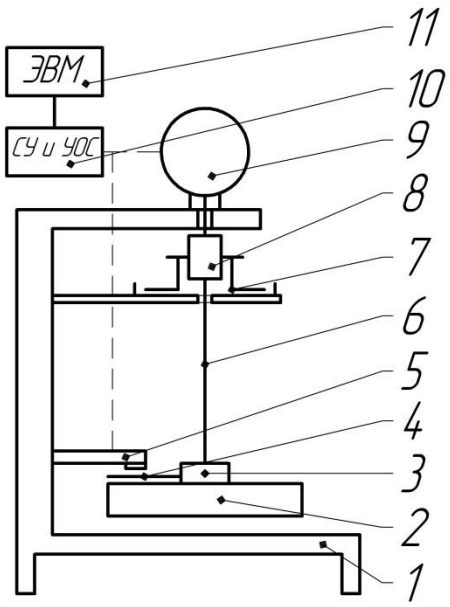
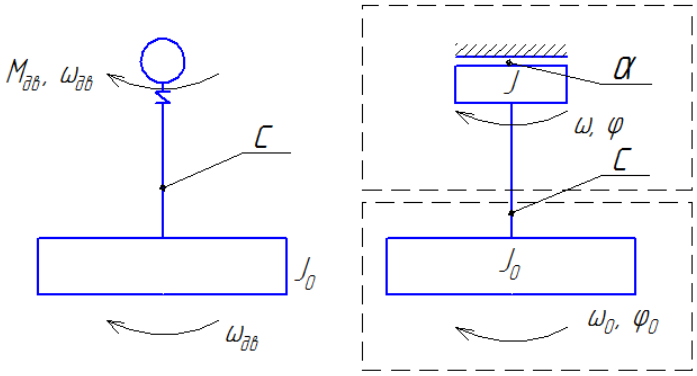


Рис. 1. Состав установки: 1 – корпус установки; 2 – ротор-маховик; 3 – оправка; 4 – флажок-шторка; 5– датчик; 6 – торсион; 7 – муфта; 8 – демпфер; 9 – шаговый электродвигатель с тормозом; 10 – система управления и устройство обработки сигнала; 11 – компьютер

Принцип работы: торсион 6, через муфту 8, закручивается шаговым электродвигателем 9 на необходимый угол φ с частотой ω. Отключается двигатель. Демпфер 8 гасит колебания, передающиеся от двигателя, и замедляет его частоту вращения. Через промежуток времени равный t (за это время скорость вращения вала двигателя должна стать минимальной в первой четверти периода колебаний), включается электромагнитный тормоз двигателя. Ротор-маховик 2 совместно с оправкой 3 под действием моментов инерции и упругости, совершает колебания, периоды которых регистрируются датчиком 5. Данные обрабатываются и передаются на ЭВМ.

Для того чтобы определить время t, после которого включится электромагнитный тормоз, необходимо составить математическую модель данной установки. Схожие задачи решались в работах [3,4].

Схемы математических моделей динамической системы, установки измерения момента инерции, представлены на рисунке 2 (моментом трения о воздух и внутренним трением торсиона пренебрегаем).



а б

Рис. 2 Схемы математических моделей
а – в момент начала закрутки, б – в момент отключения двигателя

Система дифференциальных уравнений в момент отключения двигателя:

$$\begin{cases} \mathrm{M_и} + \mathrm{M_{тр}} - \mathrm{M_{упр}} = 0 \\ \mathrm{M_{и0}} + \mathrm{M_{упр}} = 0 \end{cases}. \quad (1)$$

где M_u – момент инерции ротора двигателя, соединительной муфты и вращающихся частей демпфера (далее ротора);

$M_{и0}$ – момент инерции маховика и оправки (далее маховика);

$M_{упр}$ – момент упругости торсиона;

$M_{тр}$ – момент вязкого трения в демпфере.

Запишем систему уравнений (1) в развернутом виде:

$$\begin{cases} I \cdot \varepsilon + \alpha \cdot \omega - c \cdot (\varphi_0 - \varphi) = 0 \\ I_0 \cdot \varepsilon_0 - c \cdot (\varphi - \varphi_0) = 0 \end{cases}. \quad (2)$$

где $I, \varepsilon, \omega, \varphi$– приведённый момент инерции, угловое ускорение, угловая скорость, и угловое перемещение ротора, соответственно;

I_0 , $\varepsilon_0, \omega_0, \varphi_0$– приведённый момент инерции, угловое ускорение, угловая скорость, и угловое перемещение маховика, соответственно;

c – жесткость торсиона;

α – вязкое трение в демпфере.

Зададимся параметрами: $I = 0{,}1$ кг $\cdot$ м^2, $I_0 = 0{,}003$ кг $\cdot$ м^2; $c = 0{,}041$ Н $\cdot$ м, при диаметре торсиона – 1 мм, материале – сталь 65Г, длине торсиона 200 мм; $\alpha = 0{,}1$, при масляном зазоре 0,7 мм, площади контакта 0,005 м^2, радиусе диска 0,045 м, кинематической вязкости масла $\gamma = 8000 \frac{\text{мм}^2}{\text{с}}$, плотности масла $\rho = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Решим систему дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутта четвертого порядка, в среде MATLAB, при начальных условиях:

$$\varphi_0 = 0 \text{ рад}; \varphi_1 = 0 \text{ рад}; \omega_0 = 2{,}1 \text{ рад/с}; \omega_1 = 2{,}1 \text{ рад/с};$$

Решая систему уравнения (2) получим график изменения угловой скорости ротора во времени (рис. 3).

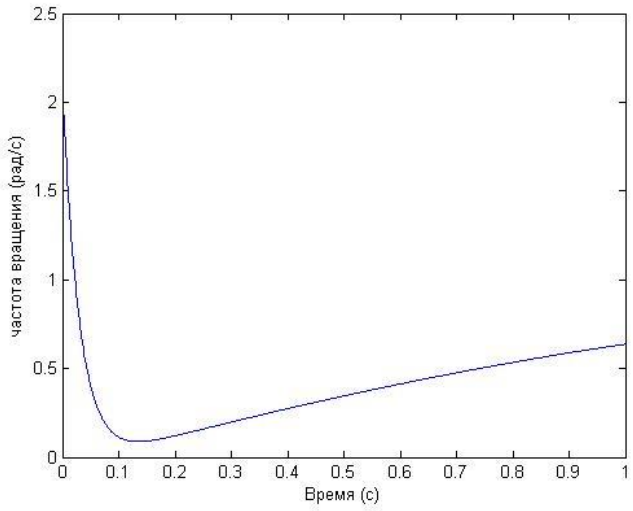


Рис. 3. Изменение угловой скорости ротора во времени

Из графика видно, что скорость ротора становится минимальной, после отключения двигателя, через время t = 0,12 секунды. Включение электромагнитного тормоза, после времени t, обеспечит достоверность и стабильность процесса закрутки двигателем торсиона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Карпенко С.О. Средства определения ориентации на борту малого КА. Обзор. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, Молодежный космический центр, 2001 – 16 с.

2. Гернет М.М., Ратобыльский В.Ф. Определение моментов инерции. «Машиностроение», 1969. – 249 с.

3. Инновационная разработка в области повышения производительности и точности лезвийной обработки на станках с ЧПУ. Гаврилин А.Н., Рожков П.С., Ангаткина О.О. Контроль. Диагностика. 2011. № 2. С. 52-55.

4. Стенд для диагностики колесно-моторных блоков рельсовых транспортных средств. Крауиньш П.Я., Смайлов С.А., Иоппа А.В., Гаврилин А.Н., Дружинин Н.В., Кочетков А.А., Богдан А.А.патент на изобретение rus 2134870 27.05.1998

ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ БУЛЛЕЗНОЙ КЕРАТОПАТИИ

Филиппова Е.О., Сыпченко В.С.
Научный руководитель: проф., д.ф-м.н. Пичугин В.Ф., Лингвист: к.ф.н. Полякова Н.В.
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30
katerinabosix@mail.ru

APPLICATION OF PET TRACK MEMBRANES IN SURGICAL TREATMENT OF BULLOUS KERATOPATHY

Filippova E.O., Sypchenko V.S.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Pichugin V.F.
Interpreter: PhD. Polyakova N.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
katerinabosix@mail.ru

Буллезная кератопатия является тяжелым, прогрессирующим заболевание, связанным с декомпенсацией эндотелиального слоя роговицы. В патогенезе ЭЭД ведущую роль играет несостоятельность барьерной функции слоя клеток эндотелия, что ведет к пропитыванию внутриглазной жидкостью стромы с постепенным распространением отека на всю толщу роговой оболочки, следствием чего является нарушение прозрачности роговицы и значительное снижение остроты зрения []. Постепенно в патологический процесс вовлекается передний эпителий с возникновением шероховатости и булл, вскрытие которых сопровождается выраженным роговичным синдромом [1].

Поиск и создание биосовместимых материалов, способных поддерживать роговицу в слабо дегидрированном состоянии, является актуальной задачей [1].

Особый интерес представляют пористые мембраны небиологического типа на основе полимера полиэтилентерефталата (ПЭТФ), который является одним из распространенных представителей класса полиэфиров [2, 3].

Цель исследования – экспериментально in vivo изучить возможность применения трековых полимерных мембран на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) в хирургическом лечении ЭЭД роговицы.

Материал и методы исследования

Трековые мембраны (ТМ) «ТОМТРЕК» изготавливались из полиэтилентерефталата, облучением полимерной пленки ионами аргона $^{40}Ar^{+8}$ с максимальной энергией 41 МэВ. Щелочного травления производилось в водном растворе NaOH с 1.5 N концентрацией при температуре (77±5)°С. Для дополнительной сенсибилизации трековая мембрана облучалась ультрафиолетовым светом.

Плотность и размеры пор, полученных в трековых мембранах, определяли при помощи электронного микроскопа «Hitachi TM–1000». Топография поверхности определялась на комплексе «Centaur HR». Толщина мембран оценивалась с помощью электронного толщиномера «Tesa Unit» с точностью ±0.1 мкм.

Измерение краевого угла смачивания проводилось при комнатной температуре 25±2°С методом сидячей капли с помощью прибора «KRÜSS Easy Drop DSA 20» и специального программного обеспече-

ния, точность измерения ±0,1°. Для исследования использовали деионизованную воду []. На образцы наносились по четыре капли деионизированной воды объемом 3 мкл [4, 5]..

Контактный угол смачивания определялся в два этапа:

1) первый этап – на трековых мембранах сразу после травления в NaOH,

2) второй этап – в течение первых суток после автоклавирования.

Выполнена серия экспериментов на 6 кроликах породы Шиншилла массой 2,5-4,0 кг. В условиях операционной под наркозом каждому животному после обработки операционного поля с соблюдением правил асептики и антисептики моделировали ЭЭД путем механического повреждения и удаления эндотелия роговицы одного из глаз. Спустя 3 недели после индуцированного повреждения роговой оболочки и развития ЭЭД осуществляли имплантацию трековой мембраны толщиной 7 мкм диаметром 8,0 мм. При этом предварительно с помощью шпателя расслаивали строму роговицы, далее между слоями основного вещества имплантировали мембрану из ПЭТФ с использованием цангового пинцета. В послеоперационном периоде закапывали растворы антибактериальных и противовоспалительных препаратов. Через 5 недель после имплантации ТМ животных выводили из эксперимента, глазные яблоки энуклеировали. Полученный материал фиксировали в 12% нейтральном формалине. Фиксацию проводили при комнатной температуре в течение 24 часов. Полученные срезы окрашивали гематоксилином и эозином, а также по методу Ван Гизона. Общая продолжительность эксперимента составила 8 недель.

Результаты и обсуждения

Характеристики полученных мембран следующие: толщина – 8,0 мкм, средний диаметр пор - 0,4 мкм, плотность пор - 5×10^6 пор/см^2.Для имплантации *in vivo* были вырезаны образцы в виде дисков, диаметром 8,0 мм (рис.1).

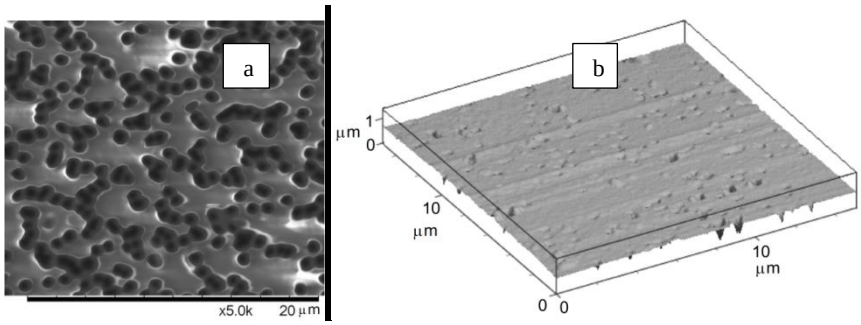


Рис. 1. Электронная микрофотография фрагмента трековой мембраны (a); АСМ профиль её поверхности (b).

Значение краевого угла смачивания трековых мембран увеличивается, в среднем, на 30% для случая стерилизации при температуре 120°С и на 35% при температуре стерилизации 130°С.

В ходе гистологических исследований были получены следующие результаты. Передний эпителий роговицы представлен 4-5 слоями плоского эпителия с нормохромными ядрами и сохранен на всем протяжении. Боуменова мембрана не изменена и визуализировалась в виде гомогенной эозинофильной полоски. В собственном веществе роговицы обнаруживались неравномерные умеренные изменения. В зоне имплантации ТМ обнаруживались лимфо-моноцитарная инфильтрация основного вещества и отек, чуть более выраженный в задней трети стромы - между имплантированной мембраной и десцеметовой оболочкой (рис 2).

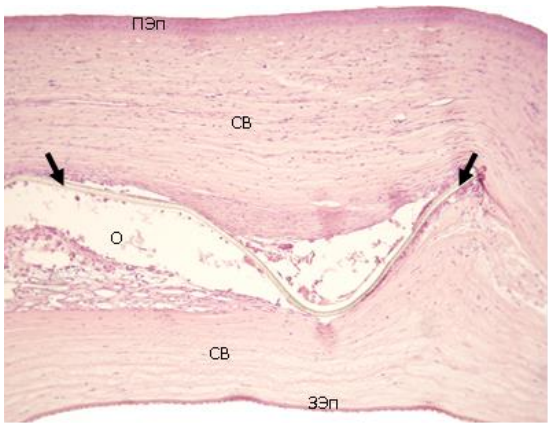


Рисунок 2. Изменения собственного вещества роговицы после имплантации мембраны (обозначена стрелками): отек (О) в задней части собственного вещества (СВ); ПЭп – передний эпителий роговицы; ЗЭп – задний эпителий роговицы. Окраска гематоксилином и эозином. х 80

В передней части основного вещества, между имплантированной мембраной и боуменовой оболочкой, коллагеновые волокна располагались более компактно. Среди них встречались единичные клеточные скопления, представленные, преимущественно, лимфоцитами и макрофагами, а также новообразованные сосуды. Задняя пограничная мембрана хорошо визуализировалась на всем протяжении и была представлена гомогенной эозинофильной полоской, чуть более широкой, чем боуменова мембрана.

Заключение. Стерилизация трековых полимерных мембран в автоклаве обеспечивает увеличение гидрофобности поверхности на 30 – 35 % в зависимости от температуры стерилизации, что позволяет считать автоклавирование перспективным методом нормализации движения жидкости в порах мембраны.

Имплантация трековых мембран в строму роговицы при ЭЭД протекает без отторжения имплантата и способствует стабилизации патологического процесса в роговой оболочке, что позволяет предполагать ПЭТФ трековые мембраны перспективными для нормализации движения жидкости в дистрофически измененной роговице. Предлагаемый метод хирургического лечения ЭЭД может быть рекомендован к апробации в клинических условиях.

Список литературы:

1. Filippova E.O., Sokhoreva V.V., Pichugin V.F. Study the possibility of using nuclear track membranes for ophthalmology // Membranes and membrane technology. – 2014. – Т.4. №4. – P. 1

2. Kannan, R. Y.; Scifalian, A. M. In Fundamentals of Tissue Engineering and Regenerative Medicine; Meyer, U.; Meyer, T.; Handschel, J.;Wiesmann, H. P., Eds.; Springer-Verlag: Berlin, 2009; pp 685–692.

3. Vincent Rerat, Vincent Pourcelle, Sabrina Devouge, Bernard Nysten, Jacquline Marchand-Brynaert, Surface Grafting on Poly(ethylene terephthalate) Track-Etched Microporous Membrane by Activation with Trifluorotriazine: Application to the Biofunctionalization with GRGDS Peptide//Journal of polymer science: Part A: Polymer chemistry DOI 10.1002/POLA. 2009, p. 195–208.

4. Nair P. D., Sreenivasan, K., Effect of steam sterilization on polyethylene terephthalate//Biomaterials 1984, 5, 305–306.

5. Junghoon Lee, Bo He and Neelesh A Patankar, A roughness-based wettability switching membrane device for hydrophobic surfaces //Journal of Micromechanical and Microengineering 15 (2005) 591–600

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕРВАЛЬНОГО ГОЛОСОВАНИЯ ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ РЕЖИМОВ СНА И БОДРСТВОВАНИЯ УЗЛОВ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Худоногова Л.И.
Научный руководитель: Муравьев С.В., профессор, д.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: likhud@tpu.ru

INTERVAL VOTING TECHNIQUE FOR ACTIVE AND DORMANT STATE SYNCHRONIZATION OF THE NODES IN WSN

Khudonogova L.I.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Muravyov S.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: likhud@tpu.ru

Energy conservation is one of the main issues of WSN research. To save energy and prolong sensor nodes lives, nodes operate in a duty-cycling work mode. Synchronous duty-cycling protocols require time synchronization in order to enable nodes to simultaneously sleep and wake up. In this paper, a method for nodes synchronization based on interval voting is proposed. The method allows to obtain consensus relation in a form of interval by means of sensor data fusion technique and apply it for nodes synchronization, thus solving a problem of choosing reference time node.

Введение

Одним из инструментов для решения проблемы согласования неточных, неполных или противоречивых данных, полученных от разных источников, является голосование [1]. В данной статье под проблемой голосования понимается нахождение ранжирования консенсуса для m ранжирований (избирателей) n кандидатов (альтернатив) из множества $A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$, причем каждое ранжирование $\lambda = \{a_1 \succ a_2 \succ ... \sim a_s \sim ... \sim a_n\}$ может включать $\succ$, строгое отношение предпочтения π, и $\sim$, отношение эквивалентности ν, такие что $\lambda = \pi \cup \nu$. Под консенсусом понимается такое ранжирование, которое по возможности равноудалено от всех m исходных ранжирований. Одним из широко используемых принципов нахождения отношения консенсуса является счет Борда. Суть принципа Борда состоит в следующем: каждый участник расставляет альтернативы в порядке предпочтения, формируя ранжирование; альтернативам в каждом ранжировании присваиваются ранги, т.е. последней альтернативе в ранжировании присваивается ранг равный нулю, а первой – ранг $(n - 1)$ при общем числе альтернатив n. Ранги, приписываемые каждой альтернативе, суммируются, и ее место в итоговом ранжировании определяется полученной суммой [2].

Правила и порядок, по которым определяется результат голосования, называются *алгоритмом голосования*. От выбора алгоритма голосования напрямую зависят энергетические затраты, скорость и надежность процесса голосования. В статье предлагается использовать алгоритмы голосования при агрегировании данных в распределенных измерительных информационных системах для решения проблемы энергосбережения.

Интервальное голосование

Одной из перспективных разновидностей алгоритмов голосования является *интервальное голосование*. Каждый участник голосования представляет свое мнение в виде не отдельно взятого значения, а интервала значений на вещественной оси, и все значения из этого интервала (альтернативы) являются одинаково подходящими с точки зрения участника. Данный тип алгоритма обладает важными преимуществами в контексте его применения в распределенных системах по сравнению с алгоритмами, в которых мнения представляют собой одно конкретное значение. Использование интервалов позволяет участнику

не ограничиваться одним значением, если несколько альтернатив представляются ему одинаково предпочтительными. Кроме того, при интервальном подходе посредством процесса агрегирования границы результирующего интервала часто могут быть найдены с большей точностью [3].

В большинстве работ [1, 3, 4], посвященных интервальному голосованию, интервал описывается своими верхней и нижней границами, т.е. наименьшим и наибольшим значением из ряда альтернатив. В данной статье рассматривается принципиально новый подход, предлагающий описывать интервал на основе ранжирования альтернатив, которое может включать строгое отношение предпочтения и отношение эквивалентности.

Пусть имеется m участников голосования, и каждый участник предлагает некоторый интервал, который по его мнению содержит наиболее предпочтительные значения. Все множество полученных интервалов обозначим за $I = \{i_1, i_2, ..., i_m\}$. Каждый интервал располагается на числовой прямой конечной длины (рис.1). Разделим прямую на n отрезков равной длины, присвоив верхней границе каждого отрезка значение из множества альтернатив $A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$. Теперь сформируем множество отношений предпочтения $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_m\}$, где каждое из m ранжирований $\lambda = \{a_1 \succ a_2 \succ ... \sim a_s \sim ... \sim a_n\}$ характеризуется строгим отношением предпочтения или отношением эквивалентности между альтернативами a. Если значение a попадает в интервал i, оно находится в отношении строгого предпочтения к альтернативам, остающимся за пределами интервала, и ставится на первое место в ранжировании для соответствующего участника.

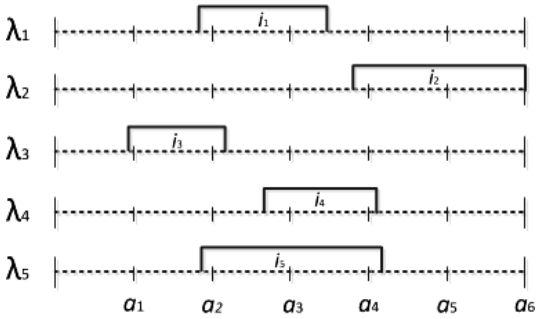


Рис. 1. Интервальное голосование с числом участников m = 5 и числом отрезков n = 6

Пусть число участников голосования $m = 5$, а число отрезков $n = 6$ (Рис.1). Тогда для каждого интервала, приведенного на рис.1, получим следующие ранжирования:

λ_1: $a_2 \sim a_3 \succ a_1 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_6$; λ_2: $a_4 \sim a_5 \sim a_6 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_3$; λ_3: $a_1 \sim a_2 \succ a_3 \sim a_4 \sim a_4 \sim a_6$; λ_4: $a_3 \sim a_4 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_5 \sim a_6$; λ_5: $a_2 \sim a_3 \sim a_4 \succ a_1 \sim a_5 \sim a_6$.

Применяя счет Борда, получаем суммарные ранги, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Суммарные ранги альтернатив

Альтернатива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
Суммарный ранг	1	3	3	3	1	1

Отношение консенсуса имеет вид:

β: $a_2 \sim a_3 \sim a_4 \succ a_1 \sim a_5 \sim a_6$.

Таким образом, результатом голосования является интервал, содержащий альтернативы $\{a_2, a_3, a_4\}$.

Применение интервального голосования для синхронизации работы узлов беспроводной сенсорной сети

Одной из важнейших задач, стоящих перед разработчиками беспроводных сенсорных сетей (БСС), является сохранение энергии при взаимодействии узлов сети. Поскольку узлы БСС имеют автономное питание, и замена источника питания обычно затруднительна, запас их энергии, и следовательно, время

жизни, ограничены. Для снижения энергопотребления БСС было предложено задействовать *циклический режим работы*, при котором радиомодуль узла находится то в активном, то в спящем режиме [5]. Циклический режим работы был реализован в ряде протоколов MAC-уровня, которые могут быть разделены на два типа: синхронные и асинхронные. В синхронных протоколах узлы «засыпают» и «просыпаются» одновременно. Основной проблемой таких протоколов является необходимость во временной синхронизации узлов, которая обычно сопряжена с большими затратами на коммуникацию и сложными вычислениями. Большинство предложенных алгоритмов используют синхронизацию, основанную на точечных временных оценках, однако такой подход требует дополнительной информации о качестве оценки. Кроме того, из-за дрейфа показаний локального времени на узлах использование точечных оценок часто оказывается неэффективным. Еще одна проблема состоит в том, что не всегда понятно, время какого узла использовать за опорное.

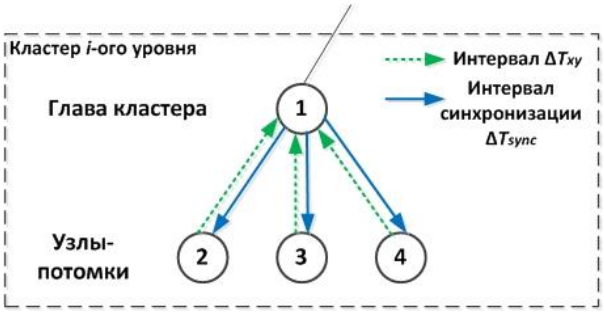


Рис.2. Схема временной синхронизации узлов в i-ом кластере

Интервальный подход, основанный на агрегировании временных интервалов, полученных от узлов, позволяет найти гарантированные временные границы и решает вопрос о том, какое время считать опорным. Пусть БСС имеет древовидную кластерную топологию. Для упрощенного представления будем рассматривать временную синхронизацию узлов в одном кластере (рис. 2). Узлы 2, 3 и 4 фиксируют интервал между двумя событиями x и y: $\Delta T_{xy} = t_y - t_x$, где t_x и t_y – время происхождения событий x и y соответственно. Все узлы кластера отправляют полученные интервалы узлу 1. Узел 1 запускает алгоритм агрегирования и находит отношение консенсуса, которое будет представлять собой точно выраженный оптимальный временной интервал ΔT_{sync}, который передается узлам 2, 3 и 4 для временной синхронизации в кластере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Muravyov S., Tao S., Chan M.C., Tarakanov E. Consensus rankings in prioritized converge-cast scheme for wireless sensor network // Ad Hoc Networks, vol. 24. – 2015. – P. 160–171.

2. Parhami B. Voting: A Paradigm for Adjudication and Data Fusion in Dependable Systems // Dependable Computing Systems: Paradigms, Performance Issues, & Applications. – Wiley – 2005. – P. 87-114.

3. Parhami B. Distributed Interval Voting with Node Failures of Various Types // Proceedings of the 21st International Parallel and Distributed Processing Symposium. – March 2007. – Long Beach, USA. – P. 1–7.

4. Berg D.E., Norine S., Su F.E., Thomas R., Wollan P. Voting in Agreeable Societies // The American Mathematical Monthly 117, vol.1. – 2010. – P. 27-39.

5. Ye W., Heidemann J., Estrin D. An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks // Proceedings of IEEE Infocom. – 2002. – P. 1567–1576.

СЕКЦИЯ 3

МАТЕРИАЛЫ
И ТЕХНОЛОГИИ
НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ

SESSION 3

MATERIALS
AND TECHNOLOGIES
NEW GENEATIONS

МИКРОСТРУКТУРА И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН

Агеева Е.В., Сазонова А.В., Осьминина А.С.
Научный руководитель: Агеев Е.В., профессор, д.т.н.
Юго-Западный государственный университет,
Россия, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94, 305040
E-mail: ageev_ev@mail.ru

THE MICROSTRUCTURE AND ELEMENTAL COMPOSITION OF ELECTROEROSION POWDERS USED IN THE PRODUCTION OF CARBIDE INSERTS

Ageeva E.V., Sazonova A.V., Os'minina S.A.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Ageev E.V.
Southwest state University, Russia, Kursk, 50 let Oktyabrya str., 94, 305040
E-mail: ageev_ev@mail.ru

Прогресс в технике, повышение требований к надежности и эффективности машин и механизмов, новые более жесткие режимы их функционирования требуют улучшения эксплуатационных характеристик деталей и материалов, из которых их изготавливают. При этом, получение материалов с особыми физическими характеристиками и структурой связано с использованием твердых сплавов, что делает особенно актуальным получение твердосплавных порошков из отходов.

В настоящей работе изложены вопросы, связанные с получением пригодных к практическому применению твердых сплавов из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов в керосине осветительном, и исследование их свойств.

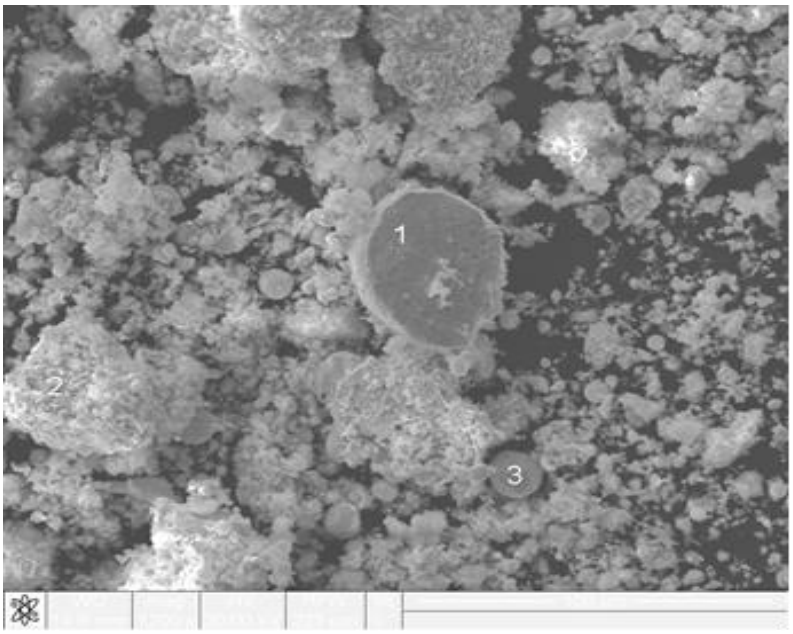
Проведенное исследование в области порошковой металлургии связано с современными методами исследования порошковых материалов из отходов вольфрамсодержащих спеченных твердых сплавов, полученных методом электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [1-5].

Целью настоящей работы являлось исследование микроструктуры и элементного состава порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования из вольфрамсодержащих отходов в керосине осветительном.

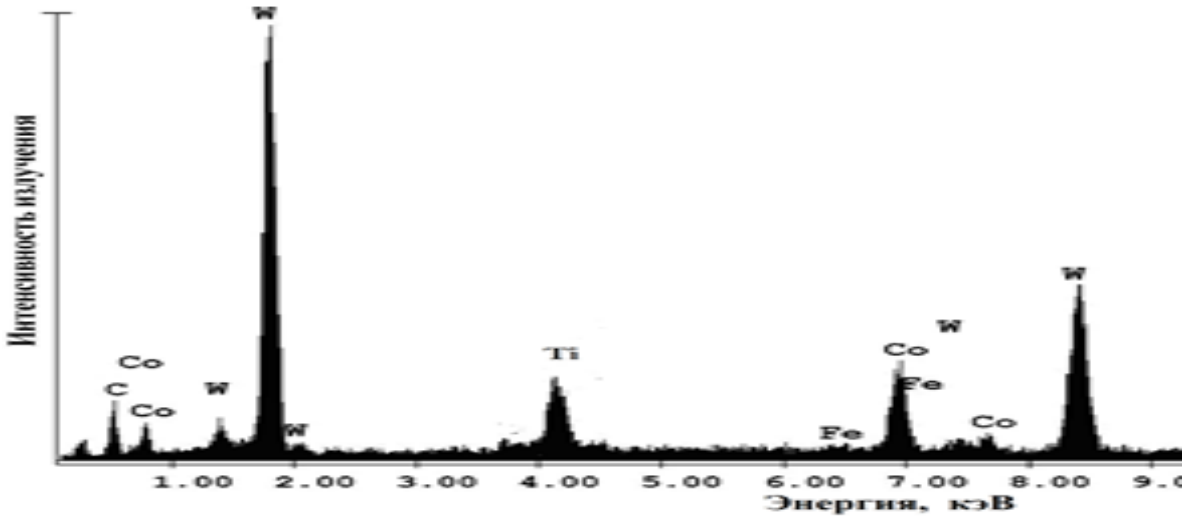
Для выполнения намеченных исследований выбраны пластины твердых сплавов марки Т15К6. В качестве рабочих жидкостей − керосин осветительный.

Для получения порошка из вольфрамсодержащих отходов методом электроэрозионного диспергирования использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов, разработанную авторами [6]. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение материала отходов с образованием дисперсных частиц порошка.

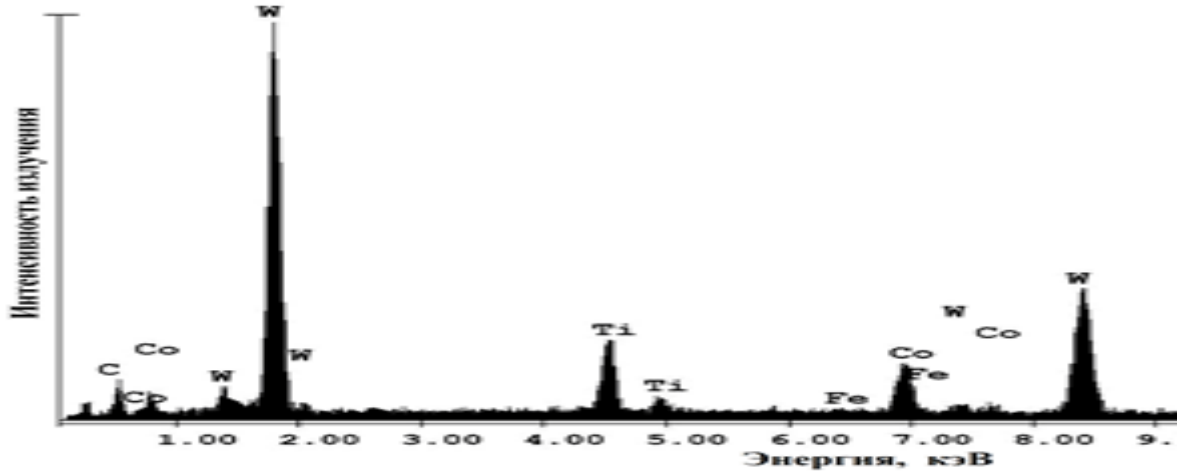
Снимки вольфрамсодержащих порошков, полученных методом электроэрозионного диспергирования вольфрамсодержащих отходов в керосине осветительном, представлены на рис. 1. Затем в точках 1-3, указанных на полученном снимке, с помощью энерго-дисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп «QUANTA 600 FEG», были получены спектры характеристического рентгеновского излучения в различных точках по поверхности образца порошка.


1
2
3

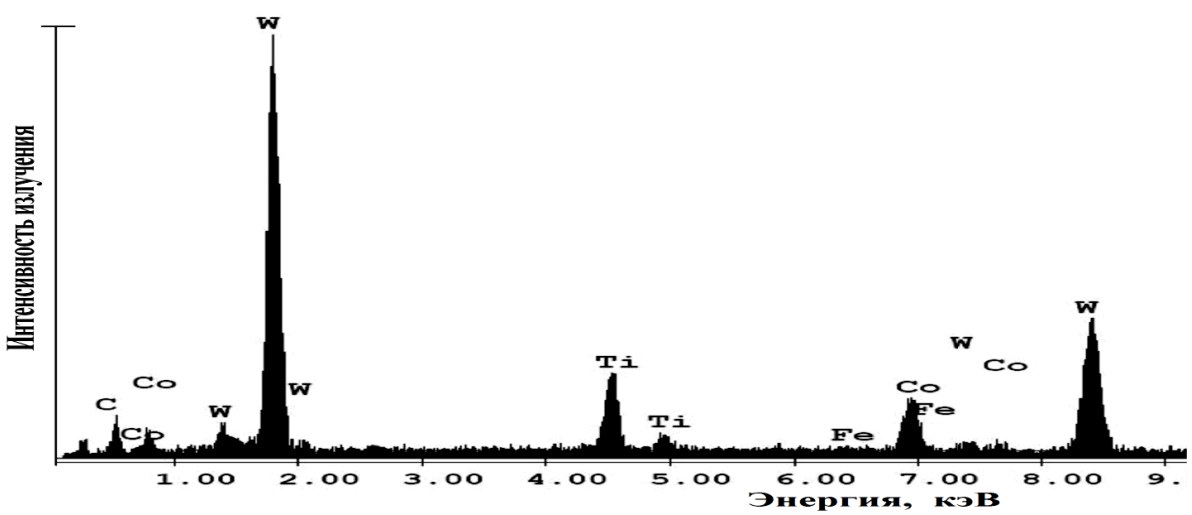
а)


Интенсивность излучения
W
Co
C
Co
W
W
Ti
Fe
Co
W
Fe
Co
W
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
Энергия, кэВ

б)


Интенсивность излучения
W
Co
C
Cr
W
W
Ti
Ti
Fe
Co
Fe
W
Co
W
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
Энергия, кэВ

в)



г)

Рис. 1. Морфология а) и элементный состав порошка, полученного ЭЭД в керосине осветительном в точке: б) 1; в) 2; г) 3

Точкам на рисунках соответствуют спектры характеристического рентгеновского излучения. На спектре каждому химическому элементу соответствует пик определенной высоты.

Таким образом, рентгеноспектральный микроанализ позволил определить элементный состав микрообъектов частиц порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования вольфрамсодержащих отходов в воде дистиллированной, и сплава, синтезированного из этого порошка.

Установлено, что основными элементами в порошках, полученных электроэрозионным диспергированием, в керосине осветительном являются W, Ti и C.

Работа выполнена по теме государственного задания Минобрнауки России (Проект №2104).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дворник М.И. Разработка физико–химических и технологических основ переработки вольфрамокобальтового твердого сплава электроэрозионным диспергированием: дисс. … канд. техн. наук. – Хабаровск, 2006. – 116 с.

2. Латыпов Р.А. Разработка и исследование твердосплавных изделий из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердосплавных отходов // Международный научный журнал. – 2013. – № 2. – С. 107–113.

3. Агеев Е.В. Разработка оборудования и технологии для получения порошков из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов, пригодных к промышленному использованию / Е.В. Агеев, Е.В. Агеева // Вестник машиностроения. – 2013. – № 11.– С. 51–57.

4. Агеев, Е.В. Получение, исследование и практическое применение износостойких порошковых материалов из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов [Текст] / Е.В. Агеев // Технология металлов. − 2012. −№. 9. − С. 36–45.

5. Агеев Е.В. Получение порошков из отходов твердых сплавов методом электроэрозионного диспергирования // Электрометаллургия. – 2011. – № 10. – С. 24–27.

6. Патент 2449859, Российская Федерация, C2, B22F9/14. Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов / Агеев Е.В.; заявитель и патентообладатель Юго-Западный государственный университет. – № 2010104316/02; заяв. 08.02.2010; опубл. 10.05.2012. – 4 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ ПО ГЛУБИНЕ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Э110 ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ И НАВОДОРОЖИВАНИЯ

Бабихина М.Н.

Научный руководитель: Кудияров В.Н., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: m.babihina@mail.ru

STUDIES OF THE MICROHARDNESS DEPTH DISTRIBUTION IN THE ZIRCONIUM ALLOY ZR-1NB AFTER IRRADIATION BY PULSED ELECTRON BEAM AND HYDROGENATION

Babikhina M.N.

Scientific supervisor: assistant of General Physics department Kudiiarov V.N.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: m.babihina@mail.ru

Введение. Цирконий и сплавы на его основе являются одним из важнейших элементов активной зоны атомных энергетических реакторов, так как цирконий обладает низким сечением захвата нейтронов, хорошей коррозионной стойкостью. Однако, в процессе эксплуатации ядерного реактора такие элементы подвержены наводороживанию и водородному охрупчиванию, что может привести к разрушению циркониевых изделий. Для предотвращения проникновения водорода в циркониевые сплавы используется модифицирование поверхности циркониевых сплавов импульсными электронными пучками (ИЭП). Это обусловлено тем, что после модифицирования в материале образуется поверхностный слой ~ 10 мкм, в котором накапливается водород при наводороживании [1, 2]. Для подтверждения такого эффекта в настоящей работе проведено исследование распределения микротвердости по глубине образцов циркониевого сплава Э110 после облучения импульсным электронным пучком и наводороживания.

Материал и методика исследований. Для исследования были изготовлены образцы циркониевого сплава Э110 размерами 20×20×0,6. Облучение образцов осуществлялось на установке «Соло» в ИСЭ СО РАН, с двух сторон при плотности энергии 18 Дж/см^2, число импульсов равнялось 3, длительность импульсов составила 50 мкс. Наводороживание проводилось на установке Gas Reaction Controller [3] при 2 атм., температуре 350 °С до концентрации 500 ppm. Анализ распределения водорода в подготовленных образцах осуществлялся на спектрометре плазмы тлеющего разряда Profiler 2. Микротвердость серии из 40 измерений при нагрузке 50 г измерялась с помощью твердомера HV-1000, схема которого представлена на рисунке 1.

Твердомер по Микро-Виккерсу HV-1000 состоит из столика (1), на который помещается образец до высоты на которой находится 40X объектив (2). Затем устанавливаем испытательную нагрузку с помощью рукоятки регулировки испытательного усилия (3).

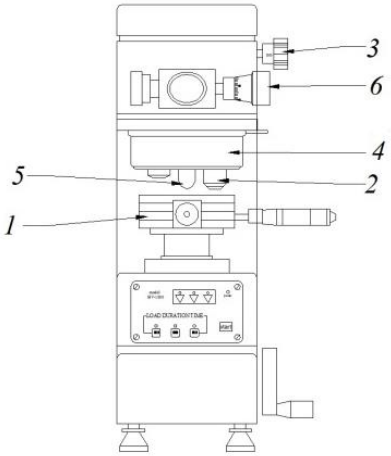


Рис. 1. Схема твердомера по Микро-Виккерсу HV-1000: 1 – столик; 2 – 40Х объектив; 3 – рукоятка регулировки испытательного усилия; 4 – вращающаяся головка; 5 – индентор; 6 – измерительный маховик.

После переведения вращающейся головки (4) на индентор (5) начинаем проводить индентацию поверхности алмазной пирамидкой. После этого переводим положение вращающей головки на 40Х объектив и находим в окуляр объектива отпечаток алмазной пирамидки на поверхности образца. Затем измеряем длины диагоналей получившегося отпечатка с помощью измерительного маховика (6). Далее по шкале измерительного маховика определяем длину диагонали в 40Х объективе. После чего по формуле (1) определяем твердость:

$$HV = 1{,}8544 * \frac{F}{(\frac{d}{40})^2}, \quad (1)$$

где d – диагональ отпечатка в 40Х объективе; F– испытательное усилие, кг; 40 – увеличение объектива.

Результаты исследований. На рисунке 2 представлено распределение микротвердости по поперечному шлифу циркониевого сплава Э110 после облучения импульсным электронным пучком и после облучения ИЭП и наводороживания.

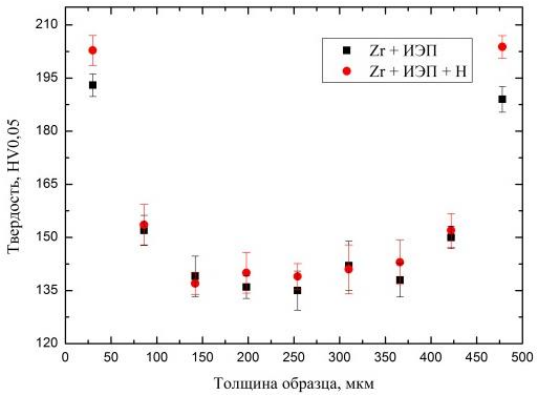


Рис. 2. Распределение микротвердости по поперечному шлифу циркониевого сплава Э110 после облучения ИЭП и после облучения ИЭП и наводороживания

Облучение импульсным электронным пучком при плотности энергии 18 Дж/см^2 тремя импульсами по 50 мкс каждый приводит к поверхностному упрочнению циркониевого сплава Э110, что связано со структурно-фазовыми изменениями в поверхностных слоях материала в результате высокоскоростно-

го нагрева и быстрого охлаждения при облучении [1-2]. Как видно из рисунка 2 на глубине до 50 мкм значение микротвердости составляет ~195 HV0,05 и спадает с дальнейшим увеличением глубины до значения ~140 HV0,05. Последующее наводороживание при 350 °С и давлении водорода 2 атм. до концентрации 500 ppm приводит к увеличению твердости только на глубине до 50 мкм. Такой результат связан с тем, что после облучения ИЭП водород в циркониевом сплаве при указанных параметрах наводороживания локализуется в поверхностном слое и не проникает в глубину материала.

Для определения локализации водорода после наводороживания образцов до и после облучения ИЭП проведено исследование распределения водорода по глубине при помощи спектрометра Profiler-2. Результаты исследования представлены на рисунке 3. Как показали исследования, в циркониевом сплаве Э110 после модифицирования импульсным электронным пучком водород концентрируется в поверхностном слое материала [2].

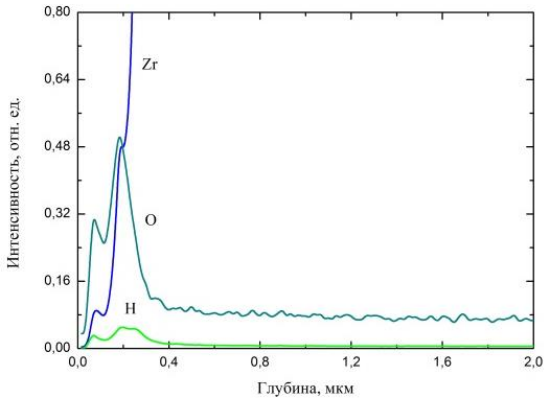


Рис. 3. Распределение элементов по глубине циркониевого сплава Э110 после облучения ИЭП и наводороживания

Заключение. В работе проведено исследование распределения микротвердости по поперечному шлифу циркониевого сплава Э110 после облучения импульсным электронным пучком и последующего наводороживания. Как показали исследования облучение импульсным электронным пучком при плотности энергии 18 Дж/см^2 тремя импульсами по 50 мкс каждый приводит к увеличению микротвердости слоя на глубине до 50 мкм в ~ 1,5 раз. Последующее наводороживание до концентрации 500 ppm приводит к увеличению твердости на глубине до 50 мкм, что связано с локализацией водорода в поверхностном слое при наводороживании. Такой результат подтверждается исследованием распределения водорода по глубине циркониевого сплава Э110 после облучения и наводороживания.

Список литературы:

1. Чернов И. П. и др. Исследование влияния водорода на свойства модифицированного импульсным электронным пучком циркониевого сплава Zr1% Nb //Журнал технической физики. – 2013. – Т. 83. – №. 9. С. – 38-42.

2. Pushilina N. S. et al. Hydrogen effect on zirconium alloy surface treated by pulsed electron beam //Journal of Nuclear Materials. – 2015. - №456. – С. 311-315.

3. Kudiiarov V. N. et al. Application of automated complex Gas Reaction Controller for hydrogen storage materials investigation //Advanced Materials Research. – 2013. – Т. 740. – С. 690-693.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ПАРАМЕТРЫ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ TINI (MO,V)

Байгонакова Г.А., Марченко Е.С., Гюнтер В.Э.
Научный руководитель: Марченко Е.С., к.ф.-м.н.
НИИ Медицинских материалов и имплантатов с памятью формы при ТГУ
Россия, г. Томск, ул. 19 гв. Дивизии, 17, 634045
E-mail: gat27@mail.ru

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON SHAPE MEMORY EFFECT PARAMETERS AND FUNCTIONAL PROPERTIES IN TINI(MO,V) ALLOY

Baigonakova G.A., Marchenko E.S., Gunther V.E., Klopotov A.A.
Scientific Supervisor: PhD in Physico-mathematical sciences, Marchenko E.S.
Tomsk State university, Research Institut of Medical Materials, Tomsk, Russia
Russia, Tomsk, Guards Division 19, 17, 63404
E-mail: gat27@mail.ru

The study of effects isothermal annealing at 723 K for 1 hour on both Shape Memory parameters and functional properties in the $Ti_{50}Ni_{48,7}V_1Mo_{0,3}$ alloy is presented. It was found that heat treatment at 450 °C for 1 hour reduces values of critical stresses of martensite shear at the expense of the plastic component of strain which is accumulated in the course of strain which is shown on dependence of ε(T) by the size of residual deformation.

Введение

В настоящее время биосовместимые материалы и имплантаты из сплава на основе TiNi с эффектами памяти формы широко используются в различных областях медицины. Определенные конструкции имплантатов требуют разработки сплавов с улучшенными физико-механическими свойствами и параметрами формоизменения. При этом уровень минимальных критических напряжений мартенситного сдвига $\sigma_{\min}^{Ms}$ необходимо уменьшить, а значения максимальных критических напряжений $\sigma_{\max}^{Md}$ увеличивать, улучшая, таким образом, способность материала к сопротивлению пластической деформации [1]. Предварительная термическая обработка позволяет варьировать параметры критических напряжений мартенситного сдвига $\sigma_{\min}^{Ms}$, $\sigma_{\max}^{Md}$ и увеличивает температурные интервалы проявления эффектов памяти формы и сверхэластичности [1-3].

Как представлено в литературе [4] легированием ванадия до 1 % сплавов на основе TiNi можно увеличивать ширину температурного гистерезиса на 25 К и значительно повышать физико-механические характеристики сплавов.

Целью данной работы является исследование влияния термической обработки на параметры критических напряжений мартенситного сдвига $\sigma_{\min}^{Ms}$, $\sigma_{\max}^{Md}$ и характеристики эффектов памяти формы в сплавах на основе никелида титана, легированных 1 ат. % ванадия.

Материалы и методы исследования

Исследуемые сплавы $Ti_{50}Ni_{48,7}V_1Mo_{0,3}$ были выплавлены в индукционной печи путем переплава губчатого титана и никеля марки Н1 с добавлением Mo и V. Состав определяли по шихте. Потери веса при плавке не превышали 0,01 %. Из слитков были вырезаны образцы, которые подвергались отжигам в электровакуумной печи при температуре 450 °С в течение 1 часа с последующим медленным охлаждением в печи до комнатной температуры.

Исследования температурных зависимостей напряжений мартенситного сдвига проводили на оригинальной установке для исследования деформационных свойств типа «Instron», работающей в условиях деформации одноосным растяжением в широком температурном интервале от 100 К до 680 К.

Параметры ЭПФ исследовали в условиях изменения деформации под постоянной внешней нагруз-

кой.

Результаты и обсуждение экспериментов

Экспериментально были получены температурные зависимости напряжения мартенситного сдвига исходного сплава $Ti_{50}Ni_{48,7}V_1Mo_{0,3}$ и после термической обработки (отжиг при температуре 450° С в течении 1 часа) (рис. 1).

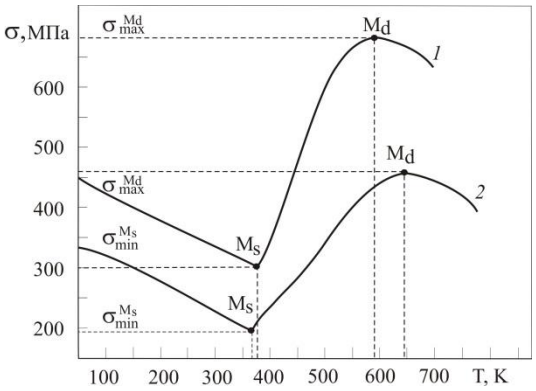


Рис. 1. Температурные зависимости критических напряжений мартенситного сдвига в сплаве Ti50Ni48,7V1Mo0,3: кривая 1 – без т.о; кривая 2 – после отжига при 450° С (1 час).

По зависимостям были определены $\sigma_{\min}^{Ms}$ – минимальные напряжения мартенситного сдвига вблизи температуры Ms (температуры начала МП), которые необходимо приложить к сплаву, чтобы вызвать мартенситный переход и $\sigma_{\max}^{Md}$ – максимальные напряжения, характеризующие максимальные значения предела текучести матрицы при температуре Md (максимальной температуре при которой возможно образование мартенсита под нагрузкой).

Величины критических напряжений мартенситного сдвига после термообработки уменьшаются. Максимальное напряжение мартенситного сдвига $\sigma_{\max}^{Md}$ вблизи температуры Md снижается на 220 МПа, а минимальное напряжение мартенситного сдвига $\sigma_{\min}^{Ms}$ в вблизи температуры M_S на 100 МПа (рис. 1). При этом температура Ms смещается в область низких температур на 10 К, а температура Md – в область высоких температур на 50 К. Такое смещение температур значительно расширяет возможности использования эффекта памяти формы при разработке конкретных конструкций имплантатов.

В [4] показано, что истинное сопротивление пластической деформации определяется величиной предела текучести. При низких значениях предела текучести в сплавах, подвергнутых термообработке (рис. 1, кривая 2) деформация в мартенситной области протекает не только за счет вклада мартенситной составляющей ε_i , но и за счет накопления пластической деформации $\varepsilon_{пл}$. Накопленная пластическая $\varepsilon_{пл}$ деформация приводит к снижению подвижности межфазных границ раздела и проявляется на зависимостях ε(T) величиной остаточной деформации при эффектах памяти формы (рис. 2, б).

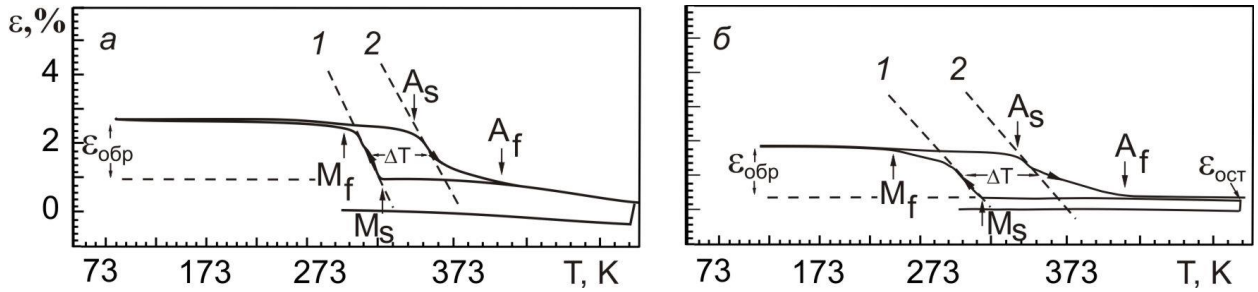


Рис. 2. Температурные зависимости накопления и возврата деформации при многократном ЭПФ сплава $Ti_{50}Ni_{48,7}Mo_{0,3}V_1$: а – без термообработки ; б – отжиг при 450 ℃. Где: $\varepsilon_{обр}$ - обратимая деформация; $\varepsilon_{ост}$ – остаточная деформация; ΔT – ширина петли температурного гистерезиса: линии 1 и 2 характеризуют наклон петли гистерезиса при прямом (1) и обратном (2) МП

Пластическая составляющая деформации также служит причиной более широкого гистерезиса ΔT эффектов памяти формы отожженного сплава (рис. 2, б). Приведенные зависимости позволили установить, что термообработка увеличивает ширину температурного гистерезиса на 20 К и уменьшает проявление эффекта памяти формы (рис. 1, б), табл. 2.

Таблица 1.

Характеристики ЭПФ в исследуемых сплавах

	M'_s, К	M'_f, К	A'_s, К	A'_f, К	ΔT, К	$\varepsilon_{обр}$, %	$\varepsilon_{ост}$, %	σ_{min}^{Ms}, МПа	σ_{max}^{Md}, МПа	Ms, К	Md, К	tgα
$Ti_{50}Ni_{48,7}V_1Mo_{0,3}$ (0 °C)	325	300	345	405	40	2,1	0	300	680	375	590	1.9
$Ti_{50}Ni_{48,7}V_1Mo_{0,3}$ (450 °C, 1 ч.)	316	245	338	413	60	1,6	0,2	200	457	365	644	1.06

Таким образом, выявлено, что термообработка при 450 ° С в течение 1 часа сплавов $Ti_{50}Ni_{48,7}V_1Mo_{0,3}$ снижает величины критических напряжений мартенситного сдвига за счет накопленной в процессе деформирования пластической составляющей деформации, которая проявляется на зависимости ε(T) величиной остаточной деформации. Но в то же время влияние термообработки выражается уширением температурного интервала (Md-Ms). Это расширяет возможности использования эффектов памяти формы при разработке конкретных конструкций имплантатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

[1] V.E. Gunter, G.Z. Dambaev, P.G. Sysolyatin and at. al. Delay Law and New Class of Materials and Implants in Medicine, STT Pulishing, USA, 2000.

[2] Effect of ageing treatment on the transformation behavior of Ti-50.9 at.% / Yufeng Zheng, Fei Jiang // Acta materialia/ - 2008. – V.56. - P.736-745.

[3] Treppman D. Thermomechanical treatment of NiTi, in VDI-Fortschritberichte, Reihe 5, Nr.462, VDI-Verlag, 1997:147.

[4] V.Gyunter, G. Baigonakova, E. Marchenko, A. Klopotov, Features of Stress Changes in the Alloy $Ti_{50}Ni_{48.7}Mo_{0.3}V_1$ under Loading in a Wide Temperature Range, Adv. Mater. Res. (2015) 299.

МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ КАК МЕТОД ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЛИНОПТИЛОЛИТА

Бебия А.Г.
Научный руководитель: Гуляев П.Ю., профессор, д.т.н.
Югорский государственный университет
Россия, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16, 628012
E-mail: bebiya.nastya@mail.ru

MECHANICAL ACTIVATION AS A METHOD OF EXPOSURE ON THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF CLINOPTILOLITE

Bebiya A.G.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Gulyaev Yu.Yu.
Ugra State University, Russia, Khanty-Mansiysk, Chehov str., 16, 628012
E-mail: bebiya.nastya@mail.ru

Abstract. Presents experimental data depending on the specific surface area and sorption properties of the clinoptilolite powder mechanical activation times. Carried out X-ray diffraction and spectroscopic analysis of mechanically activated zeolite. Find the optimal time and mechanical activation modes which relate the maximum sorption ability.

Введение

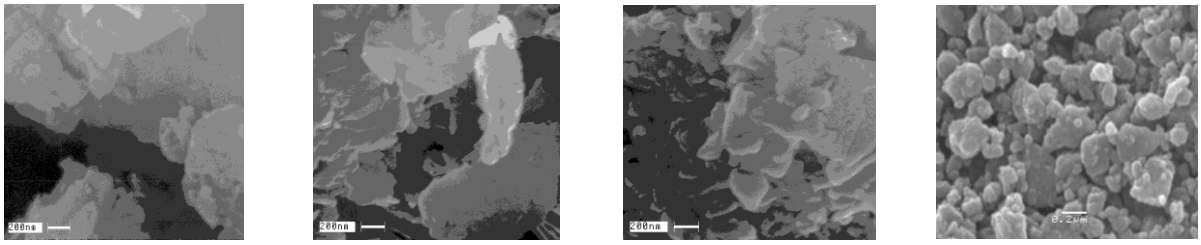
Природные цеолиты, благодаря своим каталитическим, адсорбционным и ионообменным свойствам, которые обусловлены особенностями кристаллической структуры, находят все больше сфер применения и являются относительно дешевым сырьем по сравнению с использованием синтетических материалов. Благодаря строго определенным размерам пор и внутренних полостей, цеолиты широко используют как сорбенты для многих органических и неорганических веществ. В связи с этим исследование на физико-химических свойств клиноптилолита промысловой толщи Саранпаульского месторождения (п. Саранпауль, Березовского района Ханты – Мансийского автономного округа – Югры) становится актуальным.

Результаты исследования и их обсуждения

Механическая активации проводилась с применением высокоэнергетической планетарной мельницы АГО–3 и вибрационной конусной дробилки ВКМД-6. Размол в мельнице АГО-3 был проведен методом удвоения времени помола – через промежутки времени равные 40 с., 80 с., 160 с., 320 с., 640 с. Режим дробления в ВКМД-6 был проведен методом кратного увеличения числа размолов (1, 2, 4, 8).

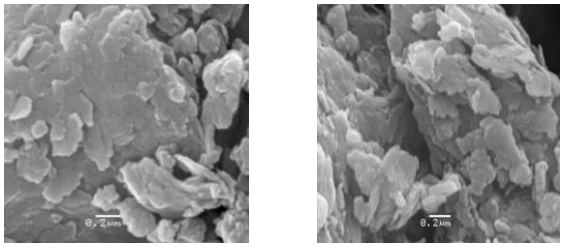
Измерение площади удельной поверхности частиц по методу Кармана-Козени показало, что с ростом времени механоактивации и с увеличением кратности размола величина удельной поверхности частиц быстро растет, а максимумы относятся ко времени механоактивации 640 секунд на АГО-3 и к режиму «8» на ВКМД-6. [1].

Поверхность частиц полученного мелкодисперсного порошка клиноптилолита исследовали электронно-микроскопическим методом (рис.1,2).



а) б) в) г)

Рис. 1. Микрофотографии поверхности порошков образца №1 в режиме механоактивации на АГО-3: а) 40 с.; б) 80 с.; в) 160 с.; г) 320 с.



а) б)

Рис. 2. Микрофотографии поверхности порошков в

режиме размола «8» на ВКМД-6 : а) исходный образец; в) образец после размола;

Микрофотографии исследуемых объектов дают представление о неоднородности поверхности, частицы чешуйчатой формы и мало меняются при небольших механических нагрузках. С увеличением нагружения частицы приобретают форму пластинчатого габитуса с размерами пластинок от 300-400 нм при механоактивации 160 с. до 50-150 нм при 320 с. Измельчение на максимальном режиме на ВКМД-6 также приводит к появлению мелких пластинок, но в гораздо меньших объемах. При этом поверхность порошка становится наиболее развитой, а, значит, имеет большую удельную поверхность.

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что положения основных дифракционных линий измельченных порошков не претерпевают значительных изменений до времени механоактивации 320 с., что свидетельствует о стабильности цеолитной структуры до этого режима [2]. При механическом воздействии в мельнице АГО-3 равном 320 секунд на рентгенограмме исчезают линии отражения от плоскостей системы {100}, {131}, а также от плоскостей (330), (350).

Спектр, полученный методом ИК-Фурье спектроскопии (рис.3) не отразил полосы поглощения, соответствующие колебаниям структур, образующих входные отверстия в полостях цеолита вследствие того, что эти полосы находятся в области спектра меньше 400 см-1 [3], которая в работе не изучалась.

Для ИК-спектров механоактивированных цеолитов характерно небольшое (в пределах допустимых диапазонов) смещение ряда основных полос по сравнению со спектрами исходных образцов. Полосы поглощения в диапазоне частот 400 - 4000 $см^{-1}$ соответствуют основным колебаниям алюмокремниевых тетраэдров каркасной структуры цеолитов, это говорит о том, что метод механоактивации не влияет на тип и характер связи.

Изменение площади полосы поглощения, характерной для деформационных колебаний связи O–Si–O и Si–O–Si в тетраэдрах, связано с механоактивацией клиноптилолита, с увеличением времени механического воздействия, т.е. повышением степени нагруженности, уменьшается интенсивность пропускания вплоть до исчезновения полос поглощения.

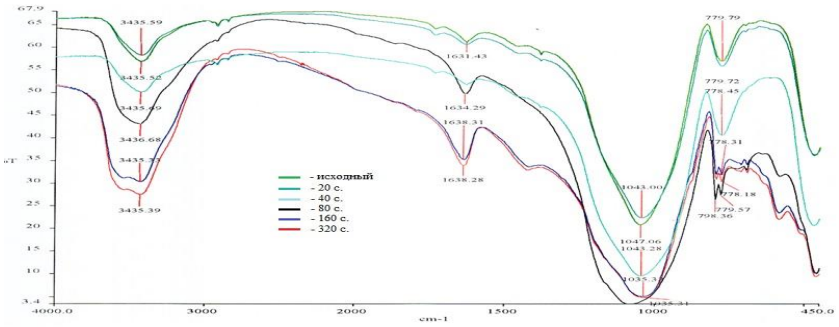


Рис. 3. ИК-спектры клиноптилолита в различных режимах на АГО-3

Исследования сорбционных свойств полученных порошков проводили по отношению к нефти [2]. Как известно, на сорбционные свойства влияет такой фактор, как степень кристалличности, которую определили в области малоугловых пиков 2θ = 23-25° [4]. Можем говорить об имеющейся прямой зависимости удельной поверхности и сорбционных свойств. С увеличением механического воздействия степень кристалличности порошков возрастает и достигает 95% при режиме размола 320 с. на АГО-3.

Выводы:

1. При механическом воздействии в мельнице АГО-3 в течение 320 секунд на рентгенограмме исчезают линии отражения от указанных в работе систем плоскостей, что связано с измельчением частиц до наноразмерного состояния, при котором происходит рассеяние рентгеновского излучения в большом угловом диапазоне.

2. С увеличением времени механического воздействия, уменьшается интенсивность пропускания вплоть до исчезновения полос поглощения. Это связано с изменениями в структуре кристаллической решетки, предположительно, с изменением углов связей O–Si–O в тетраэдрах, что приводит к уменьшению интенсивности дифракционных пиков и к их частичному исчезновению.

3. Установлено, что адсорбционные свойства цеолитов связаны со степенью кристалличности. Для образцов с большей степенью кристалличности с течением времени адсорбционные свойства выше, чем для образцов с меньшей степенью кристалличности.

4. Механоактивация на планетарной мельнице АГО-3 является эффективным способом измельчения и методом повышения сорбционных свойств клиноптилолита [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бебия А.Г. Контроль удельной поверхности цеолита методом Кармана – Козени в процессе механической активации / А.Г. Бебия, И.В. Милюкова, Л.Ю. Атюцкая, // Ползуновский альманах. – 2013. – №1.- С.95-97
2. Бебия А.Г. Исследование сорбционных свойств цеолитов разноуровневого залегания в зависимости от удельной поверхности частиц / А.Г. Бебия, П. Ю. Гуляев, И.В. Милюкова // Вестник Югорского государственного университета. – 2014. – №2(33). – С. 15-24.
3. Накамото К. ИК спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / К. Накамото; пер. с англ. – М.: Мир. – 1991. – 536 с.
4. Коваль Л. М. Синтез, физико-химические и каталитические свойства высококремнеземных цеолитов. / Л.М. Коваль, Л.Л. Коробицина, А.В. Восмериков – Томск: ТомГУ, 2001. -50 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМОФОСФАТНЫХ ЦЕОЛИТОВ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Бузимов А.Ю. [1,2], Pappert S. [3], Eckl W. [3]

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор С.Н. Кульков

[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Россия, г. Томск, просп. Академический, 2/4, 634055

[3]Fraunhofer Institute for Chemical Technology ICT

Germany, Karlsruhe, Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7, 76327 Pfinztal

E-mail: buzimov92@gmail.com

STUDY ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF ALUMINOPHOSPHATE ZEOLITE AFTER MECHANICAL TREATMENT

A.Y. Buzimov[1,2], S.Pappert[3], W. Eckl[3]

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S.N. Kulkov

[1]Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenina ave., 36, 634050

[2]Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS

Russia, Tomsk, pr. Akademicheskii 2/4, 634021

[3]Fraunhofer Institute for Chemical Technology ICT

Germany, Karlsruhe, Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7, 76327 Pfinztal

E-mail: buzimov92@gmail.com

Известно, что керамические материалы являются объектами для интенсивных исследований из-за их уникальных свойств. Возможность синтеза сложных оксидов, таких как «искусственных цеолитов» является перспективным для применений во многих областях, как медицина, химия, биология и материаловедение. Цеолиты составляют самую большую группу алюмосиликатов с каркасными структурами. Благодаря системе каналов и полостей, которые пронизывают кристаллы, цеолит обладает хорошо развитой внутренней поверхностью, доступной для адсорбируемых молекул. Цеолиты являются молекулярными ситами [1, 2]. Их кристаллическая решетка построена из колец, образованных кремнекислородными тетраэдрами. В части этих тетраэдров атом кремния замещен алюминием. В результате такого строения во внутрикристаллическом пространстве цеолитов образуется система соединенных между собой микрополостей, в которых располагаются обменные катионы и молекулы воды [2]. Пористая открытая микротекстура цеолитов определяет их полезные свойства: адсорбционные, молекулярно-ситовые, ионообменные и каталитические[3]. Особенно важное значение имеет удельная поверхность, которая определяет свойства цеолитов и её изменение при воздействии различных факторов: температура отжига, время нахождения в естественных условиях, механическая активация с целью получения новых видов цеолитов с заданными физико-химическими свойствами.

В качестве материала исследовался синтетический порошок цеолита коммерческой марки SAPO-34. Порошок подвергался механической обработке в барабанной мельнице с мелющими телами из высокоплотной алюмооксидной керамики. Скорость вращения барабана составляла 150 оборотов в минуту, что

обеспечивало ударно-сдвиговой режим воздействия мелющих тел на порошок. Соотношение массы мелющих тел к массе порошка выдерживалось как 10:1. Продолжительность механической обработки варьировалось от 1 до 96 часов. Исходный и мехактивированный порошок подвергался отжигу при температуре от 200 до 1000°*C* с изотермической выдержкой 1 час. Анализ фазового состава и параметров кристаллической структуры исходных и подвергнутых обработке порошков производился методом рентгеновской дифракции на дифрактометре Дрон УМ с CuKα-излучением. Индицирование рентгенограмм проводилось в компьютерной программе Renex v. 1.51 с помощью аппроксимирующий функции Lorentzian M1. Области когерентного рассеяния рассчитаны с помощью формулы Дебая-Шеррера. Удельная поверхность определялась на приборе СОРБИ №4.1, четырёхточечным методом БЭТ. Морфология порошков исследовалась на растровом электронном микроскопе.

Результаты рентгеноспектрального анализа показали, что порошок цеолита SAPO-34 в исходном состоянии, состоит из Al, O, Si, P. Частицы исходного порошка имеют форму приблизительно одинаковую, близкую к кубической и имеют размер 1,7 мкм.

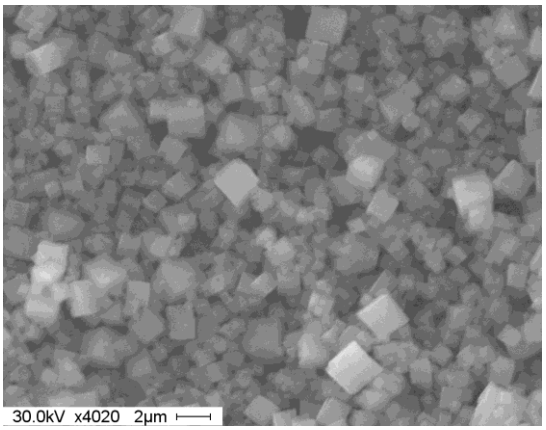


Рис. 1. Изображение частиц порошка цеолита SAPO-34 в РЭМ

Удельная поверхность исходного порошка равна 560 м^2/г. При механической обработке порошка в барабанной мельнице в течение всего нескольких часов происходит резкое уменьшение удельной поверхности. Так, уже после 1 часа обработки удельная поверхность уменьшается до 460 м^2/г. После 96 часов обработки удельная поверхность составила 131 м^2/г. Объяснить снижение величины удельной поверхности частиц можно, если считать, что одновременно с измельчением частиц происходит обратный процесс – их агломерация. Показано что увеличение времени механической обработки приводит к уменьшению среднего размера частиц от 1,7 мкм до 0,9 мкм.

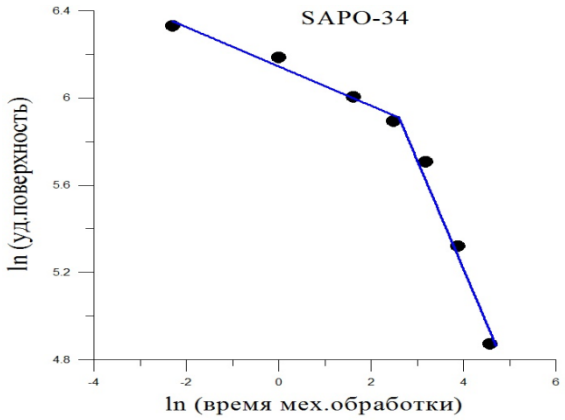


Рис. 2. Зависимость величины удельной поверхности цеолита от времени механической обработки

Рентгенограмма идентифицируются как смесь двух фаз: гидроалюмофосфат (номер карточки ASTM 41-23) с орторомбической сингонией и силикоалюмофосфат (номер карточки ASTM 41-570) с ромбоэдрической сингонией. Анализ рентгенограмм позволил установить, что в цеолитах присутствует рентгеноаморфная фаза. Проведенные исследования показали, что длительное механическое воздействие на цеолит приводит к увеличению количества аморфной фазы в порошке с 83 % до 90 %. Установлено, что размер областей когерентного рассеяния уменьшается со временем механической обработки.

Изучена кинетика изменения удельной поверхности порошка после отжига при температуре 300℃ с изотермической выдержкой 1 час. Определена удельная поверхность порошка при выдержке при комнатной температуре в течение 1000 часов. Отжиг порошка показал, что происходит резкое уменьшение удельной поверхности для SAPO-34, в течение первых 100 часов, а затем она практически не изменяется. Поэтому измерение удельной поверхности мехактивированного порошка происходил в первый день после отжига. Показано, что удельная поверхность цеолитов SAPO-34 после мехактивации 96 часов при отжиге от 200 до 800℃ не изменяется. При 1000℃ удельная поверхность уменьшилась до 102 $м^2/г$. Средний размер частиц мехактивированного порошка после отжига не изменяется и равен 1 мкм.

Изучена структура цеолита коммерческой марки SAPO-34, определён элементный и фазовый состав. Структура цеолита SAPO-34 состоит из смеси двух фаз. Показано, что длительное механическое воздействие на цеолит приводит к его аморфизации. Степень кристалличности и удельная поверхность с увеличением времени обработки в барабанной мельнице уменьшаются. Показано, что удельная поверхность цеолитов SAPO-34 после мехактивации 96 часов при отжиге от 200 до 800℃ не изменяется. При 1000℃ удельная поверхность составила 102 $м^2/г$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М.: Мир, 1976. – 782с.
2. Banerjee R., Phan A., Bo Wang, Knobler C., Hiroyasu Furukawa , O'Keeffe M., Omar M. Yaghi. High-throughput synthesis of zeolitic imidazolate frameworks and application to CO2 Capture // Science. – 2008. – V. 319. – № 5865. – P. 939-943.
3. Бебия А.Г, Гуляев П.Ю., Милюкова И.В. Исследование сорбционных свойств цеолитов разноуровневого залегания в зависимости от удельной поверхности частиц // Вестник Юрского государственного университета. – Т. 2. – № 33. – С. 15-23.

ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ ZrO_2(Mg)-MgO

Буяков А.С.[1,2], Васильева Е.О.[1,2]
Научный руководитель: Кульков С.Н.[1,2,3], профессор, д.ф.-м.н.
[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина 36, 634050
[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4, 634055
[3]Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050
E-mail: alesbuyakov@gmail.com

SINTERING AND PROPERTIES OF ZrO_2(Mg) – MgO COMPOSITES

Buyakov A.S.[1,2], Vasilyeva E.O. [1,2]
Scientific Advisor: Prof., Dr. Kulkov S.N.[1,2,3]
[1]National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
[2]Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia, Tomsk, Akademicheskiy str., 2/4, 634055
[3]National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: alesbuyakov@gmail.com

These studies shows which structures and properties have composites based on ZrO2(Mg)-MgO sintered in a wide temperature range from 1400to 1650^{o}C. X-ray diffraction showed an increasing of crystalline size with increasing of magnesia concentration. Decreasing of sintering temperature accompanied with an increasing of porosity and reduction of the compressive strength. Scanning electron microscopy showed the morphology of the composite structure. It is discovered that the pore size in the zirconia matrix in an order of magnitude higher than in magnesia inclusions.

Благодаря своим уникальным свойствам (высокая твердость, коррозионная и термостойкость и т.д.) керамика на основе диоксида циркония (ZrO_2) нашла обширное применение в качестве конструкционного материала [1]. Большой интерес представляют различные композиты на основе стабилизированного диоксида циркония. Несмотря на проведенные рядом авторов исследования композитов ZrO_2 - MgO до конца не изучены природа изменения морфологии и фазовых превращений в таких композита хпри изменении концентраций и температур спекания, что определило цель исследований: изучение структуры и свойств композитов стабилизированного оксидом магния диоксида циркония и оксида магния (ZrO_2(Mg) –MgO).

Порошки ZrO_2(Mg) и MgO были получены аналогично исследованным в [2, 3].Состав исследуемых образцов меняется от MgO до ZrO_2(Mg) в различных концентрациях. Спекание проводилось при температурах от 1200 до 1650 ^{o}C с выдержкой в течение часа.

Рентгеноструктурные исследования фазового состава показали, что при росте температуры спекания образцов от 1200до 1650 ^{o}C происходят превращения в диоксиде циркония от моноклинной к кубической фазе. В распределении размеров кристаллитов этих фаз виден, с увеличением температуры спекания и содержания MgO, рост областей когерентного рассеяния. Микроискажения кубической решетки уменьшаются с увеличением концентрации оксида магния, что, по-видимому, обусловлено уменьшением дефектности.

Показано, что прочностные свойства материала зависят от пористости. Наименьшую пористость и, соответственно наибольший предел прочности на сжатие, имеют образцы, спеченные при максимальной

температуре - 1650 ^{o}C. В этом случае объем порового пространства изменяется в пределах 6 - 15 % в зависимости от содержания MgO и имеет минимальное значение при 50 % MgO. Предел прочности изменяется от 230 до 280 МПа с уменьшением концентрации MgO и минимален - 80 МПа при 10 % MgO (рисунок 1 а). При снижении температуры спекания до 1400 ^{o}C объем порового пространства увеличивается без явной зависимости от MgO в среднем до 20 %. Предел прочности в этом случае имеет среднее значение 70 МПа (рисунок 1 б). При более низких температурах пористость возрастает до 30 %, а предел прочности при температуре спекания 1400 ^{o}C уменьшается от 210 до 13 МПа с увеличением концентрации MgO (рисунок 1 в). На представленных графиках сплошной линией обозначена прочность материала при появлении первых очагов деформации.

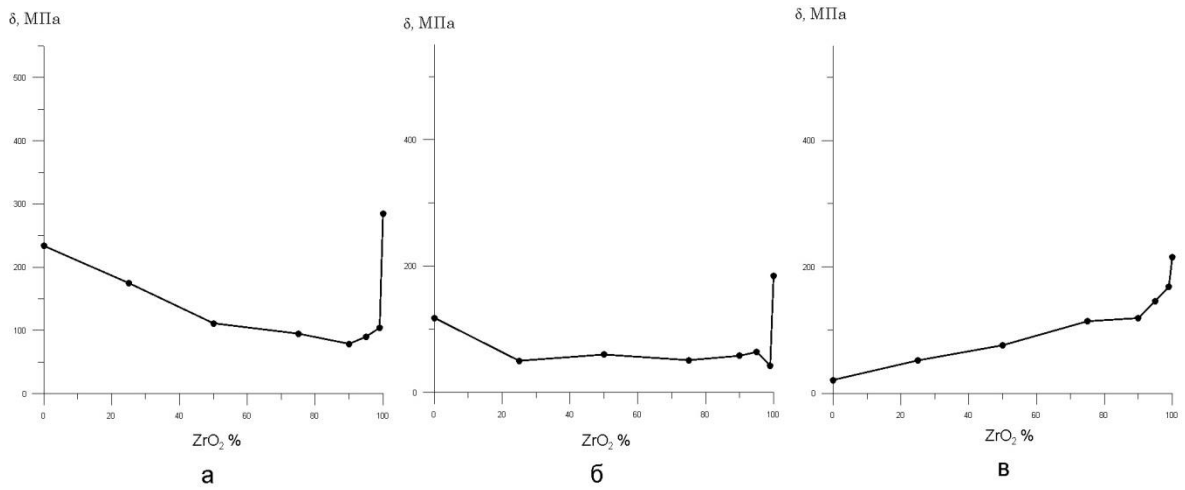


Рис. 1. а. Предел прочности на сжатие образцов, спеченных при температуре 1400 ^{o}C.

б. Предел прочности на сжатие образцов, спеченных при температуре 1500 ^{o}C.

в. Предел прочности на сжатие образцов, спеченных при температуре 1650 ^{o}C.

Исследование структуры образцов методом РЭМ показало, что включения MgO распределены в матрице ZrO_2 иерархически и в зависимости от содержания оксида магния и температуры спекания их размер изменяется от нано- до мезо- и макромасштаба. На рисунке 2 представлен снимок образца, спеченного при температуре 1650 ^{o}C с 50 % MgO. Светлые области представляют стабилизированный оксидом магния диоксид циркония ZrO_2(Mg), а темные – оксид магния MgO. На рисунке видно, что значительная доля пористости приходится на ZrO_2(Mg). Размер пор изменяется в зависимости от состава и температуры спекания и локализации: в фазе ZrO_2(Mg) размер пор составляет около 5 мкм и около 1 мкм в MgO.

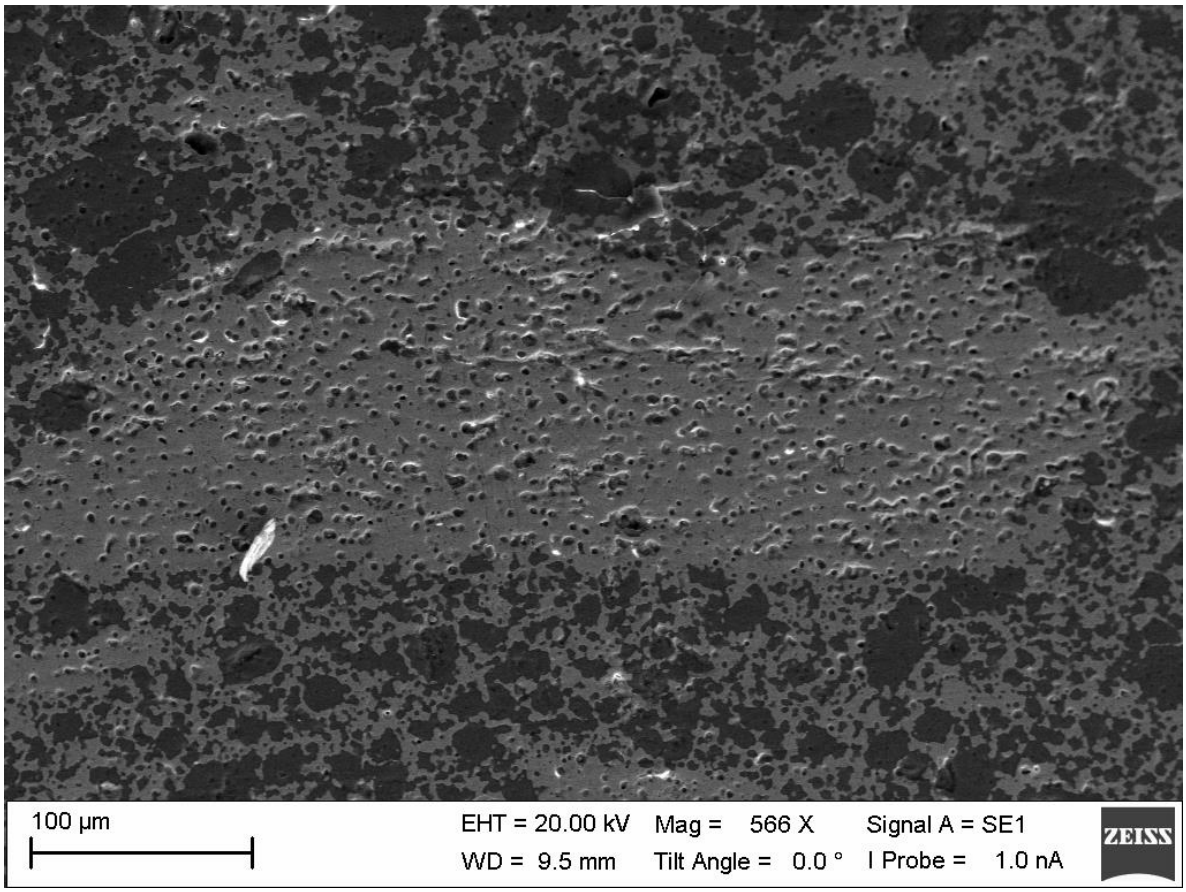


Рис. 2. РЭМ-снимок образца, спеченного при температуре 1650°C и 50 % MgO.

Таким образом, изучены закономерности формирования иерархически-распределенных структур, распределение, размер пор и прочностные свойства композитов ZrO_2(Mg) –MgO в зависимости от состава и температуры спекания. Такие свойства позволяют применять материал в различных областях - как конструкционный, функциональный и в качестве остеозамещающего в эндопротезировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Duangsupa C., Kulkov S. N. Structure and mechanical properties of ZrO 2 (MgO)—CaSiO 3 composites // Strategic Technology (IFOST), 2012 7th International Forum on IEEE, 2012. – С. 1-4.

2. Буякова С. П., Кульков С. Н. Фазовый состав и особенности формирования структуры в нанокристаллическом ZrO2//Российские нанотехнологии. – 2007. – Т. 2. – С. 1-2.

3. С. П. Буякова "Свойства, структура, фазовый состав и закономерности формирования пористыхнаносистем на основе ZrO2: Автореф. дис. докт. техн. наук. - Томск, 2008.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ОКСИДА ГРАФЕНА, ВОССТАНОВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА LIGHTSCRIBE

Винокуров П.В.
Научный руководитель: Смагулова С.А., доцент, к.ф.-м.н.
Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова
Россия, г. Якутск, ул. Белинского, 58, 677000
E-mail: pv.vinokurov@s-vfu.ru

GRAPHENE OXIDE FILMS REDUCED BY LASER IRRADIATION

Vinokurov P.V.
Scientific Supervisor: Prof.Assis.,PhD Smagulova S.A.
North-Eastern Federal University, Russia, Yakutsk, 58 Belinsky str., 677000
E-mail: pv.vinokurov@s-vfu.ru

Abstract. Graphene oxide is one of the derivatives of graphene with unique properties. In this paper we propose new approach for reducing graphene oxide on polyvinyl chloride (PVC) film. Graphene oxide films were created on PVC by simple deposition of graphene oxide dispersion. Laser reducing of graphene oxide performed by LightScribe technique. Electrical and morphological properties of reduced graphene oxide films were studied. Conductive patterned lines on GO films were obtained.

Оксид графена (ОГ) является гибким материалом для создания различных структур благодаря своим уникальным свойствам [1, 2]. ОГ более удобен для нанесения на разные подложки, чем графен и мультиграфен. В качестве растворителя для оксида графена используется вода, а для получения графеновой суспензии приходится использовать демитилформамид и N-метилпирролидон, от которых достаточно сложно избавиться. Методы выращивания графена, как химическое осаждение из газовой фазы, требуют чистых газов и высокотехнологического оборудования, что в конечном итоге увеличивает себестоимость конечного продукта. Большой проблемой оксида графена является его диэлектрические свойства и нестабильность. Другим подходом для получения материалов на основе графена является восстановление оксида графена. Восстановленные пленки оксида графена проявляют гибкость и хорошую проводимость и могут быть использованы в качестве электродов для суперконденсаторов и элементов чувствительных сенсоров [3, 4]. Существует различные способы восстановления оксида графена, например, термическая обработка, фотовосстановление, функционализация различными газами и т.д. Одним из методов фотовосстановления оксида графена, является использование лазерного излучения [5].

В данной работе были исследованы оксид графеновые пленки. Образцы были подготовлены нанесением ОГ суспензии на прозрачную подложку для лазерных принтеров, а затем высушены при комнатной температуре. ОГ суспензия была получена из графитового порошка с помощью метода Хаммерса. Полученные пленки были обработаны в DVD проигрывателе с функцией LightScribe, которая позволяла восстанавливать выбранные регионы. Технология LightScribe была разработана компанией Hewlett-Packard и Lite-On в 2005 году. Процесс восстановления занимал примерно 30 минут.

Электрические характеристики были измерены с помощью автоматической системы электрофи-

зических измерений (ASEC-03). Изменение рельефа и структуры до и после обработки лазерным лучом были исследованы с помощью атомно-силового микроскопа (Solver NEXT) и метода комбинационного рассеяния света (NTegra Spectra), соответственно. Также использовался сканирующий электронный микроскоп (JEOL JSM-7800F).

Исследование поверхности обработанной пленки на атомно-силовом микроскопе демонстрирует изменения топографии пленки (рисунок 1а). Видно, что после восстановления оксид графена расширяется в местах, где прошел луч. Существует корреляция между толщиной ОГ пленки и характером его восстановления, так, более толстые пленки подвержены большей степени восстановления. После восстановленния пленка меняет свой свет от светло-коричневого цвета до черного цвета. Спектроскопия комбинационного рассеяния света (Рисунок 1б) после восстановления дает увеличение 2D пика. Это может быть связано с формирование мультиграфена после восстановления лазерным лучом.

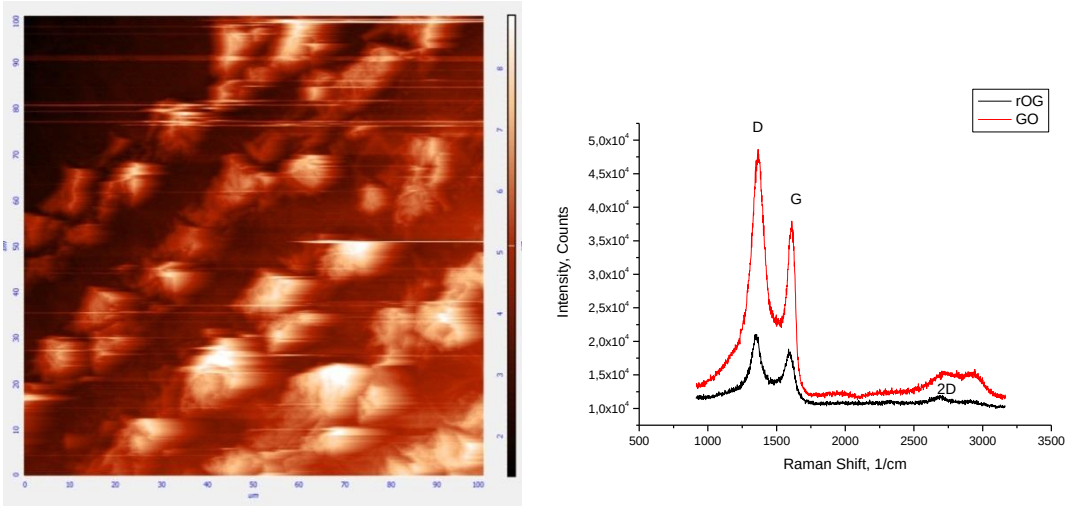
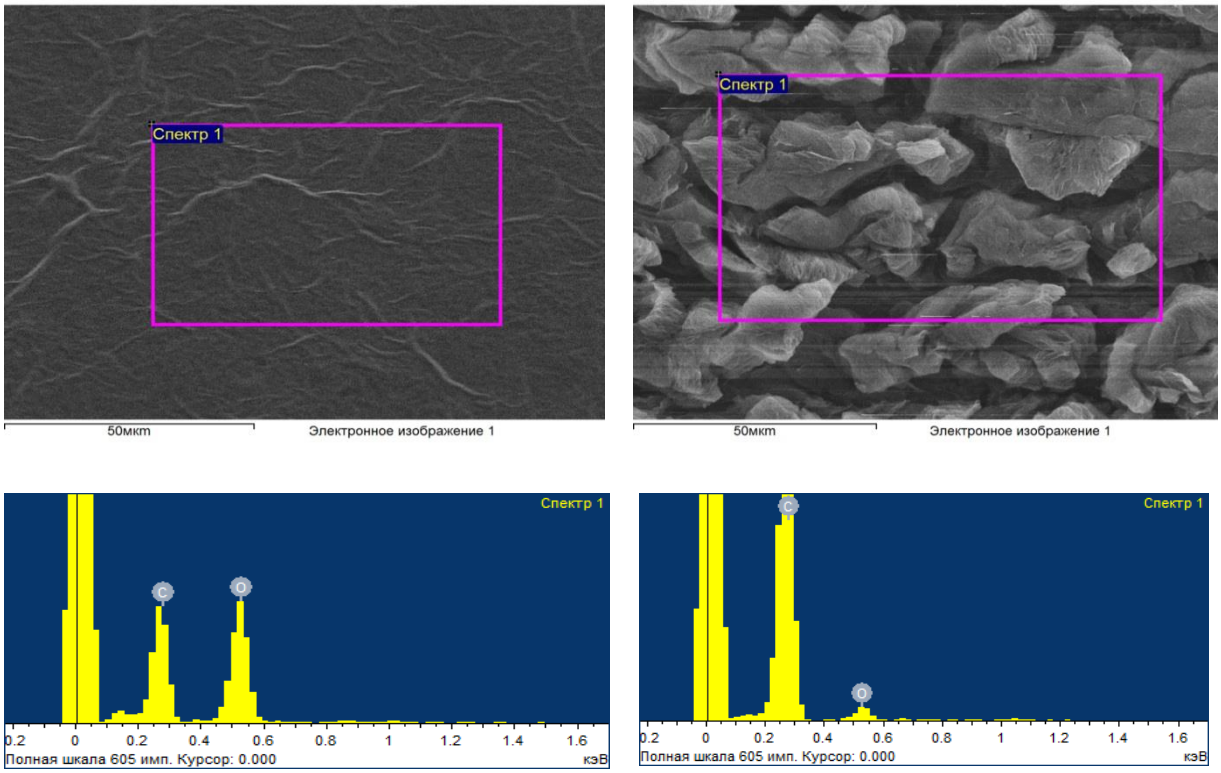


Рис. 1. АСМ изображения ОГ после облучения (а), спектры комбинационного рассеяния света для ОГ и вОГ (б).

Электрические свойства пленок вОГ показывают уменьшение сопротивления. Пленки ОГ обладают почти диэлектрическим сопротивлением. Но после восстановления оно уменьшается до ~10 кОм. При измерении сопротивления были использованы вольфрамовые зонды и на поверхность образцов не были посажены никакие металлы, это было сделано для того, чтобы избежать формирования потенциальных барьеров.

Изображения, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа также показали вспученные участки вОГ пленки (Рисунок 2) после обработки. Элементный анализ показал уменьшение содержания кислорода в процентном соотношении от 60 до 7%.



Элемент	Весовой, %	Атомный, %	Элемент	Весовой, %	Атомный, %
C-K	40,21	47,25	C-K	93,2	94,81
O-K	59,79	52,75	O-K	6,8	5,19

Рис. 2. Элементный анализ вОГ и ОГ

Таким образом, в результате проделанной работы были получены области с разным сопротивлением на одной пленке. Показано, что новый подход восстановления пленок оксида графена с помощью технологии LightScribe может применяться при создании структур на основе вОГ. Полученные данные показывают восстановление ОГ, формирование областей с мультислойным графеном и увеличение проводимости на несколько порядков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Becerril H A, Mao J, Liu Z, Stoltenberg R M, Bao Z, and Chen Y Evaluation of Solution-Processed Reduced Graphene Oxide Films as Transparent Conductors // ACS Nano – 2008. – 2 (3). – C. 463–470

2. Zhang Y-L, Guo L, Xia H, Chen Q-D, Feng J, Sun H-B Photoreduction of Graphene Oxides: Methods, Properties, and Applications // Advanced Optical Materials – 2014. – 2 (1). – C. 10–28

3. Tian He, Yang Yi, Xie Dan, Cui Ya-Long, Mi Wen-Tian, Zhang Yuegang and Ren Tian-Ling Wafer-Scale Integration of Graphene-based Electronic, Optoelectronic and Electroacoustic Devices // Scientific Reports – 2014. – 4. – № 3598

4. Beidaghi Majid and Gogotsi Yury Capacitive energy storage in micro-scale devices: recent advances in design and fabrication of micro-supercapacitors // Energy Environ. Sci. – 2013. – 7. – 867

5. El-Kady F. Maher, Strong Veronica, Dubin Sergey, Kaner B. Richard 2012 Laser Scribing of High-Performance and Flexible Graphene-Based Electrochemical Capacitors // Science. –355. – 1326

ПОЛУЧЕНИЕ, СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ $Al_2O_3 – ZrO_2 – TiC$

Григорьев М.В., Котельников Н.Л.
Научный руководитель: Кульков С.Н., д.ф-м.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
Федеральное государственное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук
г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055
Национальный исследовательский Томский государственный университет
г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
MVgrigoriev@yandex.ru

PRODUCTION, STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF NANOCOMPOSITES Al_2O_3 - ZrO_2 - TiC

Grigoriev M.V., Kotelnikov N.L.
Scientific Supervisor: Kul'kov S.N., Dr., Prof.
Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Lenina str., 30, 634050
Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch Russian Academy of Sciences
Tomsk, pr. Academic, 2/4, 634055
Tomsk State University, Tomsk, Lenina str., 36, 634050

Abstract

Hot pressing ceramic composite materials $Al_2O_3 – ZrO_2 – TiC$ with a density close to theoretical were obtained. Obtained multi-scale hierarchical structure, which can be directed to adjust the physico-mechanical properties of Al2O3 – ZrO2 – TiC composites. The hardness and fracture toughness was 21.4 GPA and 5.7 MPa*M1/2 respectively. The modulus of elasticity was 385 GPA.

Актуальной проблемой на сегодняшний день в области развития технологий машиностроения является разработка керамических композиционных материалов нового класса, обладающих высокой твердостью, химической инертностью способных выдерживать длительное воздействие агрессивных сред, высокого давления и температур, с повышенной стойкостью к хрупкому разрушению и трещиностойкостью.

Керамические композиты Al_2O_3-TiC и Al_2O_3- ZrO_2 широко используются в промышленности [1,2]. Композит Al_2O_3-TiC известен как «черная керамика» и имеет состав 70% Al_2O_3 и 30% TiC, благодаря высоком модулю упругости и твердости карбида титана [3] «черная керамика» обладает повышенной твердостью порядка 22ГПа, но недостаточной вязкостью разрушения - 4 МПа*м$^{1/2}$ [4]. Добавление до 20% ZrO_2 частично стабилизированного иттрием, обладающего очень высокой вязкостью разрушения 10 МПа*м$^{1/2}$, в матрицу оксида алюминия напротив повышает вязкость разрушения композита, но ухудшает твердость, в данном случае твердость и вязкость разрушения Al_2O_3- ZrO_2 композитов составляют 18 ГПа

и 5 МПа*м$^{1/2}$, соответственно [5]. В связи с этим вызывает интерес добавление сразу и диоксида циркония и карбида титана, в матрицу оксида алюминия поскольку, это позволит повысить вязкость разрушения композита при сохранении его высокой твердости.

Цель исследования - получить сложно компонентный керамический композиционный материал Al_2O_3–ZrO_2–TiC и исследовать его структуру и физико-механические свойства.

В работе использованы нано порошки оксида алюминия (США) и диокида циркония (TOSOH, Япония), и субмикронный порошок карбид титана производство Россия.

Получение однородной порошковой композиции достигалось следующим образом: создавали водные суспензии отдельных компонентов, аккуратно смешивали их друг с другом с помощью магнитной мешалки, с последующей обработкой суспензии ультразвуком. Осаждение полученной композиции производили путем флоккуляции частиц из раствора за счет повышения уровня PH, с последующей вакуумной сушкой. Таким образом, были получены композиции следующих составов:

Условное обозначение	Содержание		
	Al_2O_3, %	ZrO_2, %	TiC, %
AZT-1	85	10	5
AZT-2	80	10	10
AZT-3	70	10	20
AZT-4	60	10	30
AZT-5	75	20	5
AZT-6	70	20	10
AZT-7	60	20	20
AZT-8	50	20	30

Керамические нанокомпозиты были получены методом горячего прессования в среде аргона, при температуре спекания 1500 градусов, давление прессования 50 МПа, и выдержке 10 минут.

Методом рентгеновской дифракции были получены данные о параметрах кристаллического строения и фазовом составе нанокомпозитов. Методами электронной микроскопии были получены данные о структуре, размере зерени элементном анализе полученных композитов. Плотность образцов определяли гидростатическим методом. Твердость определяли методом Викерса, прикладываемая нагрузка составляла 5 кг, индентирование проводили не менее 10 раз. Вязкость разрушения определяли по формуле:

$$K_{1c} = 0{,}035 \cdot \left(H \cdot a^{1/2}\right) \cdot \left(E\varphi / H\right)^{0,4} \cdot \left(l / a\right)^{-0,5}$$

где: H – твердость, P – нагрузка, E – модуль, a – половина диагонали отпечатка, l – длина трещины из угла отпечатка, φ - константа.

Рентгенофазовый анализ показал, что оксид алюминия в полученных нанокомпозитах находится в α- модификации (корунд), диоксид циркония находится в двух модификациях кубической и тетрагональной, а карбид титана в кубической сингонии (Рис. 1.).

Интегральный элементный анализ по поверхности излома нанокомпозита 70% Al_2O_3 – 10% ZrO_2 – 20% TiC (Рис. 2), показал, что зерна белого цвета принадлежат зернам диоксида циркония, о чем свиде-

тельствует распределение атомов циркония по исследуемой поверхности (Рис. 2,б), из распределения атомов титана и углерода (Рис. 2, в и г) видно, что они сконцентрированы в области более крупных бело-серых зерен, которые соответствуют зернам карбида титана. Распределение атомов алюминия и кислорода (Рис. 2, д и е) свидетельствуют о том, что основная масса зерен тёмно-серого цвета принадлежит оксиду алюминия.

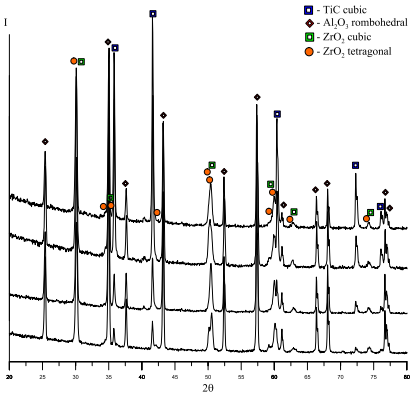
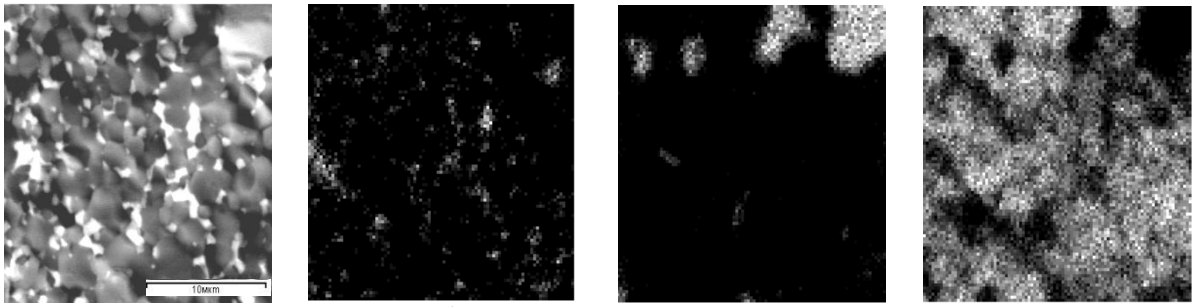


Рис. 1. Фазовый анализ полученных нанокомпозитов.



а *б* *в* *г*

Рис. 2. Интегральныйэлементный анализ по поверхности излома (а) нанокомпозита 71% Al_2O_3 – 9% ZrO_2 – 20% TiC; б - распределение атомов циркония, в - атомов титана, г - атомов алюминия.

Методом случайных секущих, были получены данные о среднем размере зерен отдельных компонентов, для оксида алюминия - 1.5мкм; диоксида циркония - 0.8мкм; карбида титана - 2,5мкм.

Данные об основных механических свойствах нанокомпозитов представленны в Таблице 1.

Таблица 1

Механические свойства полученных нанокомпозитов

Состав	Плотность, г/см^3	Теоретическая плотность, г/см^3	Относительная плотность	E, ГПа	Макро Hv, ГПа	K_{1c}, Мпа*м$^{1/2}$
AZT-1	4,03	4,16	0,97	370	18,6	5,04
AZT-2	4,16	4,20	0,99	380	19,8	5,44
AZT-3	4,26	4,29	0,99	385	21,4	5,68
AZT-4	4,36	4,37	0,99	400	19,3	5,16

Состав	Плотность, г/см^3	Теоретическая плотность, г/см^3	Относительная плотность	E, ГПа	Макро Hv, ГПа	K_{1c}, Мпа*м$^{1/2}$
AZT-5	4,32	4,33	0,99	340	13,3	5,82
AZT-6	4,35	4,38	0,99	344	17,7	5,44
AZT-7	4,44	4,47	0,99	357	16,0	5,41
AZT-8	4,55	4,57	0,99	357	16,5	5,83

Таким образом, сформирована мульти масштабная иерархическая структура в сложных окси-карбидных нанокомпозитах, которая позволяет направленно регулировать физико-механические свойства окси-карбидных композитов. Матрица композита, состоящая из микронных зерен оксида алюминия упрочняется более крупными и твердыми зернами карбида титана играющие роль крупной преграды на пути движения трещины, для преодоления которой, нужно затратить гораздо большее количество энергии, а на границах между зернами Al_2O_3 и TiC находятся нанозерна диоксида циркония в тетрагональной сингонии, которые при взаимодействии с распространяющейся трещиной испытывают тетрагонально-моноклинное превращение под действием нагрузки сопровождающееся увеличением объема, что создает сжимающие напряжения в матрице Al_2O_3 повышая тем самым вязкость разрушения композита в целом. Наилучшее сочетание механических свойств показал состав 70%Al_2O_3 – 10%ZrO_2 – 20%TiC его твердость и вязкость разрушения составили 21,4 ГПа и 5,7 МПа*м$^{1/2}$ соответственно. Модуль упругости составил 385ГПа.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке МОН, соглашение №14.607.21.0056- RFMEFI60714X0056.

Элементный анализ и растровые снимки структуры композитов получены на приборе LEO EVO 50 (Zeiss, Германия) в ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН (ЦКП ТНЦ СО РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Григорьев М.В., Буякова С.П., Кульков С.Н. Влияние механической обработки на структуру и свойства порошков ZrO_2 и TiC и спеченных на их основе керамик // Огнеупоры и техническая керамика - 2013. - №11/12 - С. 20-25.

2. Григорьев М.В., Кульков С.Н. Особенности синтеза керамики на основе порошков Al_2O_3 различной дисперсности //Перспективные материалы. - 2010. - №6. - С.73-75.

3. Григорьев М.В., Молчунова Л.М., Буякова С.П., Кульков С.Н. Влияние механической обработки на структуру и свойства нестехиометрического порошка карбида титана // Известия ВУЗов. Физика - 2013. - №7/2. - С. 206-210.

4. Zhang Y, Wang L, Jiang W, Chen L, Bai G. Microstructure and properties of Al_2O_3–TiC nanocomposites fabricated by SPS from high-energy ball milled reactants. // *J Eur Ceram Soc.* – 2006. - 26:3393–7.

5. Савченко Н.Л., Королёв П.В., Мельников А.Г., Саблина Т.Ю., Кульков С.Н. Структура и механические схарактеристики спеченных композитов на основе ZrO_2-Y_2O_3-Al_2O_3 // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2008. - С.94-99.

ВЛИЯНИЕ ТИПА ПРЕКУРСОРА НА РАЗМЕР ЧАСТИЦ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧАЕМОГО ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Гуков М.И., Шаненков И.И., Циммерман А.И.
Научный руководитель: Сивков А.А., профессор, д.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: 1q1@t-sk.ru

INFLUENCE OF PRECURSOR TYPE ON PARTICLE SIZES OF ALUMINUM NITRIDE OBTAINED BY PLASMA DYNAMIC METHOD

Gukov M.I., Shanenkov I.I., Tsimmerman A.I.
Scientific Supervisor: Sivkov A.A., professor., D.Sc.
National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin av., 30, 634050
E-mail: 1q1@t-sk.ru

Annotation. *Aluminum nitride is prospective material due to its high thermal conductivity and low dielectric constant. This paper shows the results of obtaining aluminum nitride by plasma dynamic method in systems with gaseous (nitrogen N_2) and solid (melamine $C_3N_6H_6$) precursors. The influence of precursor type on energy characteristics of synthesis process and particle size distribution were investigated using oscillograms and bright-field TEM images. The results show that the use of solid precursor is directly influenced on decreasing of energy parameters and increasing of particle size distribution. This fact is connected with the presence of hydrogen in melamine, which after releasing decreases the temperature of plasma.*

Нитрид алюминия широко используется в энергетике и микроэлектронике. Известно, что он обладает следующими уникальными свойствами: сравнительно высокая теплопроводность [1-2], низкая диэлектрическая постоянная [3], низкий коэффициент теплового расширения, высокая механическая прочность [4]. Такое уникальное сочетание свойств предопределило обширное использование данного материала при получении керамики. Известно, что чем меньше размер частиц нитрида алюминия, тем меньше необходимо выставлять температуру при спекании. В связи с этим важной задачей является получение порошков AlN с наноразмерной структурой.

На сегодняшний существует множество способов получения нитрида алюминия: самораспространяющийся высокотемпературный синтез [5], химическое осаждение из газовой фазы [6], метод карботермического восстановления и нитридирования [7] и другие. Однако, отличительной чертой большинства методов являются большие удельные энергетические и временные затраты на получение необходимого продукта.

Известно что методы синтеза порошков, основанные на использовании плазмы обладают следующими преимуществами: высокая скорость протекания реакции, высокие достигаемые энергетические параметры в процессе синтеза и высокая скорость охлаждения (порядка 10^6 К/с). Такая высокая скорость охлаждения позволяет получать продукты с наноразмерной структурой.

В НИ ТПУ разработан метод прямого плазмодинамического синтеза в гиперскоростной электро-

разрядной струе, генерируемой специальным устройством – коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) [8]. С использованием данного способа возможно реализовывать получение ультрадисперсных порошков различных функциональных материалов. В данной работе рассмотрено влияние прекурсоров, используемых в процессе синтеза нитрида алюминия, на процесс плазмодинамического синтеза и размер получаемых частиц в продуктах.

Известно, что молекулы чистого газообразного азота обладают одним из наиболее больших значений энергии связи. Это уменьшает реакционную способность и вынуждает исследователей искать альтернативные азот-содержащие материалы. Одним из наиболее часто применяемых является меламин ($C_3N_6H_6$). С использованием КМПУ были проведены эксперименты по сравнению влияния газообразного и твердого прекурсора (меламина) на продукт плазмодинамического синтеза в системе алюминий-азот. Стоит отметить, что начальные параметры системы были идентичны.

На рис. 1 представлены рабочие осциллограммы разрядного тока, напряжения, мощности разряда и выделившейся энергии, записанные в ходе проведения экспериментов. Видно, что процесс плазмодинамического синтеза имеет длительность не более 600 мкс. Из анализа осциллограмм можно заметить, что характер кривых тока и напряжения в экспериментах с газообразным и твердым прекурсором различны. Так в случае использования азотной атмосферы процесс протекает согласно классическим представлениям: после пробоя межэлектродного промежутка происходит увеличение тока с постоянной скоростью и последующим снижением до нуля. На кривой тока, записанной в эксперименте с твердым прекурсором, видно, что производная скорости нарастания тока меняет свои значения. Это объясняется тем, что в процессе протекания тока из меламина, используемого в качестве азотсодержащего прекурсора, активно выделяется водород, который увеличивает теплоотвод. Это выражается в увеличении напряжения и уменьшении уровня максимального тока. Уменьшение уровня протекающего тока непосредственным образом влияет на количество выделившейся энергии. Так за счет использования прекурсора, содержащего водород, величина энергии снижается на 25 %.

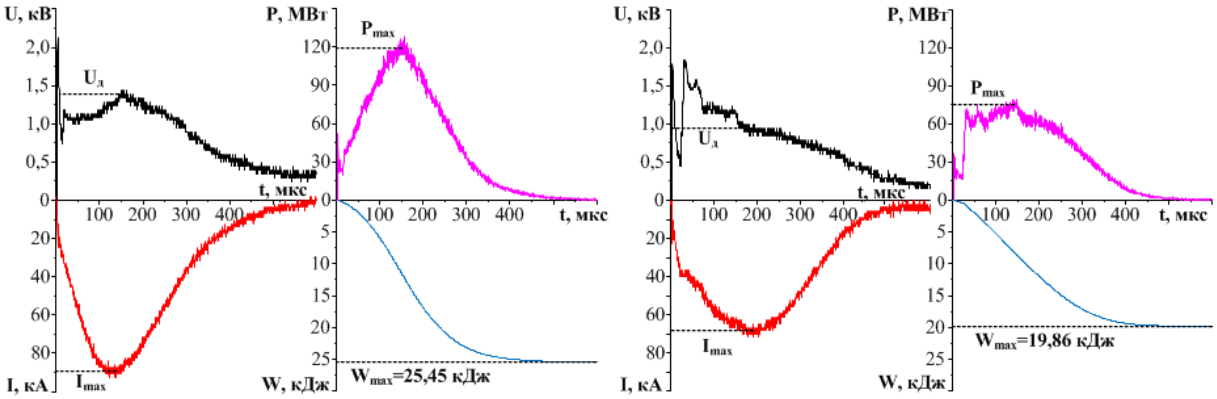


Рис. 1. Осциллограммы тока i(t), напряжения u(t), мощности p(t), энергии w(t): а) эксперимент с использованием газообразного прекурсора; б) эксперимент с использованием твердого прекурсора

Построение гистограмм распределения частиц по размерам, представленных на рисунке 2, производилось на основании анализа данных светлопольных снимков, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии. Как видно из получившихся гистограмм, продукт, синтезированный в эксперименте с использованием газообразного прекурсора, имеет достаточно узкое распределение и большинство частиц лежит в диапазоне 20-80 нм. Частицы порошка, полученного с использованием ме-

ламина, распределены более равномерно и имеют большие размеры (40-160 нм). Такое увеличение размеров можно объяснить тем, что в процессе выделения водорода уменьшается величина тока, снижается температура плазмы и, соответственно, уменьшается скорость охлаждения, что влияет на рост частиц.

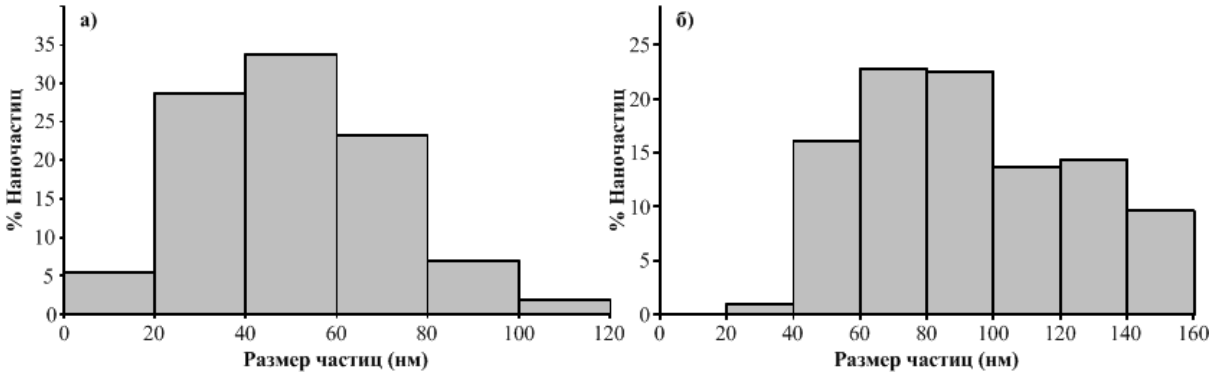


Рис. 2 – Гистограммы распределения частиц по размерам: а) эксперимент с использованием газообразного прекурсора; б) эксперимент с использованием твердого прекурсора

Таким образом, из представленных результатов можно заключить следующее: тип прекурсора, используемый для реализации процесса плазмодинамического синтеза, непосредственным образом влияет на энергетические характеристики процесса и на распределение частиц по размерам в синтезированных образцах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Slack G. A., Tanzilli R. A., Pohl R. O., Vandersande J. W. The intrinsic thermal conductivity of AIN // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 1987. – № 48. – P. 641−647.

2. Yin Tao-tao, Yang Bao-he, Li Cui-ping, Wang Jin. Preparation and piezoelectric properties of (100) oriented AlN film // Journal of Optoelectronics Laser. - 2012. - № 23. – P. 1327−1332.

3. Luo J. T., Zhu X. Y., Chen G., Zeng F., Pan F. The electrical, optical and magnetic properties of Si-doped ZnO films // Applied Surface Science. – 2012. – № 258. – P. 2177−2181.

4. Otake N., Liu L., Yasuhara T., Kato K. Micro free-form fabrication of aluminum nitride and zinc oxide // Applied Physics. – 1998. – № 37. – P. 6128–6134.

5. Pee J.H., Park J.C., Hwang K.T., Kim S., Cho W.S. Properties of AlN powder synthesized by self-propagating high temperature synthesis process // Key engineering materials. – 2010. – № 434–435. – P. 834–837.

6. Tian W., Yan W. Y., Dai J. N., Li S. L., Tian Y., Xiong H., Zhang J. B., Fang Y. Y., Wu Z. H., Chen C. Q. Effect of growth temperature of an AlN intermediate layer on the growth mode of AlN grown // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2013. – № 46. – 065303.

7. Lee S.H., Yi J.H., Kim J.H., Ko Y.N., Hong Y.J., Kang Y.C. Preparation of nanometer AlN powders by combining spray pyrolysis with carbothermal reduction and nitridation // Ceramics International. – 2011. – № 37. – P. 1967–1971.

8. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А. Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Заявлено 24.09.2013; Опубл. 10.02.2014 Бюл. № 4. – 6 с.

ПРОЦЕССЫ ЗОЛЕ- И ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ В КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ ТЕТРАЭТОКСИСИЛАНА

Демидова С.А., Куаха К.
Научный руководитель: Петровская Т.С., доцент, д.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: demidovasonya@yandex.ru

SOL-GEL PROCESSES IN COLLOIDAL SOLUTIONS BASED ON TETRAETHOXYSILAN

Demidova S.A.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Petrovskaya T.S.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: demidovasonya@yandex.ru

Золь-гель метод находит широкое применение для получения полифункциональных материалов, как эффективный метод, позволяющий расширить разнообразие составов и возможности управления свойствами. Одним из существенных достоинств золь-гель метода является то, что реологические свойства золей и гелей позволяют применять их для получения покрытий и пленок, которые, в свою очередь, способны придавать биосовместимость поверхности материалов.

Целью данной работы является изучение физико-химических процессов в растворах, предназначенных для получения тонких пленок золь-гель методом в оксидной системе CaO-P_2O_5-SiO_2. Как известно, в основе золь-гель метода могут лежать различные реакции, в том числе гидролиза и поликонденсации, обусловливающие переход истинных растворов в коллоидные золи, а затем гели, в которых размер частиц дисперсной фазы, как правило, не превышает 100 нм. Изменение внешних условий, увеличение концентрации объемной фазы и применение специальных методов обработки позволяют получать из раствора монолитный гель и затем пористый или плотный материал, а также пленки, волокна, порошки. Важную роль в формировании структуры и свойств конечного продукта играет способ и режим удаления растворителя из геля (сушка).

В данной работе пленкообразующие растворы (ПОР) готовили из следующих прекурсоров класса «ХЧ»: тетраэтоксисилан $Si(C_2H_5O)_4$ для введения SiO_2; фосфорная кислота H_3PO_4 - как прекурсор P_2O_5 и хлорид кальция $CaCl_2$ как прекурсор CaO. В качестве растворителя использовали водный раствор этилового спирта с концентрацией 96% (здесь и далее мас.%). Из ПОР методом вытягивания получали пленки, которые высушивали при температуре 60 °С (1 ч).

Исследование физико-химических процессов, протекающих в растворах после их приготовления, проводили путем измерения вязкости в течение созревания коллоидного раствора. Использовали капиллярный вискозиметр ВПЖ-2 с диаметром капилляра 0,99 мм. Изучение физико-химических превращений при нагревании порошков ксерогеля, изменения их фазового состава, приводящие к формированию оксидных систем, проводили с помощью дифференциально-термического и термогравиметрического метода анализа на приборе STA 449 F3 Jupiter фирмы NETSCH. Исследования структуры порошков проводили на оптическом микроскопе ПОЛАМ – Р312, микроструктуры и элементного состава на

сканирующем электроном микроскопе (СЭМ) марки JCM – 6000 JEOL.

Физико-химические процессы растворения, гидролитической поликонденсации, обусловливающие переход истинного раствора в состояние «золь» и «гель», а также коагуляции сопровождаются возрастанием вязкости, что позволяет формировать из ПОР пленки [1,2].

На рис. 1 приведена зависимость вязкости от времени для раствора с концентрацией 0,4 М и содержанием компонентов в пересчёте на оксиды: CaO 25 %, P_2O_5 20 %, SiO_2 55 %.

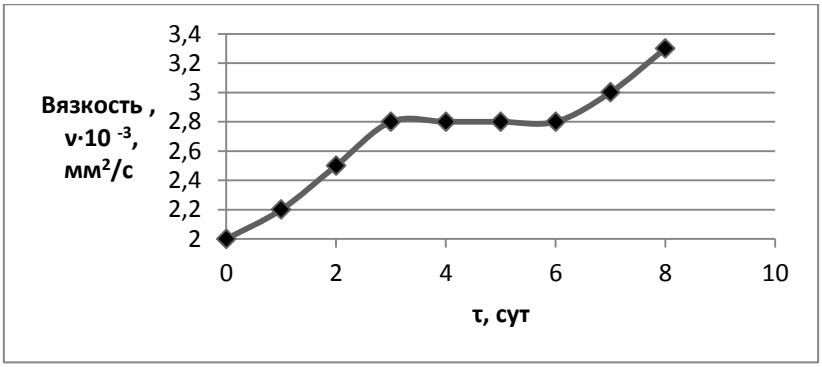
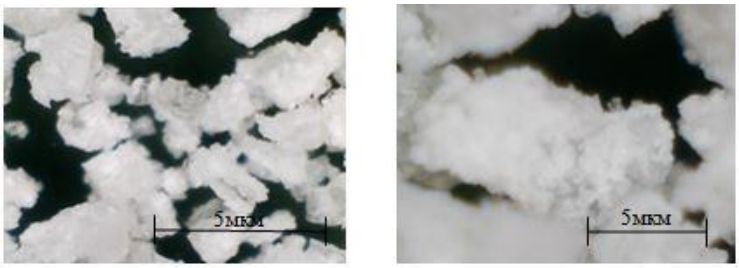


Рис.1 Зависимость кинематической вязкости ν ПОР от времени τ

Из рисунка видно, что вязкость свежеприготовленного ПОР в водноспиртовой смеси с течением времени возрастает. К 3-м суткам рост вязкости замедляется, а с 6-х вновь возобновляется. Изменение вязкости за 10 суток с момента приготовления раствора происходит от 2 до 3,3 $мм^2/с$. Это показывает, что процессы коллоидизации в ПОР начинаются с момента приготовления раствора, затем замедляются, и вязкость меняется медленно. Реакции гидролиза и поликонденсации продолжаются, но протекают с малой скоростью в связи с пространственными затруднениями. Далее вязкость возрастает, это связано с изменениями в дисперсной системе, и в частности, ростом размера частиц внутри раствора [3].

Исследование пленок, вытянутых из растворов (ПОР) в разные периоды созревания, на оптическом и сканирующем электронном микроскопе показывает, что форма, степень аморфности-кристалличности дисперсной фазы ПОР в разные периоды созревания отличается. Ксерогель, полученный сушкой раствора при 50°С, представлен единичными аморфными и кристаллическими частицами и агрегатами размером от 1 мкм до10 мкм.



а б

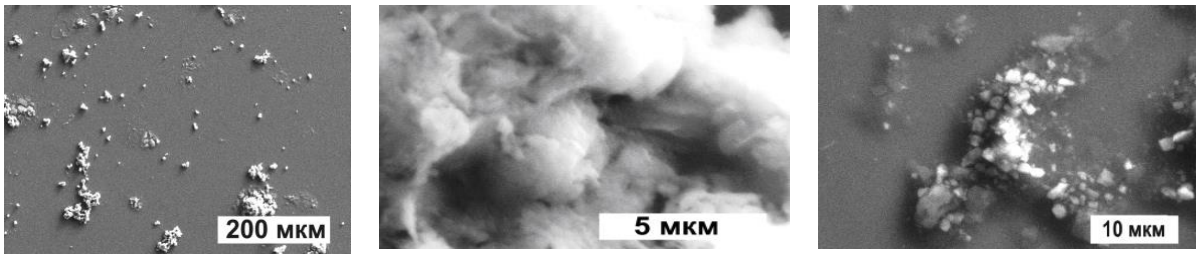
Рис. 2 Изображение частиц ксерогеля. Оптическая микроскопия. Увеличение: а - 120, б - 400.

Частицы в растворе на 2-й день после приготовления аморфны, имеют рыхлую структуру, поры, объединяются в агрегаты различной формы (Рис.3 а, б). Частицы на 7-й день приготовления раствора

(Рис.3 в) существуют в виде крупных агрегатов, окристаллизованных с поверхности. Частицы размером до 3 мкм имеют форму близкую к сферической. Более крупные представляют собой агломераты из сферических частиц удлиненной или разветвленной формы; средние имеют размеры от 5х10 до 15х30 мкм, крупные - по длине 50-75, по ширине 20-30 мкм.

Частицы в ПОР со сроком хранения 7 суток более крупные; размеры от около 1 до 2,5, 5-6, 8-10 мкм, в небольшом количестве размером около 50 или 100 мкм. Структура частиц плотная.

Частицы в ПОР со сроком хранения 7 суток более крупные; размеры от около 1 до 2,5, 5-6, 8-10 мкм, в небольшом количестве размером около 50 или 100 мкм. Структура частиц плотная.



А б в

Рис.3. СЭМ. Изображение поверхности пленок, полученных из ПОР со сроком хранения 2 суток (а, б) и 7 суток (в).

Превращения в процессе термообработки сухих продуктов ПОР важно знать для определения режимов формирования пленок или режимов спекания объемных материалов.

Выводы. В спиртовых растворах на основе тетраэтоксисилана, ортофосфорной кислоты, хлорида кальция в результате процессов гидролиза, поликонденсации и коагуляции образуются полидисперсные коллоидные растворы. Вязкость растворов в течение 7 суток старения изменяется от 2 до 3,3 мм^2/с, при этом растворы переходят из состояния «золь», а затем в состояние «гель».

Размеры частиц в различных состояниях изменяются в широких пределах и зависят от времени созревания раствора. Частицы дисперсной фазы ПОР со сроком созревания 2 суток отличаются рыхлой аморфной структурой, а со сроком созревания 7 суток - более плотной структурой, при этом имеет место структурирование и образование кристаллитов в крупных агломератах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Борило Л.П. Тонкопленочные неорганические наносистемы. – Томск: Изд-во ТГУ, 2003. – 134 с.

2. Петровская Т.С., Борило Л.П., Козик В.В., Верещагин В.И. Структура и свойства нано продуктов в системе P_2O_5-SiO_2 // Стекло и керамика. – 2008. – № 11. – С. 29 – 33.

3. Петровская Т.С., Борило Л.П., Козик В.В. Физико-химические процессы формирования кальцийфосфатных покрытий золь-гель методом // Известия вузов Томского государственного университета. Серия Физика. – 2013. – Т. 56. – № 12/3. – С.53–58.

Авторы статьи Демидова С.А. и Куаха К. выражают искреннюю благодарность научному руководителю - профессору, доктору технических наук Петровской Т.С. за оказанное содействие, помощь и сотрудничество в научно-исследовательской работе студентов.

КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ

Егорушкин А.В., Енджиевская И.Г., Егорушкин В.О., Василовская Н.Г.
Научный руководитель: Василовская Н.Г., доцент, к.т.н.
Сибирский федеральный университет, Иинженерно-строительный институт
Россия, г. Красноярск, пр. Свободный 82а, 660041
E-mail: eav.89@mail.ru

COMPOSITE BINDERS FOR ROAD MARKING

Egorushkin A.V., Endzhievskaya I.G., Egorushkin V.O., Vasilovskaya N.G.
Scientific adviser: Vasilovskaya N.G., docent, c.t.s.
Siberian Federal University of Civil Engineering Institute
Russia, Krasnoyarsk, pr. Svobodniy 82a, 660041
E-mail: eav.89@mail.ru

The article examines the impact of road accidents on the country's economy with the provision of a negative impact on the demographic consequences. Given the importance of road markings performance on public roads, which increases the probability of reducing the total number of traffic accidents. Designed colored polymer composition to produce physical and mechanical properties comparable to the characteristics of conventional asphalt concrete.

Несмотря на многочисленные меры, направленные на повышение уровня безопасности дорожного движения, в стране продолжается рост общего количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Это происходит по разным причинам, в том числе и из-за низкого уровня организации дорожного движения.

По некоторым данным, дорожно-транспортные происшествия (ДТП) наносят экономике страны ущерб, равный 2,5% от валового внутреннего продукта (ВВП). Данный показатель сопоставим с вкладом в ВВП отдельных отраслей экономики [1].

Экономические потери от вовлечения человека в ДТП заключаются в доставке пострадавших в лечебное учреждение, в больничных расходах на лечение, выплате пособий по инвалидности в результате ДТП, а в случае гибели – иждивенцам. Сюда же относится ущерб из-за выбытия человека из сферы производства и др.

Размер социально-экономического ущерба от ДТП в 2011 г составил 862 млрд руб, при этом годовые потери сопоставимы с расходами консолидированного бюджета субъектов страны в 2011 г на жилищно-коммунальное хозяйство, что равно 881,25 млрд руб [2].

В результате многочисленных ДТП и их последствий по проведенным исследованиям демографический ущерб в 2004-2011 гг составил 571 407 человек, при этом основным видом ДТП являются происшествия с тяжелыми последствиями, таким, как наезд на пешехода. В таких ДТП пешеходы, как наиболее незащищенные участники движения, часто получают многочисленные травмы.

На сегодняшний день повышение безопасности дорожного движения является актуальным вопросом. Одним из эффективных способов решения поставленной задачи является строительство новых

развязок и автомагистралей с целью разделения встречных потоков и снижения количества примыканий в одном уровне с новыми объектами строительства. Сюда же можно отнести строительство новых подземных и надземных пешеходных переходов, однако исторически сложившаяся планировка городов не везде позволяет использовать такие решения, к тому же требующие больших капиталовложений.

Дорожная разметка является одним из наиболее простых и эффективных средств организации дорожного движения. Ее отличительная особенность заключается в постоянном нахождении ее в поле зрения водителя, что способствует быстрой передачи дорожной информации водителю.

Для оценки влияния мероприятий по повышению безопасности дорожного движения используется показатель средней вероятности снижения количества ДТП [3]. Так, вероятность снижения общего числа ДТП в долях единицы, при устройстве осевой и краевой линий разметки, составляет 0,36.

В северных регионах с частыми снегопадами и пониженными температурами наружного воздуха, современные дорожно-строительные материалы поверхностного нанесения являются недолговечными, что приводит к быстрому старению, износу и отсутствию дорожной разметки в зимний и весенний период.

Альтернативным материалом для устройства дорожной разметки на дорогах общего пользования может стать цветной полимербетон. Область применения цветных полимербетонов обширна. С использованием этого материала можно устраивать покрытие площадей, производить зонирование производственных помещений, выделять автобусные остановки и устраивать пешеходные переходы. Отличительная особенность полимербетона от асфальтобетона заключается в возможности получения обширной палитры цветов.

На кафедре строительные материалы и технология строительства СФУ проведены исследования по приготовлению цветного полимербетона с использованием разработанного состава вяжущего [4].

Проводились исследования цветности вяжущего на основе нефтеполимерной смолы (НПС), которые показали, что 50-ти % раствор смолы в уайт-спирите по йодометрической шкале не темнее 80. Это позволит получить композицию насыщенной цветовой гаммы, однако текучая консистенция компаундированного вяжущего делает невозможным его применение в цветных полимербетонных композициях, несмотря на его сходство с битумом.

Для стабилизации физико-механических характеристик в компаундированное вяжущее вводилась НПС в количестве от 10% до 30%. В ходе проведения испытаний установлен оптимальный расход НПС, равный 23%. Полученное композиционное вяжущее показало следующие результаты: КиШ - 44 ^{0}С, глубина проникания иглы при t+25 ^{0}С - 110, показатель растяжимости при t=+25 ^{0}С составляет > 100 см. Полученные результаты сопоставимы с требованиями, установленными ГОСТ 22245 для дорожных битумов.

Для получения белого цвета полимербетона в качестве заполнителя использовалась мраморная крошка. Гранулометрический состав был подобран в соответствии с требованиями ГОСТ 9128 , предъявляемыми к горячим асфальтобетонным смесям «тип В». В качестве частиц мельче 0,071 так же применялась измельченная и просеянная мраморная крошка.

Мраморная крошка была раздроблена и разделена на фракции методом просеивания для дальнейшего смешивания в необходимых пропорциях. Конечный цвет минеральной части получился насыщенного белого цвета. Наибольшая крупность зерен была принята 5 мм.

В ходе проведения испытаний было установлено, что оптимальное количество вяжущего в цветном полимербетоне составляет 6,25% сверх массы минеральной части, что тоже сопоставимо с расходом битумного вяжущего в асфальтобетонах. Приготовление цветного полимербетона проводилось в следующем порядке – заранее подготовленное вяжущее подавали на разогретую до 100 ^{0}С минеральную часть с последующим перемешиванием до получения однородной смеси.

Приготовленную однородную смесь формовали по ГОСТ 12801 с использованием формы размером 50,5 мм. Перед формованием образцов форму и вкладыши подогревали до температуры не менее 90 ^{0}С, после чего подготовленная органоминеральная смесь подавалась в форму с штыкованием. Образцы цветного полимербетона получились цвета топленого молока с белым вкраплением крупных зерен мраморной крошки. Использование пигментов в разработанном вяжущем позволит расширить цветовую гамму асфальтобетонов.

Полученные образцы подвергались термостатированию до температуры +20^{0}С в течении 1 ч после чего испытывались на сжатие. Прочностные характеристики на сжатие равны 2,6 МПа, что превосходит требования ГОСТ 9128, а именно прочность асфальтобетонов : марки I – 2,5 МПа; марки II – 2,2 МПа; марки III – 2,0 МПа.

Для расширения палитры цветов проводились исследования по применению горелых пород красного цвета месторождений, расположенных в Красноярском крае.

Минеральная часть составлялась по ГОСТ 9128 путем дробления и рассеивания по фракциям. В качестве частиц мельче 0,071 так же применялась измельченная и просеянная горелая порода. Для дальнейшего проведения испытаний, полученные фракции смешивались в необходимых пропорциях. Конечный цвет минеральной части получился насыщенного красного цвета с наибольшим размером частиц 5 мм. Формование образцов проводилось в соответствии с ГОСТ 12801 и по описанной выше методике.

Готовые образцы получились насыщенного красного цвета, при этом относительная прозрачность вяжущего позволяет не использовать красящие пигменты в красном полимербетоне.

Для уменьшения стоимости готового продукта целесообразно использовать местные минеральные материалы. Это позволит снизить расходы на производство, без оказания влияния на характеристики цветного полимербетона.

Литература:

1. ДТП лишают Россию 2,5% ВВП // Финансовые известия. 2005. 11 марта.
2. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 – 2020 годах» от 3 октября 2013 года №864.
3. Методические рекомендации по назначению мероприятий для повышения безопасности движения на участках концентрации дорожно-транспортных происшествий / Рос. дор. агентство (Росавтодор). - М.: Информавтодор, 2000. – 79 с.
4. Егорушкин А.В., Егорушкин В.О., Енджиевская И.Г., Василовская Н.Г. Комплексное вяжущее из низкомолекулярных полимеров // Современные проблемы науки и образования [электронный ресурс]. – 2014. – № 6. – режим доступа: www.science-education.ru/120-16616. – 14.05.15.

МАГНИТНАЯ ЖИДКОСТЬ: ПРОРЫВ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИЕ

Ёрматов А.А.
Научный руководитель: Деменкова Л.Г., ст.преп.
Юргинский технологический институт Томского политехнического университета,
Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, 652055
E-mail: lar-dem@mail.ru

MAGNETIC FLUID: THE BREAKTHROUGH OF NANOTECHNOLOGY IN ENGINEERING

Yormatov A.A.
Scientific Supervisor: senior lecturer Demenkova L.G.
Yurga Institute of Technology, TPU affiliate,
Russia, Yurga, Leningradskaya str., 26, 652055
E-mail: lar-dem@mail.ru

Одним из самых интенсивно развивающихся направлений современной науки является нанохимия магнитных материалов. Явление магнетизма известно человеку с давних пор, однако именно магнитный феномен нанообъектов сейчас – одна из самых обсуждаемых тем в научных журналах. Магнитные нанообъекты, к которым относятся и магнитные жидкости (МЖ), как оказалось по результатам исследований, могут нести в себе огромные возможности для перспективного применения в различных отраслях промышленности.

Цель работы – получить устойчивую магнитную жидкость и изучить её свойства.

Материал, оборудование и методика проведения исследования

Нами был проведён обзор литературных источников, в которых рассматривались способы получения, а также физико-химические особенности поведения магнитных жидкостей [1-8], руководствуясь которыми, мы выбрали оптимальный способ получения магнитной жидкости.

МЖ представляет собой золь, коллоидный раствор, мицеллы которого образованы ферромагнитными наночастицами, распределёнными в воде или каком-либо органическом растворителе (керосине, эфирах). Наночастицы состоят из магнетита (Fe_3O_4) или феррита (Fe_2O_3 с оксидами других металлов – марганца, никеля, кобальта, цинка). В качестве стабилизатора золя используют растворы поверхностно-активных веществ (например, олеиновую кислоту), препятствующих коагуляции золя и его расслоению. Адсорбируясь на поверхности дисперсных наночастиц, поверхностно-активные вещества образуют защитное покрытие, являющееся своеобразным барьером [1], благодаря чему МЖ не расслаивается и сохраняет свои свойства неограниченный период времени. Изучение МЖ имеет огромное значение, т.к. обуславливает решение фундаментальных проблем в физике и химии, а также практическое значение в технике, способствуя использованию МЖ в промышленности [2, 4]. Достижения в области исследования МЖ стали реальными только при применении комплекса методов ряда наук – математической статистики, химической термодинамики, механики, оптики и магнетизма [1,2].

Физико-химические свойства МЖ определяются особенностями её составных частей (дисперсной фазы, дисперсионной среды, стабилизатора), которые можно значительно изменять в зависимости от потребностей. Поведение магнитной жидкости в магнитном поле представлено на рисунке1.

Своеобразие МЖ заключается в сочетании высокой текучести и намагниченности – в десятки тысяч раз большей, чем у обычных жидкостей [5], т.к. каждая наночастица представляет собой постоянный магнит. Под действием теплового движения частицы перемещаются беспорядочно, а под действием магнитного поля происходит ориентация магнитных моментов частиц, при этом изменяются реологические свойства золя. Такое поведение может позволить применять МЖ в прикладных задачах. Ещё од-

ним интересным свойством МЖ является способность выталкивать тела с большей плотностью на поверхность при действии внешнего магнитного поля, что может способствовать их применению в горном деле для обогащения породы. Кроме того, МЖ могут иметь разный цвет, что позволяет использовать их в качестве магнитных красителей, и уже разработаны принтеры, где струя чернил отклоняется под действием магнита, образуя рисунки [6].



Рис. 1. Поведение магнитной жидкости в магнитном поле [1]

Важной областью применения МЖ является машиностроение. Магнитные смазки на основе МЖ являются более эффективными, т.к. размеры частиц очень маленькие, а кроме того, МЖ не вытекает из промежутков между трущимися деталями и может выталкивать загрязнения, являющиеся, как правило, немагнитными материалами. Очень перспективно применение МЖ для уплотнения зазоров между вращающимися деталями – втулками, валами, т.к. обеспечивает высокую герметичность. Магнитные жидкости расширяют арсенал средств повышения эффективности машиностроительного производства. Установлено [7], что МЖ, применяемые в качестве технологических жидкостей при резании металлов, могут повысить стойкость режущего инструмента, качество обработки поверхности, уменьшить силы резания и крутящие моменты, исключить срыв витков нарезаемой резьбы и поломку режущего инструмента при обработке деталей из титановых сплавов, коррозионно-стойких сталей и других трудно обрабатываемых материалов.

Области применения МЖ в машиностроении не ограничиваются описанными примерами использования их в качестве смазочных материалов и технологических сред при резании металлов. В литературе есть данные [6], что на основе применения МЖ в качестве рабочего тела можно создавать новые машиностроительные конструкции. Например, вместо широко используемых редукционных пневмоклапанов с чувствительным элементом и регулирующим органом в виде подпружиненной мембраны можно использовать пневмоклапаны, в которых роль этих элементов выполняет МЖ, расположенная в канале переменного сечения и находящаяся в зоне действия регулируемого магнитного поля. Исключение из конструкции механических подвижных элементов повышает надёжность редуктора.

Как показал обзор литературных источников [1-8], несмотря на активное изучение МЖ, пока ещё не предложены доступные высокопроизводительные методы их получения. Впервые МЖ были получены ещё в 1963 г. в США, однако только в настоящее время благодаря изучению их свойств значительно возрос спрос на них. В СССР исследование получения и областей применения магнитных жидкостей началось с работ Д.В. Орлова.

Учитывая, что МЖ представляет собой коллоидный раствор, для её получения надо размельчить

частицы дисперсной фазы до наноразмеров и обеспечить их стабилизацию в дисперсной фазе. Установлено [5], что коагуляция не происходит, если частицы дисперсной фазы имеют размеры 500-2000 нм. Добиться такой дисперсности можно двумя способами: либо размельчая крупные частицы, либо агрегируя молекулы. Кроме того, в процессе получения МЖ важно, чтобы мелкие частицы не вступили в какие-либо химические реакции. Диспергирование частиц дисперсной фазы осуществлялось при помощи как механических мельниц, так и ультразвука, электроплазменного измельчения и др., однако при этом не была достигнута нужная степень дисперсности. Кроме того, процессы оказались сложными, длительными и трудозатратными [4].

Более продуктивным оказалось использование методов конденсации – агрегации молекулярных частиц до коллоидной дисперсности. В карбонильном методе используется реакция разложения карбонилов металлов, при этом образуется очень чистый высокодисперсный продукт, например: $Fe(CO)_5 \rightarrow Fe + 5CO$. Электролитическая конденсация проводится путём электролиза растворов солей металлов. Вакуумная конденсация паров металла также позволяет получить неплохие результаты.

Химическая конденсация магнетита была предложена ещё в 1938 г. В. С. Элмором [1]. Метод основан на реакции: $2FeCl_3 + FeCl_2 + 8NaOH \rightarrow Fe_3O_4\downarrow + 8NaCl + 4H_2O$, проводимой при нагревании. Впоследствии метод был модифицирован [3]: вместо гидроксида натрия стали использовать гидроксид аммония, что позволило снизить температуру реакции. Полное осаждение образующихся частиц магнетита происходит только при достаточно большом, полуторакратном избытке осадителя. Таким образом, сущность метода химической конденсации магнетита заключается в его осаждении из солей железа (II) и (III) избыточным количеством раствора гидроксида аммония. Полученный осадок магнетита имел дисперсность порядка 10 нм, по своим магнитным свойствам образец приближался к монокристаллам магнетита $FeO \cdot Fe_2O_3$ [3]. В настоящее время способами получения МЖ являются разнообразные комбинации вышеперечисленных методов, приводящие к получению стабильных МЖ [1]. Для получения МЖ в наших условиях был использован метод химической конденсации, основанный на реакции взаимодействия солей железа (II) и (III) с гидроксидом аммония. Модифицируя методики, описанные в литературе [1-2] за счёт применения сульфата аммония-железа (III) $NH_4Fe(SO_4)_2$, а также изменив время выдержки на магните, мы получили стабильную МЖ (золь магнетита Fe_3O_4, в котором дисперсионной средой является вода, а также глицерин). В качестве стабилизатора использовали олеаты натрия и калия.

Результаты и обсуждение

Нами установлено, что МЖ, обладающая хорошими магнитными свойствами, получается без прогревания исходной смеси с поверхностно-активными веществами, а также стадия выдерживания продукта реакции на магните может быть значительно сокращена. Были исследованы некоторые физико-химические свойства полученной МЖ. При изучении её оптических свойств путём рассмотрения явления опалесценции мы подтвердили наличие наночастиц, т.к. в полученном золе наблюдался конус Тиндаля. Было исследовано движение капли магнитной жидкости в жидкой среде (воде, этаноле, минеральном масле) в постоянном и переменном магнитном полях, в случаях, когда направление движения совпадает, перпендикулярно и составляет некоторый острый угол с направлением напряженности магнитного поля. Также проведено исследование совместного движения двух одинаковых капель магнитной жидкости в постоянном и переменном магнитном полях при различной величине и направлении напряженности магнитного поля. Кроме того, мы пронаблюдали движение магнитной жидкости в постоянном маг-

нитном поле, смоделировали поведение МЖ как высокоэффективной магнитной смазки. Мы изучили возможность направленного изменения свойств других материалов путём их обработки магнитной жидкостью на примере бумаги, ваты, различных видов тканей, древесного шпона. Выяснено, что наилучшими магнитными свойствами обладает магнитный материал на основе бумаги и ткани. Кроме того, разработаны составы технологических жидкостей, содержащих МЖ на основе керосина, минеральных масел, дистиллированной воды с содержанием магнетита от 5 до 15 %.

В настоящее время во многих отраслях промышленности образуются отходы, которые являются токсичными и содержат в своём составе значительное количество ценных компонентов. Одними из наиболее опасных отходов промышленности являются шлаки металлургического производства, богатые железом. Нами установлено, что шлаки электросталеплавильного производства ООО «Юргинский машиностроительный завод» содержат до 1,8 % по массе магнитных включений. Эти отходы относятся к четвёртому классу опасности, поэтому, накапливаясь в больших количествах в отвалах, они становятся источниками загрязнения окружающей среды. Вместе с тем шлаки могли бы стать ценным сырьём для изготовления магнитной жидкости, в которой испытывают потребность многие отрасли народного хозяйства.

Дальнейшая работа по данной тематике будет проводиться в направлении изучения других химических реакций, дающих удовлетворительные результаты для получения магнитной жидкости, в том числе и получение устойчивой магнитной жидкости с графитовым наполнителем, а также подбор различных стабилизаторов, позволяющих предотвратить расслоение МЖ на дисперсную фазу и дисперсионную среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобровицкий Д.А., Деменкова Л.Г. Получение магнитной жидкости и её использование в машиностроении // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Томск, 2014. – С. 203-205.

2. Бобровицкий Д.А., Деменкова Л.Г. Магнитная жидкость – наноматериал для машиностроения // Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-2014): материалы Международной научной конференции молодых ученых. – Томск, 2014. – С. 631-635.

3. Контарев А.В. Применение магнитных жидкостей // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 10. – С. 67-70.

4. Сенатская И.И. Жидкость, которая твердеет в магнитном поле // Химия и жизнь. – 2012. – №10. – С. 43-47.

5. Магнитные жидкости – технология будущего? [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.nanometer.ru/046.htm. – 20.04.15.

6. Магнитные жидкости [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dic.academic.ru /dic.nsf/enc_physics/МАГНИТНЫЕ. htm. – 16.03.15.

7. С. Пайпелл. Маловязкая магнитная жидкость, полученная коллоидной подвеской магнитных частиц [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://khd2.narod.ru/technol/magliq.htm. – 24.04.15.

8. Важнейшие научные результаты физики и химии наноматериалов [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ftiudm.ru/component/option.com_remository.htm. – 28.03.15.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБРАБОТКИ В ПЛАЗМЕ Ar/SF_6 НА СВОЙСТВА ЧАСТИЧНО ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА

Ефремов А.В., Ноговицына М.В.
Научный руководитель: Неустроев Е.П., доцент, к.ф.-м.н.,
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
Россия, г. Якутск, ул. Кулаковского, 48, 677000
E-mail:efrale@mail.ru

IMPACT OF PLASMA TREATMENT AR/SF_6 ON PROPERTIES PARTIALLY REDUCED GRAPHENE OXIDE

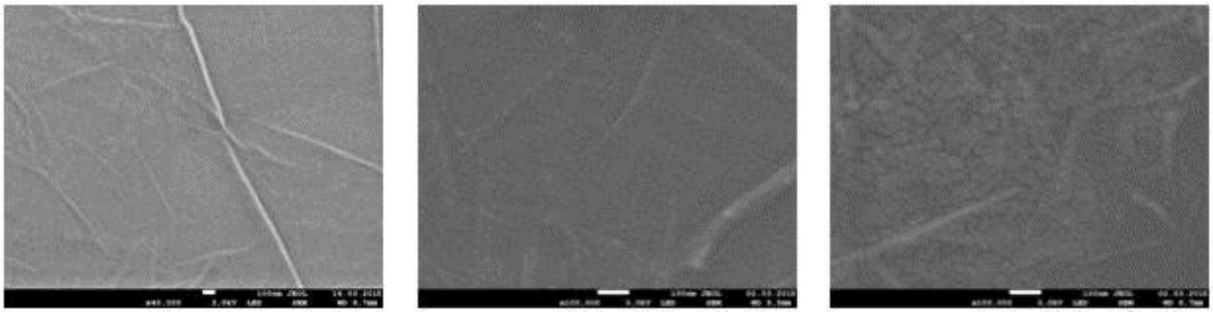
Efremov A.V., Nogovitsyna M.V.
Scientific supervisor: associate professor Neustroev E.P.
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University
Russia, Yakutsk, Kulakovskiy str., 48, 677000
E-mail: efrale@mail.ru

Impact of plasma treatment Ar/SF_6 of the thermally-reduced graphene oxide is investigated by methods of micro-Raman spectroscopy, electron/atomic force microscopy and current-voltage characteristics. It was in studies revealing that, plasma treatment leads to effective adsorption of graphene oxide surface atoms of oxygen and fluorine. Identified changes in the Raman spectra, samples resistance depending on the parameters of the plasma treatment. It found that treatment in Ar/SF_6 plasma leads to an increase in resistance of the samples. It is expected that the decrease of an electrical conductivity of material due to the violation of percolation paths of transport of a charge under the influence of the plasma ions.

Фторирование является одним из наиболее эффективных управления физико-химических свойств углеродных материалов[1]. В настоящее время, для фторирования углеродных наноматериалов используются процессы при очень высоких температурах и давлениях с использованием токсичных фторсодержащих химических соединений, таких как газообразный фтор, TbF_4, XeF_2 и плазмы CF_4[1]. В отличие от данных соединений SF_6 является безопасным газом. В данной работе исследуется воздействие на свойства оксида графена (ОГ) фторированного в плазме Ar/SF_6.

Оксид графена был получен модифицированным методом Хаммерса [2] на SiO_2 пленке толщиной 300 мкм, выращенной на подложке Si p-типа проводимости. Плазмохимическая обработка проведена на установке плазмохимического травления “ЭТНА-100 ПТ” компании «NTMDT» с индуктивным источником плазмы. Мощность плазмы составляла от 100 до 300 Вт, частота генератора 13,56 МГц, рабочее давление в камере составляло 0,2 мбар, длительность обработки составляла от 10 с до 30 минут. Скорости подачи потоков газа Ar и SF_6 в реакторную камеру составляли 30 и 10 $см^3$ в минуту, соответственно.

На рисунке 1 показаны изменения состояния поверхности ОГ до и после обработки в плазме Ar/SF_6, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа «Jeol 7800F». Как видно из рисунка увеличение времени воздействия плазмы приводит к росту доли разупорядоченных и аморфизированных областей на поверхности ОГ (светлые участки на рисунке 1).



а. *б.* *в.*

Рис. 1 Изображения поверхности пленок ОГ, полученные с помощью с помощью сканирующего электронного микроскопа. а – поверхность пленки ОГ после восстановления при Т=300^0 С длительностью 30 мин, б – после обработки в плазме Ar/SF_6 мощностью Р=200 Вт, длительностью 1 мин., в - после обработки в плазме Ar/SF_6 при мощности Р=200 Вт, длительностью 3 мин.

На рисунке 2 показаны спектры комбинационного рассеяния (КРС) для образца обработанного в плазме мощностью 150 Вт длительностью 30 с. Аналогичные спектры наблюдались и для других образцов. В спектрах КРС отчетливо проявляются характерные для оксида графена линии D и G при частотах 1350 см$^{-1}$ и 1600 см$^{-1}$, соответственно. Линия D связана с нарушениями кристаллической структуры графена и обусловлена формированием sp^3-связей [3]. G-пик связан с sp^2-связями углерода[3].

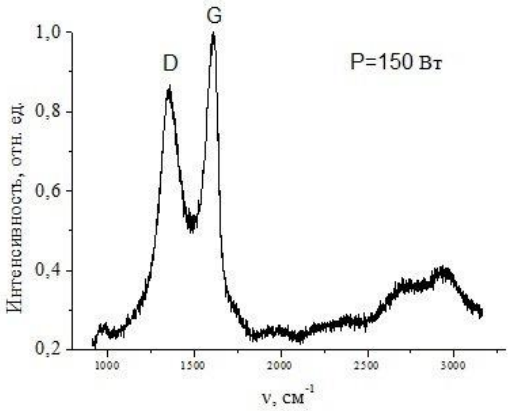


Рис.2 Спектры комбинационного рассеяния оксида графена, обработанного в плазме Ar/SF_6 мощностью 150 Вт длительностью 30 с.

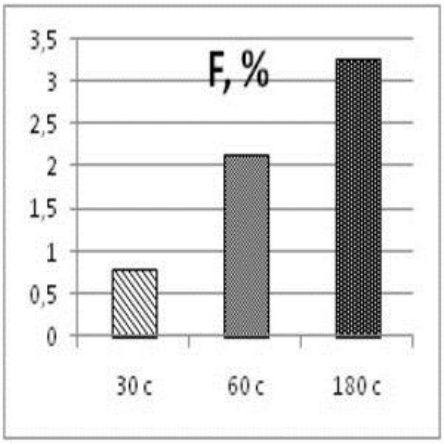


Рис.3 Зависимость содержания фтора в процентах от общего количества атомов на поверхности ОГ после обработки в плазме Ar/SF_6 различной длительности.

Результаты оценки элементного состава на поверхности пленок ОГ после обработки в плазме, выполненные с помощью установки энергодисперсионного анализа «IncaEnergy» компании «OxfordInstruments», представлены на рисунке 3. Как видно из рисунка увеличение времени обработки в плазме Ar/SF_6 приводит к последовательному возрастанию количества адсорбированных на поверхности атомов фтора. В исходном восстановленном ОГ атомы фтора на поверхности не были обнаружены.

Чтобы определить, как влияет фторирование на свойства ОГ были проведены измерения вольт-амперных характеристик, из которых определены слоевые сопротивления. Измерения выполнены двухзондовым методом. Для создания контактов использована серебряная паста. Измерения показали, что обработка в плазме Ar/SF_6 приводит к существенному возрастанию слоевого сопротивления уже при времени обработки 30 с (Таблица 1). Из значений, приведенных в таблице видно, что обработка в плазме с мощностью 250 Вт приводит к наибольшему возрастанию сопротивления. Возможно, что под воздействием ионов плазмы происходит разрушение путей перколяционной проводимости в пленке ОГ.

Таблица 1.

Условия обработки	*Отношение слоевых сопротивлений после и до обработки в плазме, $R_{сл2}/ R_{сл1}$*
P=100 Вт, t=30 с	*15*
P=150 Вт, t=30 с	*7*
P=250 Вт, t=30 с	*143*

Таким образом, из результатов экспериментальных данных следует, что обработка в плазме Ar/SF_6 приводит к существенному изменению свойств оксида графена. Путем обработки в плазме Ar/SF_6 можно эффективно контролировать электрические свойства восстановленного ОГ, изменяя сопротивление в широком диапазоне от исходного, зависящего от степени восстановления, до состояния изолятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. S. K. Yadav, J. H. Lee, H. Park, S. M. Hong, T. H. Han, and C. M. Koo. Facile and Ecofriendly Fluorination of Graphene Oxide//Bull. Korean Chem. Soc. – 2014 - Vol. 35. - №7. -P.2139-2142.

2. Александров Г.Н., Смагулова С.А., Капитонов А.Н., Васильева Ф.Д., Куркина И.И., Винокуров П.В., Тимофеев В.Б., Антонова И.В. Тонкие частично восстановленные оксид-графеновые пленки: структурные, оптические и электрические свойства// Российские нанотехнологии. - 2014. - Т.9. - № 5-6. - С. 18-22.

3. Ferrari A. C. Raman spectroscopy of graphene and graphite: Disorder, electron–phononcoupling, doping and nonadiabatic effects// Solid State Communications. – 2007. -Vol.143. –P. 47–57.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛИ 10Р6М5 ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Исакин И.А., Зыков И.Ю.

Научный руководитель: Гнюсов С.Ф., д.т.н., профессор.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: zidanka9@gmail.com

SURFACE LASER TREATMENT OF COATINGS ON THE BASIS OF STEEL 10P6M5

Isakin I.A., Zykov I.Yu.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Gnusov S.F.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: zidanka9@gmail.com

В условиях работы пар трения с высокими контактными нагрузками и дефицитом смазки необходимы тонкие упрочнённые слои на уровне общего поверхностного упрочнения композиционными покрытиями, которые бы свели к минимуму износ в паре трения как на этапе приработки, так и в ходе установившегося износа. С помощью лазерного луча можно получить такие тонкие прочные слои на более толстом вязком подслое, который будет релаксировать ударные нагрузки, и препятствовать развитию трещин. В этой связи актуальна задача использования комбинированных технологий получения износостойких покрытий с широким комплексом свойств.

Цель работы – исследование влияния лазерного оплавления поверхности упрочняющих слоёв на основе стали 10Р6М5, сформированных электронно-лучевой наплавкой, на микроструктуру и микротвёрдость литого ядра и зоны термического влияния.

Материал, оборудование и методика проведения исследований

Для поверхностного лазерного оплавления использовали упрочняющие слои, которые были получены методом электронно-лучевой наплавки в вакууме. Для наплавки использовали порошок быстрорежущей стали 10Р6М5 и композиционную смесь сталь 10Р6М5+20% WC, в качестве основного металла - сталь 20. Методика наплавки подробно описана в работе [2]. После наплавки образцы подвергались термической обработке – отпуску при температуре 843 К (сталь 10Р6М5) и 883 К (сталь 10Р6М5+20% WC) в течение 1 ч. с последующим охлаждением на воздухе.

Исходная микроструктура упрочненного слоя на основе стали 10Р6М5 представляет собой мартенситно-аустенитную матрицу (85:15), в которой распределена карбидная фаза. Упрочняющая фаза в покрытиях представлена карбидами M_6C, M_2C и VC. Карбид M_6C расположен по границам зерен матрицы в виде эвтектической сетки. В покрытии сталь 10Р6М5+20% WC матрица находится в аустенитно-мартенситном состоянии (~50:50 %). В процессе однократного отпуска уменьшается объемное содержание аустенита и происходит дополнительное выделение вторичного карбида в объеме зерен матрицы.

Проводили лазерное оплавление плоской поверхности покрытий размером 25×4,5 мм (высота образца 8 мм, толщина наплавленного слоя 4 мм). Данная поверхность перед оплавлением подвергались механическому шлифованию и полированию на алмазных пастах различной дисперсности.

Для оплавления образцов применялась лазерная установка «BlackLight» на основе неодимового лазера с ламповой накачкой и управляемым разрядом производства ООО «Лазерный центр» г. Санкт-

Петербург. Установка состоит из блока излучателя и технологической бинокулярной приставки.

Поверхность наплавки облучалась одиночными импульсами. При облучении варьировалась длительность импульса, от которой в конечном итоге зависит его энергия (см. таблицу 1). С увеличением длительности импульса его энергия возрастает не пропорционально из-за ограниченной величины напряжения конденсатора источника лазерного излучения. Газовая защита не применялась.

Таблица 1

Параметры режимов лазерной обработки

Длительность импульса, мс	2	4	6	8	10	15	20
Энергия импульса, Дж	2.2	4.2	5.5	7	7.3	9	10
Импульсная мощность, кВт	1.1	1.05	0.917	0.875	0.73	0.6	0.5
Диаметр зоны обработки, мм	0.52	0.66	0.73	0.78	0.79	0.8	0.85
Плотность мощности, кВт/см^2	518	307	219	183	149	119	88
Удельный энерговклад, Дж/см^2	1036	122	1314	1466	1490	1791	1763

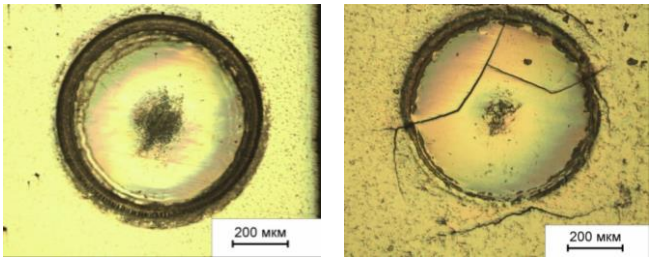
После оплавления поверхности лазером она полировались для удаления окисной плёнки. Для исследования глубины точечного оплавления и величины зоны термического влияния образцы разрезались параллельно оси пучка по диаметру оплавленной точки с помощью электроэрозионной резки. Для выявления структуры ЗТВ микрошлифы подвергали травлению 2% раствором HNO_3 в этиловом спирте. Структуру литого ядра выявляли с помощью травления в смеси кислот HNO_3 и HCl (1:3). Микроструктуру исследовали с помощью оптического микроскопа (ОМ) Olimpus GX 51, снабжённого анализатором SIAMS 700.

Результаты и обсуждения

Микроструктура.

На рисунке 1 представлен внешний вид оплавленных областей композиционных покрытий сталь 10Р6М5 (а) и сталь 10Р6М5+20% WC (б). Видно, что они имеют округлую форму, которая состоит из литого ядра и тонкой более темной оторочки по его периметру. В данной оторочке можно выделить несколько колец (от 3 до 6 в зависимости от режима обработки) отличающихся по цвету и толщине. Данные кольца можно отнести к ЗТВ. В центре литого ядра фиксируется небольшое углубление, на поверхности которого остается окисная пленка. Диаметр зоны литого ядро с ЗТВ увеличивается с ростом длительности импульса от 520 мкм при $\tau_{имп}$=2 мс до 850 мкм при $\tau_{имп}$=20 мс, таблица 1. При этом минимальный диаметр литого ядра 430 мкм, а максимальный - 660 мкм.

Для композиционного покрытия сталь 10Р6М5+20% WC (б) наблюдаются трещины, проходящие как по литому ядру, так и по ЗТВ, не получающие своего дальнейшего развития в объеме основного металла покрытия. Формирование трещин в композиционном покрытии можно связать как с увеличением объемной доли исходных карбидных выделений, так и с увеличением их средних размеров, особенно для эвтектического карбида, расположенного по границам зерен матрицы.

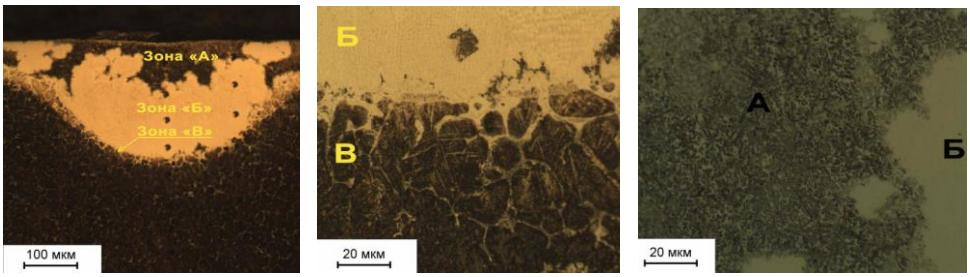


а) б)

Рис.1. Внешний вид зон оплавления наплавки 10Р6М5 (а) и 10Р6М5+20% WC (б)

На рисунке 2 представлена типичная микроструктура поперечного сечения оплавленного ядра. Анализ всех поперечных сечений показал, что минимальная глубина проплавления составляет 40 мкм при $\tau_{имп}$=2 мс, а максимальная - 350 мкм при $\tau_{имп}$=10-20 мс. Размер ЗТВ в зависимости от режима обработки изменяется в интервале 30-150 мкм.

В литом ядре по степени травимости явно выделяются две зоны (А и Б, рис. 2а, в). Зона А состоит из однородной дисперсной двухфазной структуры, которая имеет дендритно-ячеистое строение, рис. 2в. Зона Б слабо протравливается и имеет в основном дендритное строение, более мелкое чем, в зоне А. Объёмная доля зоны Б выше, чем зоны А.

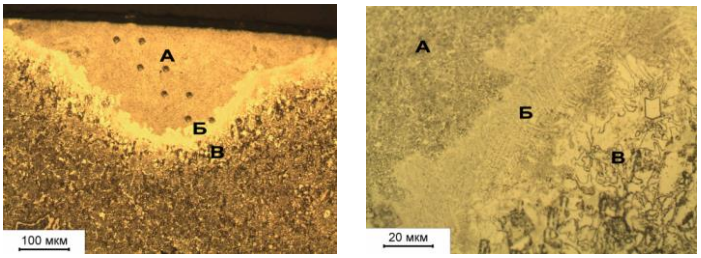


а) б) в)

Рис. 2. Микроструктура поперечного сечения литого ядра покрытий сталь 10Р6М5

Структура ЗТВ (зона В, рисунок 2б) состоит из зёрен исходной матрицы и эвтектики по границам зерен, которая частично подверглась переплаву в ходе воздействия лазерного луча (см. слабо протравленные участки границ зерен, находящиеся в непосредственном контакте с литым ядром, рисунок 2б). Это обусловлено более низкой температурой плавления эвтектики аустенит – карбид M_6C. В самих зернах матрицы ЗТВ явно фиксируются иглы мартенсита, проходящие через все аустенитное зерно, в то время как в основном покрытии мартенситные иглы ОМ не фиксируются (так называемый бесструктурный мартенсит, рис. 2б).

На рисунке 3 представлена микроструктура поперечного сечения оплавленного ядра в покрытии сталь 10Р6М5+20% WC. Видно, что зона А в данном покрытии занимает практически 80…90% объема литого ядра. Зона Б примыкает непосредственно к ЗТВ и имеет дендритное строение, рисунок 3б. Зона термического влияния имеет грубые выделения эвтектического карбида M_6C, объемная доля которых значительно выше, чем в основном материале покрытия, рисунок 3в. Это обусловлено не полным растворением более грубых исходных эвтектических карбидов M_6C и последующим их ростом в ходе кристаллизации расплавленного объема. Данная причина является основной в формировании и развитии трещин как по ЗТВ, так и по объему самого литого ядра.



а) б)

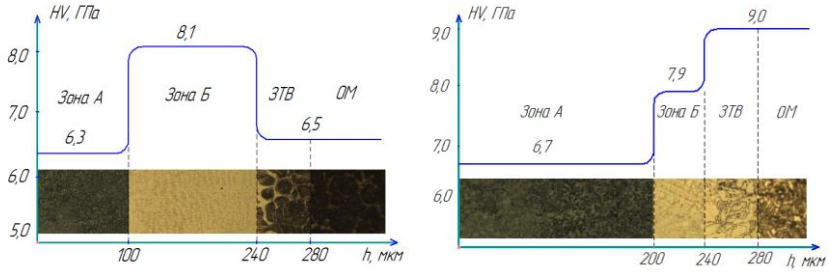
Рис. 3. Микроструктура поперечного сечения литого ядра покрытий сталь 10Р6М5+20% WC

Образующаяся в данном исследовании микроструктура согласуется с результатами публикаций [3-5]. В данных исследованиях были обнаружены тёмные и светлые зоны в литом ядре с ультрадисперсной структурой, обладающей химической однородностью. Структура светлой зоны имеет дендритно-ячеистое строение, междендритное расстояние в которой не превышает 0.5 мкм, и состоит из непрерывной сетки эвтектических карбидов, γ- и α-фаз. Тёмная зона более грубая по структуре и состоит из кристаллов γ- и α-фаз и сетки эвтектических карбидов [4, 5].

Микротвёрдость.

На рисунке 4 представлены профили микротвёрдости облучённых лазером покрытий сталь Р6М5 и сталь 10Р6М5+20% WC. После облучения покрытия сталь Р6М5, зона А имеет твёрдость близкую по значению исходному материалу и равняется 6.3 ГПа (разброс значений составил 0.35 ГПа), рис. 4а. В зоне Б значение микротвёрдости выше, чем в основном материале и равняется 8.1 ГПа (разброс значения 0.5 ГПа). В ЗТВ микротвёрдость такая же, как и в исходном покрытии.

В покрытии сталь 10Р6М5+20% WC, после облучения лазером, твёрдость в зонах А и Б ниже, чем в ОМ и составляет 6.7 и 7.9 ГПа соответственно (в ОМ HV= 9 ГПа), рис. 4б. Разброс значений микротвёрдости в этих зонах не превышает 0.3 ГПа. В ЗТВ значения микротвёрдость не существенно отличаются от значений в ОМ. В ЗТВ микротвёрдость такая же, как и в исходном покрытии.



а) б)

Рис. 4. Распределение средних значений микротвёрдости по зонам литого ядра и ЗТВ облучённых лазером ($\tau_{имп}$=15 мс) покрытий сталь Р6М5 а), сталь 10Р6М5+20% WC б)

Проведенные исследования нуждаются в более детальном анализе структуры с помощью растровой и просвечивающей электронной микроскопии, а также рентгенофазового анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 664 с.
2. Гнюсов С. Ф., Игнатов А. А., Дураков В. Г. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 5. С. 15-20.
3. Kwok C.T., Cheng F.T., Man H.C. // Surface & Coatings Technology, 202 (2007), P.336–348.
4. Benyounis K.Y., Fakron O.M., Abboud J.H. // Materials and Design, 30 (2009), P.674–678.
5. Liu Z. H., Zhang D. Q., Chua C.K., Leong K.F. // Materials Characterization, 84 (2013), P.72 – 80.

СИНТЕЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК

Квашина Т.С.
Научный руководитель: Крутский Ю.Л., к.т.н., доц.
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: k.tatiana3105@gmail.com

THE SYNTHESIS OF SILICON CARBIDE. THE ANALYSIS OF ITS PROPERTIES AND CHARACTERISTICS

Kvashina T.S.
Scientific Supervisor: Krutskiy Y.L., Ph.D, Assoc. Prof.
Novosibirsk State Technical University
630073, Russia, Novosibirsk, Prospekt K. Marksa, 20
E-mail: k.tatiana3105@gmail.com

Неметаллические тугоплавкие соединения находят широкое применение в промышленности из-за высоких значений твёрдости, огнеупорности, теплопроводности и химической инертности. Одним из наиболее важных представителей таких соединений является карбид кремния. Он существует в двух кристаллических модификациях: гексагональной (высокотемпературной) и кубической (низкотемпературной).

Среди свойств карбида кремния следует выделить высокое значение коэффициента теплопроводности (42 Вт/(м·К)), так как именно по этой величине он сопоставим с некоторыми металлами. А главным достоинством карбида кремния является его твёрдость, сопоставимая с твёрдостью алмаза (19 ГПа по Виккерсу) [1]. Из-за высокой стойкости к окислению карбид кремния используется для нагревателей электрических печей и для изготовления ультравысокотемпературной керамики [2].

До недавнего времени карбид кремния с кубической решёткой имел сравнительно небольшое коммерческое использование, однако, в настоящее время в связи с использованием его в качестве гетерогенных катализаторов интерес к нему увеличивается.

В Новосибирском государственном техническом университете на кафедре химии и химической технологии проводят реакции синтеза водорода методом селективного каталитического пиролиза газообразных углеводородов, одним из продуктов которого является нановолокнистый углерод (НВУ), обладающий рядом уникальных свойств, по сравнению с обычным углеродным материалом (сажей). В частности, он имеет высокое значение удельной поверхности (~200 $м^2/г$). Именно НВУ был использован для синтеза карбида кремния методом карботермического восстановления. Для сопоставления в аналогичных условиях в качестве углеродного материала был выбран нефтекокс, используемый в промышленности уже очень долгое время.

Для определения температуры проведения процесса был проделан термодинамический анализ. Была построена аналитическая зависимость энергии Гиббса карбида кремния от температуры, и выявлено, что образование карбида кремния начинается при температурах выше 1416^oC, поэтому,

учитывая, что реакция получения карбида кремния методом карботермического восстановления является эндотермической, была заведомо завышена температура синтеза.

Синтез карбида кремния проводился в химическом реакторе (индукционной печи тигельного типа) в среде аргона в течение 20 минут при температуре 1800^{0}C.

Таблица 1

Данные по убыли массы процесса синтеза карбида кремния

Источник углерода	№ эксперимента	T, ^{0}C	Убыль массы расчетная, %	Убыль массы во время эксперимента, %
Нефтекокс (1)	1	1800	58.3	62.5
	2			60.5
НВУ (2)	1			67.5
	2			69

Можно заметить, что полученные значения убыли массы незначительно превышают теоретическое значение, что объясняется потерями диоксида кремния, перешедшего в белый налёт, образовавшийся на крышке тигля в результате каждого эксперимента.

Рентгенофазовый анализ показал, что при применении НВУ был получен практический чистый однофазный продукт - карбид кремния кубической модификации. При использовании нефтекокса дифрактограммы свидетельствуют о наличии в продуктах реакции графита наряду с карбидом кремния β-модификации (рис. 1).

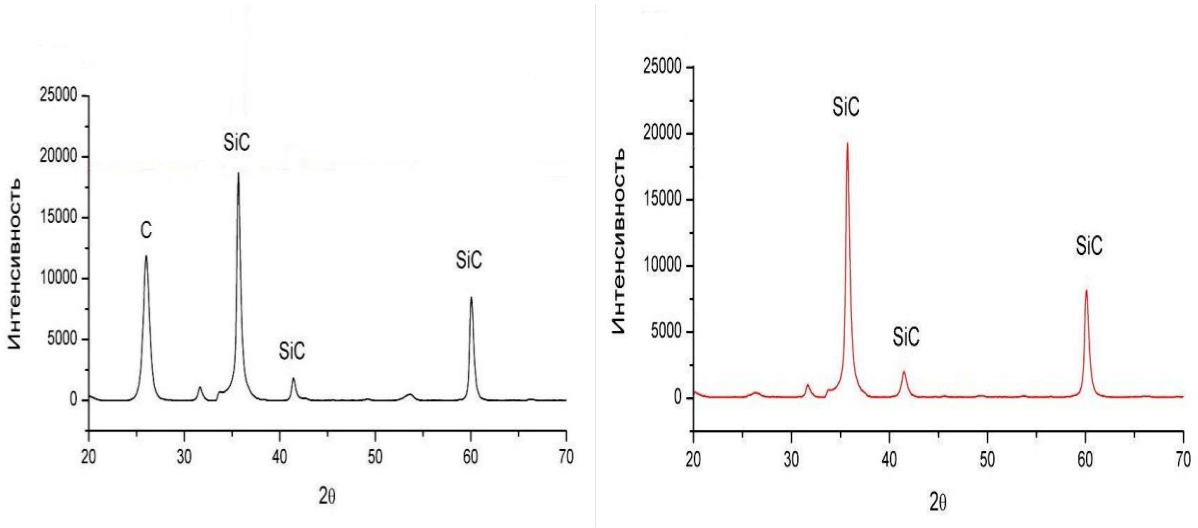


Рис. 1. Результаты рентгенофазового анализа полученных образцов карбида кремния (слева – образец, полученный с использованием нефтекокса, справа - образец, полученный с использованием НВУ)

По данным растровой электронной микроскопии установлено, что частицы карбида кремния агрегированы, имеют форму, близкую к шарообразной (образец 2). Размер частиц при использовании НВУ находился на уровне 0.4-0.5 мкм, а при применении нефтекокса 5-7 мкм (рис. 2).

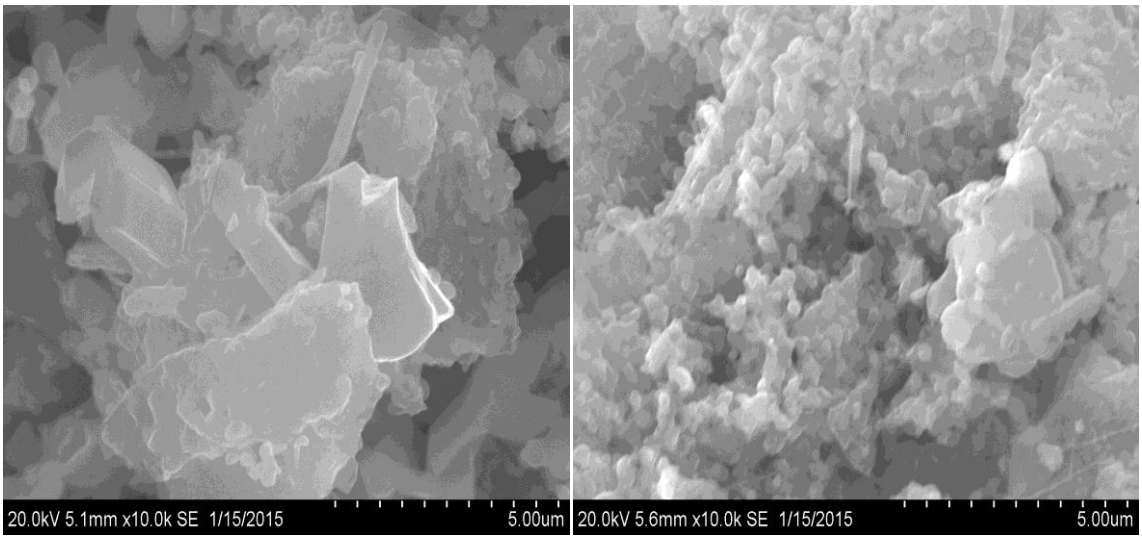


Рис. 2. Результаты растровой электронной микроскопии (слева – образец, полученный с использованием нефтекокса, справа - образец, полученный с использованием НВУ)

По результатам термического анализа карбида кремния мы обнаружили, что карбид кремния, полученный с использованием нефтекокса, содержит в себе 30% примесей, а карбид кремния из НВУ – 7% примесей углерода. Также из дериватограммы видно, что карбид кремния из НВУ начинает окисляться раньше (при температуре 561°С), чем карбид кремния, полученный с использованием нефтекокса (636 °С).

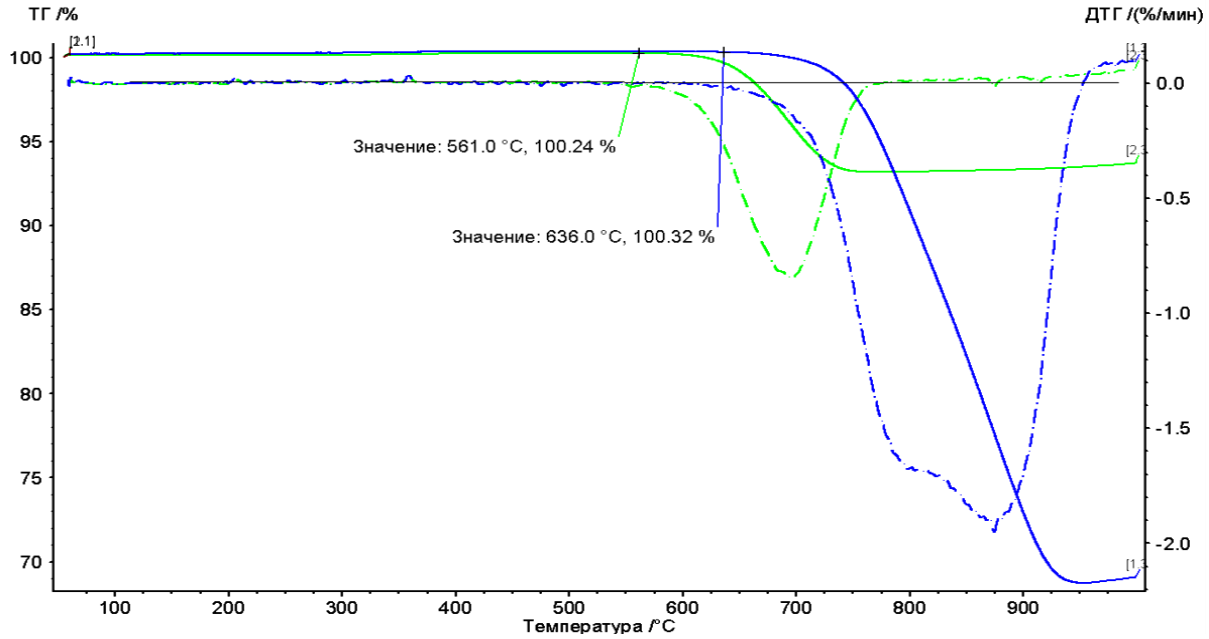


Рис. 3. Результаты термического анализа карбида кремния (синие кривые – образец, полученный из нефтекокса, зелёные кривые - образец, полученный с использованием НВУ): сплошная линия – термогравиметрическая кривая, пунктирная линия – кривая дифференциальная термогравиметрическая кривая)

Также были проведены исследования экономического характера, результаты которых приведены в табл. 2. Кроме того было решено проверить целесообразность проведения синтеза из элементов. Расчёты велись для процесса синтеза с использованием НВУ в качестве углеродного материала. Результаты расчетов показали, что в данном случае синтез из элементов экономически выгоднее

Таблица 2

Результаты экономического расчёта процесса синтеза карбида кремния методом карботермического восстановления и синтеза из элементов.

Статьи расходов	Метод карботермического восстановления	Синтез из элемен-тов
Масса карбида кремния, получаемого за 1 месяц, кг ф	2.917	6.494
Сырье и материалы, руб	6691.49	30116.06
Электроэнергия, руб	1609.30	1609.30
Себестоимость 1 кг карбида кремния, руб	8366.40	7365.16
Цена 1 кг карбида кремния с НДС (20 %), руб	11043.65	9721.99

В карботермическом процессе целесообразно изменять состав шихты, т.е увеличивать содержание диоксида кремния или уменьшать – углерода для снижения содержания примесей свободного углерода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Косолапова Т.Я., Андреева Т.В., Бартницкая Т.С. и др. Неметаллические тугоплавкие соединения. - М.: Металлургия, 1984. 280 с.

2. Григорьев, О.Н. Керамика и керметы на основе бескислородных тугоплавких соединений / О.Н. Григорьев // Порошковая металлургия. 2012. – №11/12. – С. – 100-116.

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЙСВИНЦОВИСТОЙ БРОНЗЫ, ЛЕГИРОВАННОЙ НИКИЛЕМ

Клочков Н.С.
Научный руководитель: Егоров Ю.П., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: nikart2012@gmail.com

METALLOGRAPHIC ANALYSIS OF THE DESTRUCTION LEAD BRONZE, ALLOYED WITH NICKEL

Klochkov N.S.
Scientific Supervisor: PhD in technical science, docent Egorov Yu.P.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: nikart2012@gmail.com

Введение

Одним из прямых и точных методов исследования строения и свойств изучаемого материала является металлографический анализ. С помощь металлографического анализа устанавливается: характер структуры, величина зерна, наличие структурных составляющих, которые могут повлиять на свойства металла, наличие повреждений, определяются зоны зарождения трещин и их характер. Металлографический анализ включает в себя макроскопический и микроскопический анализы [1].

Макроскопический анализ заключается в определении строения металла путем просмотра его излома или специально подготовленной поверхности и проводится невооруженным глазом или при увеличении до 50 крат. Микроскопический анализ проводится при помощи металлографического микроскопа с увеличением до 2000 раз и позволяет определить качественные и количественные характеристики микроструктуры [2].

Цель работы

В настоящей работе, используя металлографический анализ, исследовали разрушение образцов свинцовистой бронзы, легированной никелем с целью определения источника и характера зарождения трещин и связи их со структурой.

Методика эксперимента

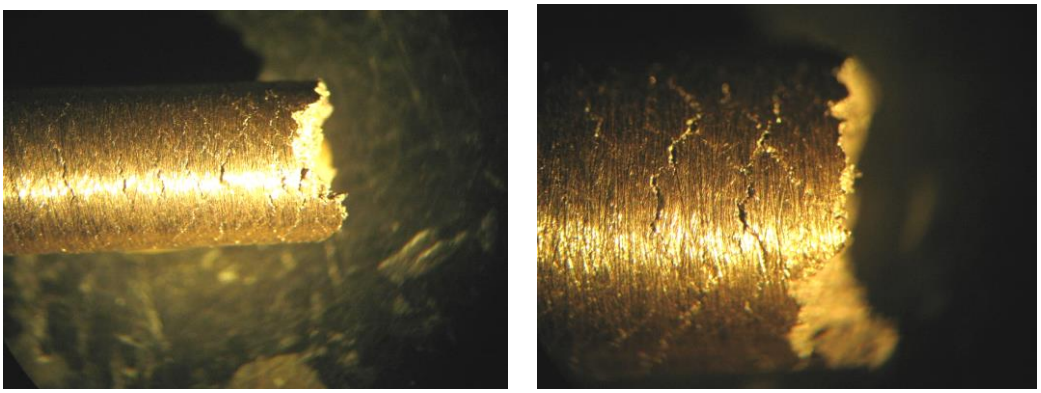
Образцы для исследований готовили плавкой из чистых шихтовых материалов. Плавку вели на высокочастотной терристорной установке в тигле из силицированного графита. Заливку сплава проводили во вращающиеся металлические формы, применяя центробежный способ литья с горизонтальной осью вращения на установке, разработанной сотрудниками кафедры МТМ ИФВТ. Температура разливки сплава в форму для литья составляла 130-150°С выше температуры плавления сплава. Температуру контролировали оптическим пирометром THERMOPOINT 90 фирмы AGEMA. Испытание на растяжение круглых образцов диаметром 6 мм проводилось в соответствии с ГОСТ 1497-84 на испытательной машине МИРИ-100К с компьютерным управлением. Для испытания было подготовлено по 3 образца для каждого состава 5-ти % свинцовистой бронзы с разным количеством никеля (см. Таблицу 1).

Макроанализ образцов проводился при помощи микроскопа МБС – 10. Анализ микроструктуры

выполняли с помощью исследовательского оптического микроскопа AxioObserver A1.m фирмы Carl Zeiss (Германия) и программного продукта AxioVision v.4. Для исследования микроструктуры готовились металлографические шлифы с помощью шлифовальных шкурок с различным размером зерна абразива. Окончательную полировку проводили на сукне с применением водного раствора окиси хрома. Структуру сплавов выявляли травлением концентрированной соляной кислотой.

Результаты исследования

На рис. 1 с различным увеличением представлена макроструктура образцов после испытания на растяжение.

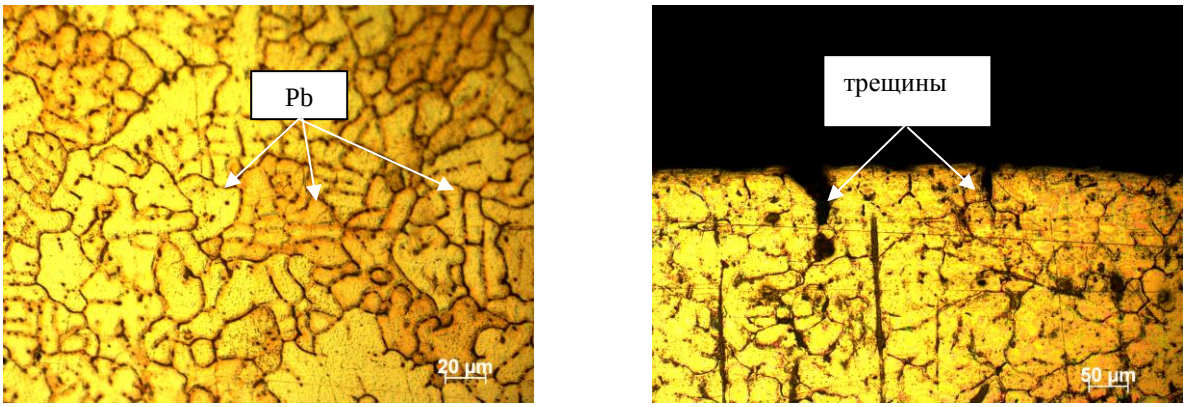


(а) *(б)*

Рис. 1 Образец после испытания на растяжение свинцовистой бронзы, легированный 5% Ni, а) макроструктура при увеличении в 5 раз; б) макроструктура при увеличении в 10 раз

Макроанализом установлено, что по поверхности ясно просматриваются трещины в местах локализации деформации, которые образовались при растяжении. Граница разрыва образца проходит по трещинам. С увеличением содержания Ni до 5% распределение трещин наблюдается по всей поверхности образца. У образцов с меньшим содержанием Ni и без содержания Ni места локализации дефектов и зарождения трещин расположены не на всей поверхности образца, а только у мест разрушения. Разрушение образцов хрупкое.

Для выявления мест локализации дефектов в структуре сплавов был проведен микроанализ. Микроструктура исследуемых образцов представлена на рис. 2 (а, б). Структура свинцовистой бронзы представляет собой в основе дендриты твердого раствора Ni в меди, между которыми расположены включения свинца.



(а) *(б)*

Рис. 2 Микроструктура образцов свинцовистой бронзы с содержанием Ni 5%,

На рис. 2б приведена структура образца с 5% Ni в продольном сечении образца на растяжение. Как видно на снимке микроструктуры образца (рис.2, б), начало зарождения трещин располагается вдоль границ зерен (по свинцовым включениям). Видно, что трещины располагаются на поверхности образца. Разрушение начинается с мест расположения мягких и малопрочных свинцовых включений между границами зерен.

Таблица 1

Результаты испытания на растяжение

Кол-во Ni в образцах, %	Предел пропорциональности, МПа	Предел упругости, МПа	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Модуль упругости, МПа	Относительное равномерное удлинение, %	Относительное удлинение после разрыва, %
0	71,16	74,4	86,93	144,33	11142,5	7,76	9,25
1	68,76	73,1	80,5	129,13	8865,8	5,31	5,72
2	76,43	81,26	94,66	152,2	12018,4	5,66	6,25
3	94,56	97,53	112,9	162,06	13685,4	3,92	4,58
5	87,6	91,63	104,3	150,9	12378,6	4,88	5,62

В таблице 1 приведены результаты испытаний на растяжение. Из таблицы следует, что чем больше содержание Ni, тем больше прочностные характеристики и меньше относительное удлинение.

Данная закономерность объясняется твердорастворным упрочнением сплава. В результате добавки никеля образуется твердый раствор никеля в меди, который является причиной упрочения медной основы. В результате повышается прочность сплава, но уменьшается пластичность [4].

В результате исследования можно сделать следующие выводы: свинцовые включения в составе бронзы располагаются между зернами меди и являются причинами возникновения дефектов. Включения свинца являются концентраторами зарождения трещин. Легирование Ni способствует увеличению прочности, уменьшению пластических характеристик свинцовистой бронзы за счет образования твердого раствора Cu-Ni.

В результате проведенной работы можно сделать заключение об эффективности металлографического анализа для определения взаимосвязи структуры и свойств изучаемого материала.

Список литературы

1. Егоров Ю.П. Методы исследования металлов. Металлографический анализ/ Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Материаловедение» для студентов машиностроительных специальностей. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 14с.

2. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. – 3-е изд.,/ Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г., Металлургия, 1983. 352 с.

3. Славин Д.О. «Металлы и сплавы в химическом машиностроении и аппаратостроении»

4. Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф., Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ МЕТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ПАСТЫ ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ФАРФОРА

Колесова Т.В.

Научные руководители: Погребенков В.М., д.т.н., профессор; Дитц А.А., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: kolesovatv@sibmail.com

THE SELECTION OF METALLIZATION PASTE COMPONENTS FOR THE METALLIZATION OF PORCELAIN

Kolesova T.V.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Pogrebenkov V.M.

National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Ave., 30, 634050

E-mail: kolesovatv@sibmail.com

На сегодняшний день, среди многочисленных типов ускорителей заряженных частиц особое место занимают бетатроны, получившие широкое распространение в медицине, при создании досмотровых комплексов, для контроля прочности сварки, литья и т.д. Одним из основных узлов бетатрона является вакуумная камера, выполненная в виде тора из вакуум-плотного стекла [1]. Средний срок службы такой камеры составляет от 300 до 500 часов, а ее изготовление и юстировка являются очень сложными, и дорогостоящими процессами. В настоящее время ведутся работы по разработке технологии изготовления вакуумной камеры из специального фарфора, что позволит снизить ее стоимость, увеличить срок службы и расширить ассортимент выпускаемых камер по мощности и размерам. Так как конструкция камеры предполагает ее изготовление из нескольких составных узлов, то для сборки готового изделия предлагается применять многоступенчатую технологию, предусматривающую предварительную металлизацию фарфоровых деталей с последующей пайкой низкотемпературными припоями. Для обеспечения вакуумной плотности изделия и высокой прочности спаев требуется разработать технологию и составы паст для металлизации фарфора.

В работе был использован фарфор, полученный из керамической массы Южноуральского арматурно-изоляторного завода (ОАО «ЮАИЗ»), его химический состав представлен в таблице 1. Рентгенофазовый анализ был выполнен на дифрактометре Shimadzu XRD-7000, а расшифровка проведена в программе Crystallographica с помощью базы данных ICDD PDF2 (2012г).

Таблица 1

Химический состав фарфоровой массы в оксидном выражении в массовых процентах

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	ППП	Сумма
70,51	17,53	0,79	0,29	0,46	0,24	4,14	0,33	5,71	100,00

На рентгенограмме фарфора (рисунок 1) присутствуют рефлексы фаз кварца (PDF 000-33-1161) и муллита (PDF 000-15-0776).

Одним из важных условий получения бездефектного соединения и высокой адгезии является близость коэффициентов термического расширения (КТР) фарфора – основы и металлизационной пасты. В связи с этим проводилось определение КТР фарфора на дилатометре Dil 402 PC в интервале температур от 30 до 1000°C со скоростью нагрева 2 °/мин. КТР фарфора согласно данным дилатометрии составляет $5{,}0539 \cdot 10^{-6}$ $°C^{-1}$. В качестве материала для металлизации рассматривались два материала, широко

применяемые для металлизации оксидной керамики: молибден и вольфрам. Температуры вжигания металлизационных паст на основе этих материалов находятся в интервале от 1200 до 1350 °С и зависят от размера частиц, состава стекольной композиции, применяемой для повышения адгезии металлизации к керамике [2-4]. Молибден и вольфрам имеют КТР соответственно 6,2 и $5{,}2 \cdot 10^{-6}$ $°C^{-1}$ [5], следовательно, вольфрам больше подходит в качестве основного компонента паст для металлизации фарфора.

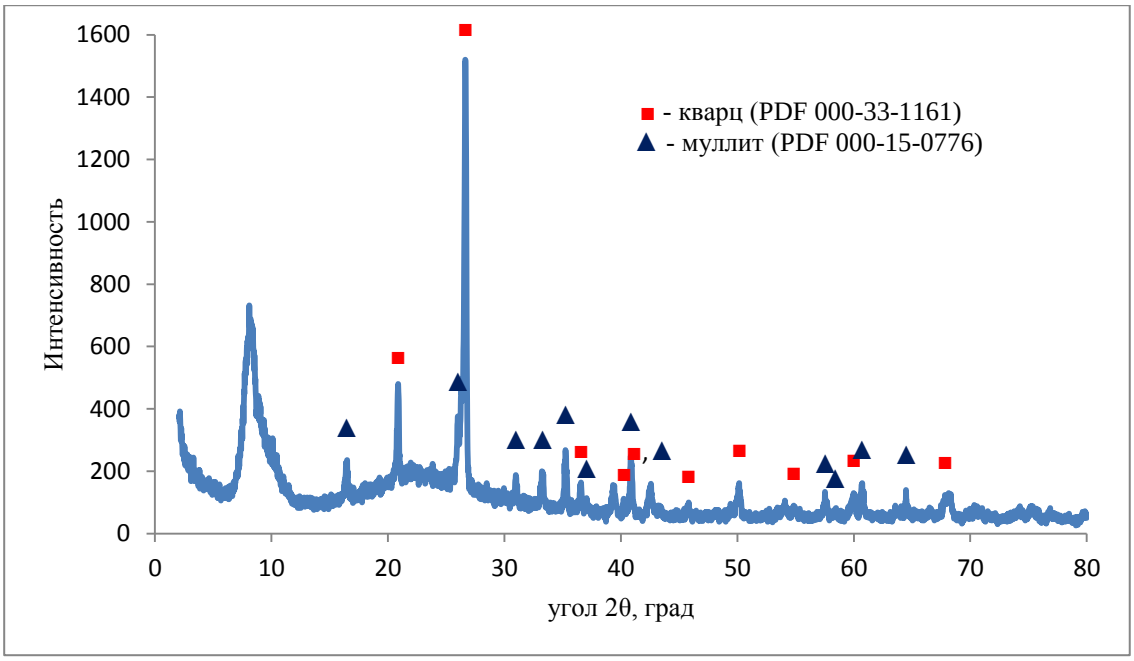


Рис. 1. Данные рентгенофазового анализа фарфора

В качестве основной составляющей металлизационной пасты был выбран порошок вольфрама, изготовленного по ТУ 48-19-417-86 с содержанием основного компонента 99,9 мас. % и средним размером частиц порядка 10 мкм по Фишеру. Согласно результатам гранулометрии, отраженным в таблице 2, порошок представлен частицами до 10 мкм. Данные электронной микроскопии, представленные на рисунке 2, подтверждают это. На микроснимках видно, что порошок сильно агломерирован, размеры агломератов составляют от 20 до 30 мкм, агломераты сложены единичными частицами размер частиц от 1 до 10 мкм.

Для снижения температур вжигания порошок вольфрама измельчался в планетарной мельнице в стальных барабанах мелющими телами из ВК3 в среде органического растворителя. В литературе приводятся результаты процесса помола и диспергации порошков вольфрама в шаровых мельницах, в среде растворителей, обычно ацетона или этилового спирта [6]. Эффективность помола зависит от соотношения твердое:шары:растворитель (тв:ш:р), свойств растворителя, временно-скоростных режимов помола. В работе были выбраны два соотношения тв:ш:р - 1:3:1 и 1:6:1. При дальнейшем увеличении количества мелющих тел значительно снижается эффективность измельчения порошка вольфрама. Результативность помола оценивалась по изменению размера частиц, определяемого методом лазерной дифракции (таблица 2).

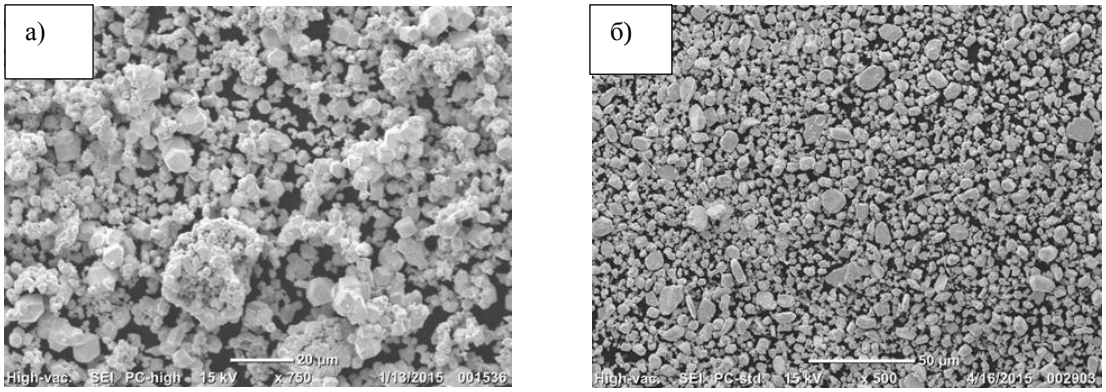


Рис. 2. Микрофотографии порошка вольфрама а) исходный; б) после помола 15 мин

Для обоих соотношений (тв:ш:р) в качестве среды применялся спирт. Согласно полученным данным уже через 15 минут значительно уменьшилось количество агломератов. С дальнейшим увеличением времени помола происходит уменьшение размеров частиц вольфрама. Интенсивнее изменяется размер при соотношении (тв:ш:р) 1:3:1 чем для соотношения 1:6:1, скорее всего это связано с увеличением количества ударов шаров между собой без участия порошка.

Таблица 2

Влияние соотношения тв:ш:р и времени помола на размер частиц вольфрама (d_{50})

Соотношение тв:ш:р	Время помола, мин				
	0	15	30	45	60
1:3:1	6,9	5,7	5,7	4,5	4,9
1:6:1	6,9	7,6	9,2	9,0	9,7

В работе проведено обследование фарфора, полученного из керамической массы Южноуральского арматурно-изоляторного завода (ОАО «ЮАИЗ»), определен химический состав, фазовый состав, КТР. На основе полученных данных, и анализа литературы сделан выбор материала для металлизации. Подобран режим помола порошка вольфрама для снижения температуры вжигания.

Список литературы:

1. Бетатроны: монография / В.А. Москалев, В.Л. Чахлов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 267 с.

2. Пат. 514797 СССР. М. Кл. С 04 В 41/14. Паста для металлизации керамики / Ю.В. Васильев, Л.В. Козловский. Заявлено 08.07.74; Опубл. 25.05.76, Бюл. № 19

3. Пат. 1498743 СССР. С 04 В 41/88. Состав для металлизации муллитокорундовой керамики / Е.О. Смирнова, Н.Г. Березкина, Ф.Я. Харитонов и А.Г.Ведерак. Заявлено 25.12.87; Опубл. 07.08.89, Бюл. № 29

4. Пат. 1789520 СССР. С 04 В 41/88. Состав для металлизации керамики / В.Ю. Зелинский, М.С. Жуков и О.Ю. Жукова. Заявлено 19.03.91; Опубл. 23.01.93, Бюл. № 3

5. Вольфрам и молибден: пер. с чеш. / К. Агте, И. Вацек ; под ред. А. А. Котляра. - Москва; Ленинград: Энергия, 1964. - 455 с.

6. Григорьев О. Н. Влияние шарового размола на структурные характеристики порошка вольфрама // Электронная микроскопия и прочность материалов. Сер. : Физическое материаловедение, структура и свойства материалов. - 2013. - № 19. - С. 114-122.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТЕКЛОФАЗЫ НА ТЕМПЕРАТУРУ ВЖИГАНИЯ МЕТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ПАСТЫ ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ФАРФОРА

Колесова Т.В.

Научные руководители: Погребенков В.М., профессор, д.т.н.; Дитц А.А., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: kolesovatv@sibmail.com

THE IMPACT OF GLASS COMPOSITION ON THE BRAZING TEMPERATURE OF METALLIZATION PASTE FOR THE METALLIZATION OF PORCELAIN

Kolesova T.V.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Pogrebenkov V.M.

National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Ave., 30, 634050

E-mail: kolesovatv@sibmail.com

Одним из основных узлов бетатрона является вакуумная камера, в которой происходит ускорение заряженных частиц. В современных устройствах она выполнена в виде тора из вакуум-плотного стекла. Средний срок службы такой камеры составляет от 300 до 500 часов, а ее изготовление и юстировка является очень сложным, дорогостоящим процессом. Перспективным материалов для замены стекла является фарфор. Его применение позволит снизить долю ручного труда при изготовлении и увеличить размеры, а значит и мощность таких устройств. Сложная конструкция камеры предполагает ее изготовление из нескольких составных узлов: тор – основа, катодный узел, откачной узел [1].

Для обеспечения сборки этих узлов в изделие, и обеспечения вакуумной плотности спаев есть два пути: применение для организации спая легкоплавких стекол и применение пайки низкотемпературными припоями. Применение легкоплавких стекол требует нагрева всего изделия до температуры плавления стекла, что может негативно сказаться на работе всего устройства. Второй способ позволяет проводить вакуумную пайку индукционным нагревом только в месте спая, не подвергая нагреву все изделие. Для организации вакуумно-плотного спая требуется металлизировать поверхность фарфора.

К материалу металлизации предъявляются определенные требования: близость коэффициентов термического расширения (КТР) материала металлизации и фарфора; температура вжигания металлизации должна быть не выше 1200 °С, так как повышение температуры ведет к вспучиванию фарфора; обеспечение вакуумной плотности спая. Анализ литературных данных показал, что при металлизации материалов под пайку широко применяют Mo-Mn, Mo, W пасты, и припои на основе ПОС, ПСр и т.д. Температуры вжигания изменяться в интервале от 1200 до 1650°С для вольфрамовых паст, от 1340 до 1650°С для молибден-марганцевых и молибденовых паст [2,3]. Основная часть составов для металлизации применяется для материалов от ВК–87 до ВК–100, имеет высокие температуры вжигания, и не подходит для металлизации фарфора. Целью данной работы является изучение влияния состава стеклофазы на температуру вжигания металлизационной пасты.

В работе был использован фарфор, произведенный из керамической массы Южноуральского арматурно-изоляторного завода (ОАО «ЮАИЗ»). КТР фарфора определяли со скоростью нагрева 2 °/мин на дилатометре Dil 402 PC при температурах от 30 до 1000°С. КТР фарфора, согласно данным дилато-

метрии, составляет $5{,}0539 \cdot 10^{-6}$ °С-1. В качестве материала для металлизации рассматривали металлические порошки молибдена и вольфрама.

Металлические порошки – обеспечивают покрытие фарфора слоем металла заданной толщины, и обеспечивают возможность дальнейшей пайки. Стеклофаза обеспечивает адгезию металлических порошков к основе, и заполняет поры между ними, обеспечивая вакуумную плотность. Стеклофаза должна обеспечить появление расплава при температуре до 1200°С, который должен обладать высокой подвижностью для проникновения в пористый слой металлизации, обеспечивая таким образом его прикрепление к фарфору. Стеклофаза должна иметь КТР близкий к КТР фарфора и металла для исключения появления внутренних напряжений, приводящих к появления трещин и разрушению спая, а значит потери вакуумной плотности.

В работе проведены расчеты для двух предложенных составов стеклофазы таблица 1, за основу был взят состав стекла С-52-1 (состав 1) и состав стеклофазы фарфора (состав 2). Для учета влияния MnO_2, который получается окислением входящего в состав пасты металлического Mn при термообработке на свойства стекол, дополнительно провели расчет свойств базовых составов с его различным содержанием.

Таблица 1.

Содержание компонентов стеклофазы

Состав	Содержание компонентов, мас.%									
	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	CaO	B_2O_3	MgO	Fe_2O_3	MnO_2
Состав 1	68,54	3,51	4,11	4,21	–	–	19,54	–	0,09	–
	65,38	3,32	3,90	3,99	–	–	18,57	–	0,09	4,75
	62,33	3,18	3,73	3,82	–	–	17,77	–	0,08	9,09
	59,61	3,04	3,57	3,65	–	–	17,00	–	0,08	13,05
Состав 2	69,77	16,36	0,73	9,18	0,65	1,03	–	0,52	1,76	–
	66,44	15,58	0,70	8,74	0,62	0,98	–	0,50	1,68	4,76
	63,43	14,87	0,66	8,35	0,59	0,94	–	0,47	1,60	9,09
	60,67	14,23	0,63	7,98	0,57	0,9	–	0,45	1,53	13,04

Для предложенных составов рассчитывали зависимость вязкости от температуры, результаты расчетов представлены на рисунке 1. Расчеты свойств предложенных составов выполнены в специальной программе SciGlass.

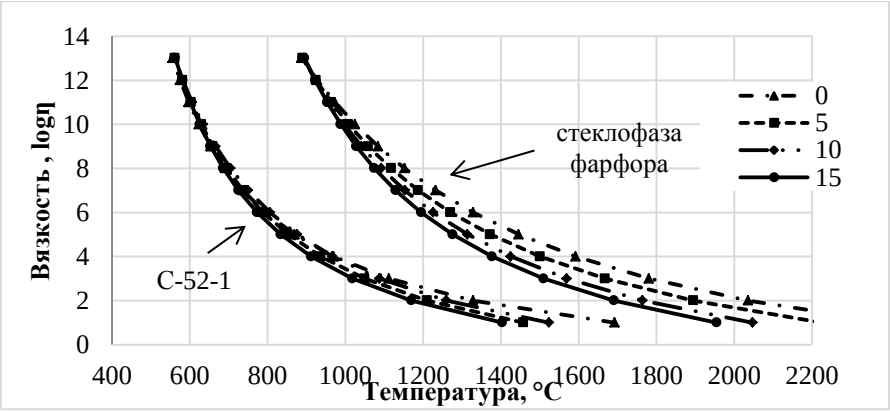


Рисунок 1. Данные расчета зависимости вязкости стекла от температуры и состава

Согласно полученным расчетам стекло марки С-52-1 для всех составов при температуре вжигания 1200°С имеет более низкую вязкость, а значит расплав стекла будет более подвижный. С увеличением содержания MnO_2 происходит уменьшение вязкости. Аналогичные зависимости наблюдаются и для стекла, состав которого отвечает составу стеклофазы в фарфоре. Для проверки расчетов было определено изменения угла смачивания фарфора стеклом состава С-52-1 и С-52-1 с добавкой 15 мас.% MnO_2 в зависимости от температуры рисунок 2. Для определения состава была собрана установка, описанная в практикуме [4].

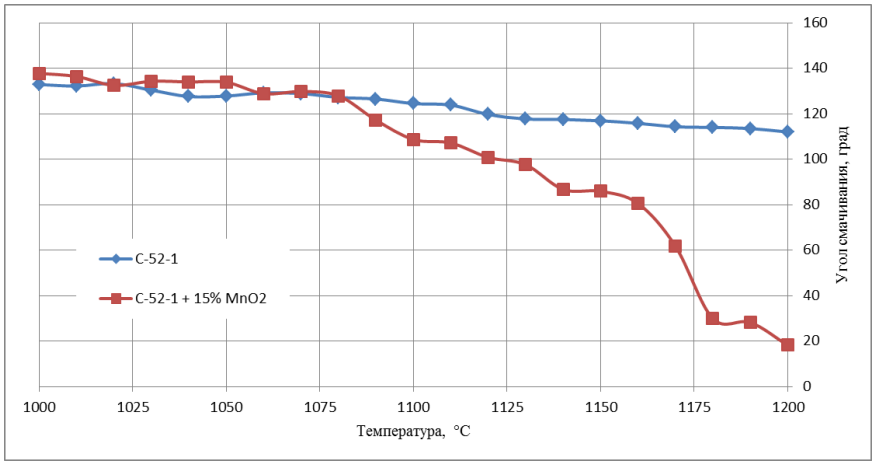


Рисунок 2. Изменение угла смачивания фарфора стеклом состава С-52-1 и С-52-1+15% MnO_2

Стекло марки С-52-1 с добавкой 15 мас.% MnO_2 дает лучшую растекаемость по поверхности фарфора. Угол смачивания поверхности шлифованного фарфорового образца стеклом данного состава при температуре 1200°С составляет 20 град.

Таким образом, стекло С-52-1 уменьшает свою вязкость и улучшает растекаемость пропорционально количеству растворенного MnO_2, что приводит к более полному смачиванию поверхности фарфора и металлических компонентов пасты стеклом, заполнению пор между ними.

По результатам работы можно сделать вывод о потенциальной возможности введения стекла марки С-52-1 в состав металлизационных паст для металлизации фарфора с целью повышения адгезии металлических порошков к поверхности фарфора при предполагаемой температуре вжигания 1200 °С.

Работа выполнена в рамках реализации программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского политехнического университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров: «Материалы для экстремальных условий» Номер: ВИУ_ИФВТ_85_2014.

Список литературы:

1. Бетатроны: монография / В.А. Москалев, В.Л. Чахлов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 267 с.

2. Пат. 514797 СССР. М. Кл. С 04 В 41/14. Паста для металлизации керамики / Ю.В. Васильев, Л.В. Козловский. Заявлено 08.07.74; Опубл. 25.05.76, Бюл. № 19

3. Пат. 1498743 СССР. С 04 В 41/88. Состав для металлизации муллитокорундовой керамики / Е.О. Смирнова, Н.Г. Березкина, Ф.Я. Харитонов и А.Г.Ведерак. Заявлено 25.12.87; Опубл. 07.08.89, Бюл. № 29

4. Практикум по технологии керамики: Учебное пособие вузов / под ред. проф. И.Я. Гузмана. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2005. – 336 с., ил.

ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИКИ ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ ИЗ ГРАНУЛЯТА НА ОРГАНИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

Косолапов А.А.

Научный руководитель: Дитц А.А., доцент кафедры ТСН ИФВТ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ditts@tpu.ru

OBTAINING OF THE NITRIDE ALUMINUM-BASED CERAMIC BY PRESSING GRANULES

Kosolapov A.A.

Scientific Supervisor: Candidate of Technical Sciences A.A. Ditts

National research Tomsk polytechnic university Russia, Tomsk, Lenin Ave., 30

E-mail: ditts@tpu.ru

В работе представлены результаты исследования по получению высокотеплопроводной керамики из коммерческих порошков нитрида алюминия и оксида иттрия методом одноосного прессования из гранулята. Предложена принципиальная схема приготовления гранулята и определены технологические свойства. Влияние режимов прессования на свойства прессовок.

Введение

Объем мирового рынка керамики в 2013 году составил – 46 млрд. $. Объем российского рынка керамики в 2013 году составил – 0,5 млрд. $. Среднегодовые темпы роста мирового рынка функциональной керамики, составляют 38% в год, темпы роста российского рынка – порядка 20 % в год. Одним из востребованных сегментов рынка в соответствии с мировыми тенденциями развития является электроника и электротехника (керамические элементы для электронной промышленности, в том числе для теплонагруженных элементов полупроводниковых приборов, мощных светодиодов; изоляторы различного применения для электротехники и энергетики). Рост применения керамических материалов обусловлен преимуществом в свойствах современной керамики по сравнению с традиционными материалами. Около 80% совокупного потребления изделий из технической керамики в России приходится на импорт [1].

Одним из перспективных направлений является производство высокотеплопроводных материалов и изделий на основе нитрида алюминия. Нитрид алюминия обладает рядом уникальных свойств по сравнению с другими материалами, применяемыми в микроэлектронике.

Цель данной работы: разработка технологии получения гранулята из порошка нитрида алюминия и определение условий его прессования.

Эксперимент

В работе были использованы промышленные порошки нитрида алюминия производства фирмы H.C. Starck grade B, порошок оксида иттрия производства фирмы H.C. Starck grade C.

По данным рентгенофазового анализа, выполненном на дифрактометре Shimadzu XRD-7000, порошок нитрида алюминия представлен единственной фазой (000-25-1133). На рентгенограмме порошка оксида иттрия присутствуют только рефлексы оксида иттрия (000-41-1105).

Результаты лазерной гранулометрии исходных порошков нитрида алюминия и оксида иттрия, полученных на лазерном дифракционном анализаторе размеров частиц SALD 7101, представлены в (табл. 1).

Таблица 1

Данные гранулометрии исходных порошков

Исходный порошок	Размер частиц, мкм		
	D_{10}	D_{50}	D_{90}
AlN	0,200	1,200	5,100
Y_2O_3	0,641	1,455	2,926

Согласно данным микроскопии порошок нитрида алюминия представлен крупными объемными частицами обломочной формы с размерами частиц от 2 до 5 мкм.

Для исходных порошков, приготовленных смесей, и гранулята определяли основные свойства, согласно методикам [2]. Исходные порошки и их смесь имели неудовлетворительные технологические свойства таблица 2, низкую насыпную плотность, сыпучесть исходных порошков измерить не удалось. Для улучшения проводили гранулирование смеси порошков методом «протира пластифицированной массы», схема приготовления гранулята представлена на рис. 3. В таблице 2 представлены данные по свойствам гранулята.

Таблица 2

Технологические свойства исходных материалов и гранулята

Свойство	Материал				
	Порошок		Смесь порошков	Гранулят	
	AlN	Y2O3		Гр-1	Гр-2
Насыпная плотность, г/см^3	0,63	0,23	0,43	0,86	0,85
Сыпучесть, г/с	0	0	0	10,9	12,1

Согласно предложенной схеме, порошки нитрида алюминия и оксида иттрия смешивались, в шаровой мельнице в течение 24 часов. Полученная смесь порошков сушилась в вакуумном сушильном шкафу. К приготовленной смеси порошков добавляли раствор связки. В качестве связки применяли раствор парафина в бензине. Пластифицированную массу протирали через сито, размер сита задавал размер и форму гранулята. На рисунке 4 представлены микрофотографии гранулята. Из гранулята прессовали образцы при разном давлении (70, 140, 170 МПа) в виде дисков диаметром 30 мм и высотой до 5 мм. Спрессованные образцы спекали в высокотемпературной графитовой печи в среде азота при температуре спекания 1780°С. Режимы спекания представлены в работе [3].

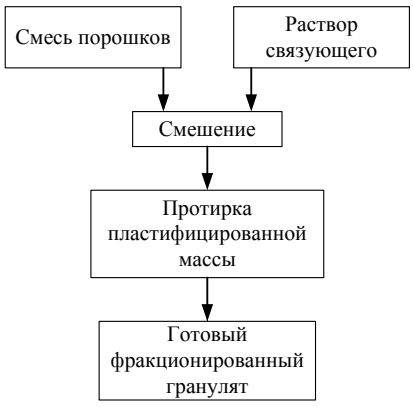


Рис. 3. Технологическая схема изготовления гранулята



Рис. 4. Микрофотографии полученного гранулята

Результаты

Гранулирование позволяет улучшить технологические свойствами смеси порошков (табл. 2), повысить насыпную плотность в 2 раза по сравнению со смесью порошков, сыпучесть до 10-12г/с Все приготов-

ленные грануляты имели близкий гранулометрический состав и форму гранул, определяемые методом получения гранулятов. Влияние изменяемых факторов оценивали по свойствам прессовок, полученных одноосным прессованием в металлических пресс-формах, по относительной плотности прессовок. Кажущуюся плотность прессовок определяли геометрическим обмером и взвешиванием для каждой точки усредняли данные по 5 образцам.

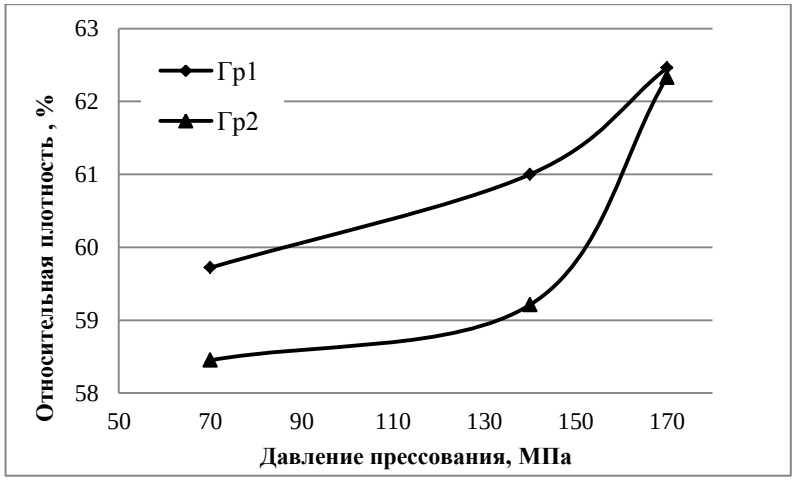


Рис. 5. Зависимость относительной плотности прессовок от давления прессования

Выводы

В работе предложена принципиальная схема получения гранулята из нитрида алюминия и оксида иттрия методом «протира» пластифицированной массы. Гранулирование улучшает технологические свойства (насыпная плотность, сыпучесть) и повышает качество прессовок. На относительную плотность прессовок влияет давление прессования и состав временного органического связующего. Наибольшую относительную плотность прессовок 62,4 % получили при давлении прессования 170 МПа, при дальнейшем увеличении давления наблюдали эффект перепрессовки. При добавлении в состав временной связки воска относительная плотность прессовок при низких давлениях прессования ниже на 3 %. По нашему мнению это связано с более высокой прочностью связки.

Работа выполнена в рамках реализации программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского политехнического университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров: «Материалы для экстремальных условий» Номер: ВИУ_ИФВТ_85_2014.

Список литературы

1. Отчет компании Dedalus Consulting «Ceramics and Superabrasives Dominate the Global Market From 2008 to 2013» .
2. И.Я. Гузмана. – М.: Практикум по технологии керамики: Учебное пособие вузов / под ред. проф. ООО РИФ «Стройматериалы», 2005. – 336 с., ил.
3. Дитц А.А., Митина Н.А., Земницкая А.Ю., Пестрецова Н.Е., Ларина К.В.: Получение высокотеплопроводных материалов из нитрида алюминия , Известия ВУЗ Физика.
4. Попильский Р.Я., Пивинский Ю.Е.: Прессование порошковых керамических масс. Металлургия, 1983, 176 с.

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГОВ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 06МБФ ПОСЛЕ КРУЧЕНИЯ НА НАКОВАЛЬНЯХ БРИДЖМЕНА

Кошовкина В.С. [1], Мельников Е.В. [2], Москвина В.А. [1]

Научные руководители: Астафурова Е.Г. [2], д.ф.-м.н., доцент, Майер Г.Г. [2], к.ф.-м.н.

[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

[2] ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

E-mail: koshovkina_vs@mail.ru

THE INFLUENCE OF ANNEALINGS ON STRUCTURE AND MICROHARDNESS OF FE-MO-V-NB-C STEEL PROCESSED BY HIGH-PRESSURE TORSION

V.S. Koshovkina[1], E.V. Melnikov[2], V.A. Moskvina[1]

Scientific Supervisors: assistant professor, Dr. E.G. Astafurova[2], PhD G.G. Maier[2]

[1]Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

[2]Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia, Tomsk, pr.Akademicheskii,2/4,634055

E-mail: koshovkina_vs@mail.ru

The influence of high-pressure torsion on microstructure, microhardness and thermal stability of low-carbon steel Fe-0,1Mo-0,6Mn-0,8Cr-0,2Ni-0,3Si-0,2Cu-0,1V-0,06Nb-0,09C, (wt.%) was investigated. It was shown that ultrafine-grained structure formed by high-pressure torsion possesses a high microhardness (Hμ=7,0 GPa) and high thermal stability up to the temperature of 400ºC.

Современное развитие физики твердого тела и материаловедения имеет тенденцию к конструированию материалов с заданными физико-механическими свойствами. Одним из возможных путей получения материалов со специальными свойствами – создание в них ультрамелкозернистых (УМЗ) состояний методами интенсивной пластической деформации (ИПД). Важной проблемой, стоящей на пути широкого практического использования УМЗ материалов, является проблема низкой термической стабильности их структуры. Поэтому одной из ключевых задач в исследовании УМЗ структур является поиск путей повышения их термической стабильности.

В качестве объекта исследования была выбрана низкоуглеродистая сталь 06МБФ (0,09 C, 0,32 Si, 0,63 Mn, 0,007 P, 0,004 S, 0,79 Cr, 0,20 Ni, 0,16 Cu, 0,08 Mo, 0,03 Al, 0,03 Ti, 0,03 Nb, 0,06 V, в мас. %) после нормализации при 920°C (30 мин.). Деформацию заготовок проводили под давлением 6 ГПа на наковальнях Бриджмена при комнатной температуре на 5 полных оборотов. Термическую стабильность, сформированного состояния исследовали после часовых отжигов в интервале температур 400÷700°C.

Анализ микроструктуры проводили с помощью просвечивающего электронного микроскопа Technai G2 FEI и растрового электронного микроскопа Quanta 200 3D с использованием метода анализа картин дифракции обратнорассеянных электронов (EBSD-анализ). Рентгеновские исследования выполняли на дифрактометре Shimadzu XRD-6000 с использованием Cu Kα излучения. Расчет микроискажений кристаллической решетки и размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) осуществляли методом аппроксимации. Микротвердость измеряли по методу Виккерса с использованием микротвердомера Duramin 5 при нагрузке на индентор 200 г., время нагружения 10 сек. Среднее значение микротвердости вычисляли по измерениям, проведенным на середине радиуса диска.

Исследование исходной структуры стали 06МБФ показало, что нормализация приводит к формированию ферритно-бейнитного состояния со средним размером зерна феррита 10 мкм и объемной долей бейнита около 6 %. Значения плотности дислокаций составило ~10^9 $см^{-2}$.

В результате кручения в наковальнях Бриджмена происходит интенсивное диспергирование структурных составляющих и формирование ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры (рис.1 а, б).

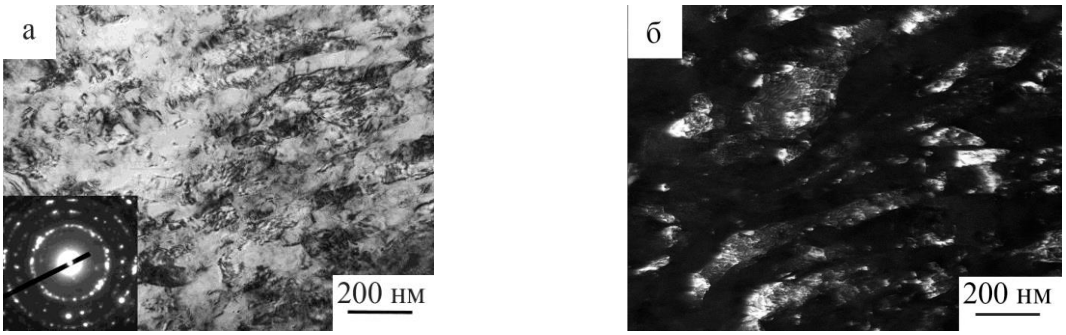


Рис.1. Электронно-микроскопические изображения структуры стали 06МБФ после КГД: а − светлопольное изображение и микродифракционная картина; б − темнопольное изображение к (а), полученное в рефлексе α-Fe (микродифракционная картина снята с участка фольги площадью S=0,95 мкм^2)

Характер распределения рефлексов по кольцу на микродифракционной картине свидетельствует о присутствии высокоугловых разориентировок между структурными элементами, а азимутальные размытия − о наличии малоугловых разориентировок и высоком уровне внутренних напряжений в зернах и субзернах после КГД (рис. 1 а, вклейка). После КГД на микродифракционных картинах также наблюдали сплошные диффузные кольца, свидетельствующие о наличии мелкоразмерных частиц в структуре. Анализ темнопольных изображений (рис. 1 б) показывает, что средний размер элементов зеренно-субзеренной структуры, сформированной методом КГД, составляет 91±57 нм.

Изучение влияния отжигов на сформированную при КГД ультрамелкозернистую структуру, стали 06МБФ показало, что отжиг при 400°С не приводит к значительному росту элементов структуры, попрежнему, наблюдаются диффузные кольца, указывающие на присутствие мелкоразмерных карбидов (рис. 2 а, б). Средний размер (суб)зерна, определенный по темнопольным электронно-микроскопическим изображениям, составляет 85±52 нм. После отжига при 500°С средний размер элементов зеренно-субзеренной структуры возрастает до 152±81 нм (рис. 2 в, г). А после отжигов при 600°С и 700°С структура стали трансформируется в мелкокристаллическую с размером зерна до 2,3±1,1 мкм (рис. 2 д) и 5,4±4,1 мкм соответственно.

Методом рентгеноструктурного анализа, установлено, что КГД вызывает уменьшение интенсивности и уширение рентгеновских линий. Область когерентного рассеяния (ОКР) уменьшается при КГД до 46 нм. Значения микродеформации кристаллической решетки $\Delta d/d$ при КГД исследуемой стали, напротив, увеличиваются на порядок от ~10^{-4} в исходном состоянии до ~10^{-3} после КГД, что свидетельствует о росте внутренних напряжениях в структуре после КГД. Отжиги приводят к релаксации структуры, уменьшению величины уширения рентгеновских линий, к росту ОКР (46 нм после отжига 400°С, 75 нм - при 500°С, 200 нм после отжигов при 600°С и 700°С), спаду значений микродеформации кристаллической решетки (до $0{,}5\times10^{-3}$ после отжига при 400°С, до $0{,}5\times10^{-4}$ - при 500°С, до $0{,}29\times10^{-4}$ – при 600°С и

до $0{,}2\times10^{-4}$ – при 700°С). Плотность дислокаций снизилось на порядок от ~10^{11} $см^{-2}$ после КГД до ~10^{10} $см^{-2}$ после отжигов.

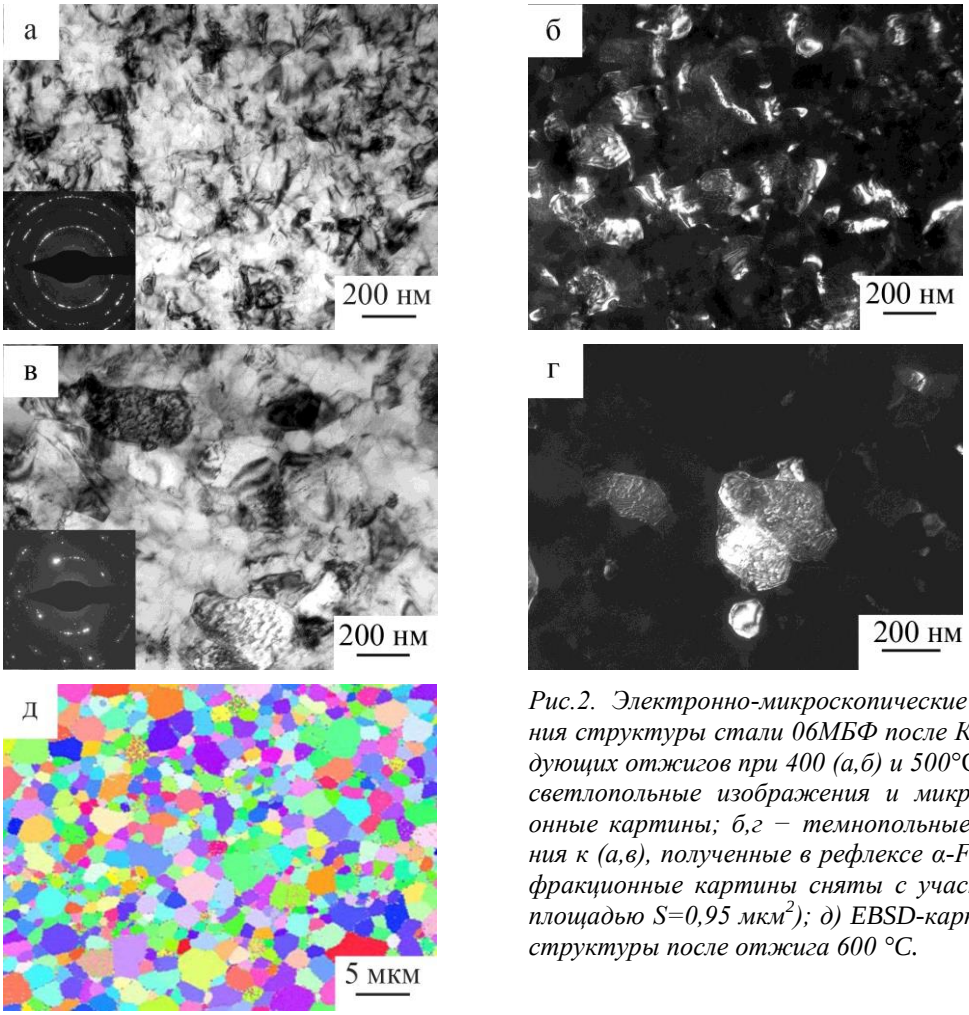


Рис.2. Электронно-микроскопические изображения структуры стали 06МБФ после КГД и последующих отжигов при 400 (а,б) и 500°С (в,г): а,в – светлопольные изображения и микродифракционные картины; б,г – темнопольные изображения к (а,в), полученные в рефлексе α-Fe (микродифракционные картины сняты с участка фольги площадью S=0,95 мкм^2); д) EBSD-карта зеренной структуры после отжига 600 °С.

Изучение эволюции значений микротвердости стали 06МБФ показало, что КГД приводит к повышению средних значений микротвердости в сравнении с исходным состоянием: от 1,6 ГПа до 7,0 ГПа. После отжига при температуре 400°С в стали происходит незначительное повышение значения микротвердости до 7,3 ГПа. Последующее увеличение температуры отжига до 500°С сопровождается спадом значений микротвердости до 5,4 ГПа и по достижении температуры 700°С значения микротвердости приближаются к значению для исходного состояния (3,3 ГПа).

Таким образом, исследование стали 06МБФ, после кручения под давлением и отжигов показало, что ультрамелкозернистый характер структуры (средний размер структурных элементов 91 нм) и высокие значения микротвердости (Нμ=7,0 ГПа) сохраняются вплоть до температуры отжига 400°С. Высокая термическая стабильность сформированной при КГД структуры в стали 06МБФ обусловлена, в первую очередь, дисперсионным твердением.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований СО РАН на 2013-2016 гг. (проект III.23.2.2.) и стипендии Президента РФ (СП-4682.2013.1).

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК TiO_2, ДОПИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

Кравцов А.А., Блинов А.В., Крандиевский С.О.
Научный руководитель: Сысоев И.А., д.т.н., доцент
ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет»
Россия, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2, 355035
E-mail: sanya-kravtsov@ya.ru

SYNTHESIS AND STUDYING OF OPTICAL PROPERTIES OF THIN FILMS OF TiO_2, DOPED WITH SILVER NANOPARTICLES

Kravtsov A.A., Blinov A.V., Krandievsky S.O.
Supervisor: Sysoev I.A., Doctor of Technical Sciences, associate professor
North-Caucasus federal university
Russia, Stavropol, Kulakova st. 2, 355035
E-mail: sanya-kravtsov@ya.ru

The synthesis of thin films of titanium dioxide was carried out with sol-gel method. A series of samples with various contents of silver was synthesized to study the effect of the concentration of silver nanoparticles in the initial solution on the optical properties of the films. The films were deposited by centrifuging on the glass plates. After the film deposition the samples were dried at room temperature and at 400 ° C. To measure the optical characteristics of the films, transmittance spectra of the samples before and after calcination were obtained. In the transmission spectra of the TiO_2-Ag films, there is an expressed absorption band at 420-430 nm related to plasmon resonance of silver nanoparticles.

В последние годы объектами пристального внимания исследователей являются сенсорные, адсорбционные, оптические, электрические и каталитические свойства TiO_2 [1]. Наноразмерный диоксид титана, являясь широкозонным полупроводником, имеет высокий потенциал применения в электронике и в электрооптике за счет прозрачности в видимой области спектра и высокого коэффициента преломления [2]. Основным недостатком TiO_2 для оптики и фотокатализа является его активность под действием только ближнего УФ света, который составляет лишь 5-8% от всего солнечного спектра, достигающего поверхности Земли. Одним из способов повышения эффективности фотокаталитических и оптических свойств TiO_2 является создание гетерофазных структур на его основе, в частности фотосенсибилизация наночастицами серебра [3].

Для синтеза тонких пленок диоксида титана был использован золь-гель метод. В качестве прекурсора использовали тетраизопропилат титана. Исходный раствор для создания пленок готовили путем разбавления тетраизопропилата титана в изопропиловом спирте. Концентрация тетраизопропилата титана составляла порядка 0,1 моль/л. Далее в раствор добавлялся золь серебра, синтезированный также в среде изопропилового спирта по методике [4]. Для изучения влияния концентрации наночастиц серебра в исходном растворе на оптические свойства пленок была синтезирована серия образцов с различным содержанием серебра. К 20 мл раствора титансодержащего прекурсора прибавляли 1, 2, 5, 7 и 10 мл золя

серебра. Концентрация серебра в растворе, таким образом, составляла от 0,008 до 0,08 моль/л. Также был синтезирован эталонный образец, не содержащий серебра.

Пленки наносили посредством центрифугирования на стеклянные пластины при скорости вращения ~ 8000 об/мин. Количество раствора, нанесенного на подложки, было одинаковым во всех экспериментах. После нанесения пленок образцы просушивались при комнатной температуре и при 400 °С.

Для определения оптических характеристик пленок были сняты спектры пропускания образцов до и после прокаливания (рисунок 1-3). На рисунке 1 представлены спектры пропускания пленок диоксида титана без добавления серебра. С прокаливанием характеристический спектр пропускания TiO_2 не претерпел изменений.

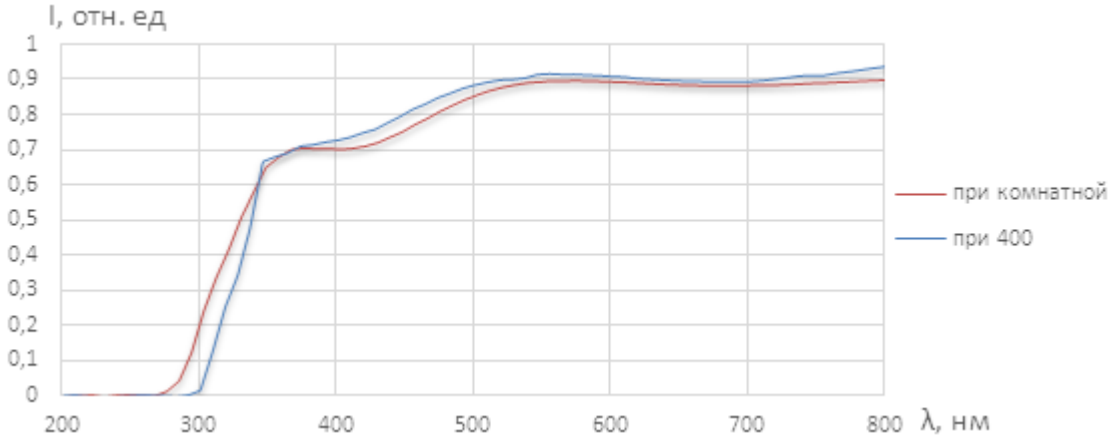


Рис. 1. Спектры пропускания пленок TiO_2, просушенных при комнатной Т и при 400 °С

На спектрах пропускания пленок TiO_2-Ag, представленных на рисунках 2 и 3, присутствует выраженная полоса поглощения на 420-430 нм, связанная с плазмонным резонансом наночастиц серебра [4]. Данная полоса имеет наибольшую интенсивность у образца с наибольшим содержанием серебра. При прокаливании образцов при температуре 400 °С наблюдается снижение интенсивности полосы плазмонного резонанса, что может быть связано с агрегацией наночастиц серебра (рисунок 3).

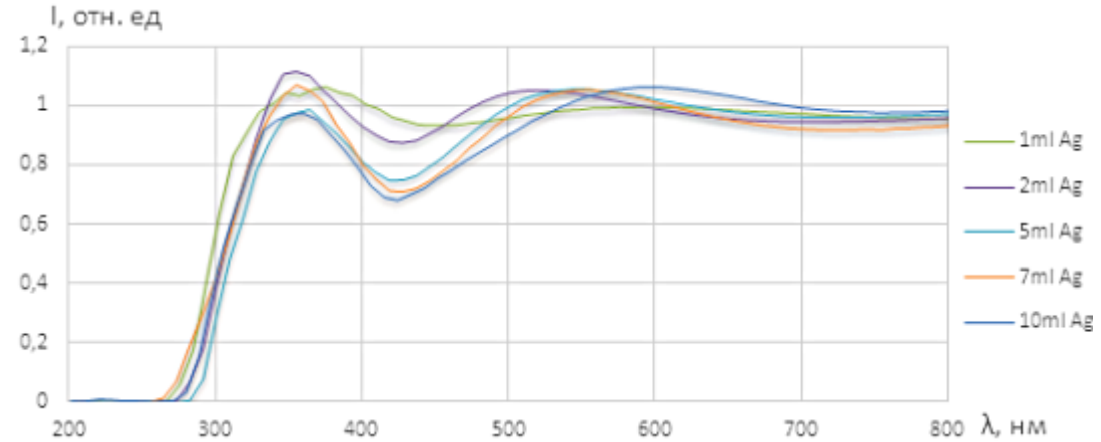


Рис. 2. Спектры пропускания пленок TiO_2-Ag, просушенных при комнатной температуре

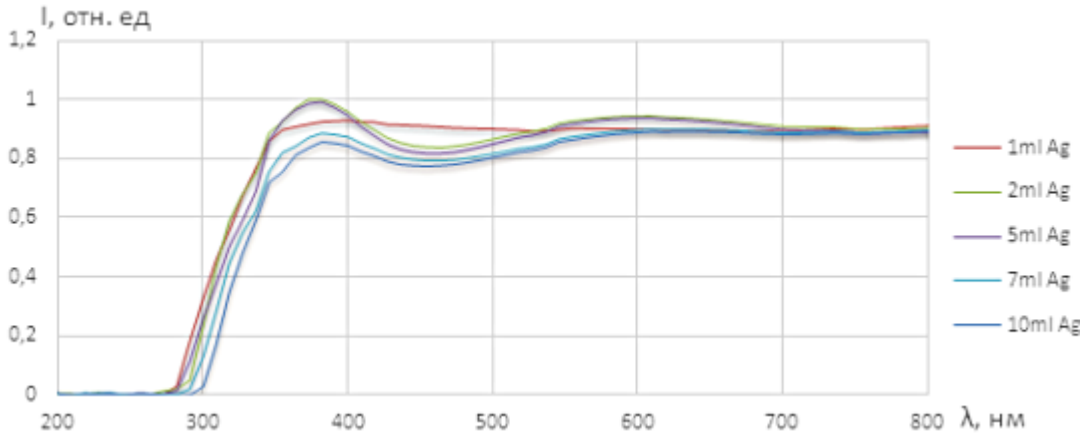


Рис. 3. Спектры пропускания пленок TiO_2-Ag, просушенных при 400 °С

Произведенные исследования позволяют заключить, что введение наночастиц в матрицу пленок TiO_2 возможно путем добавления золя, синтезированного в спиртовой среде в исходный раствор для нанесения пленок посредством центрифугирования. Наночастицы серебра в структуре пленки TiO_2-Ag вносят свою составляющую оптического поглощения за счет плазмонного резонанса, которая частично сохраняется при прокаливании до 400 °С.

Исследования выполнены на базе научно-исследовательского оборудования ЦКП СКФУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов А. Н. Синтез и каталитические свойства наноструктурированных покрытий диоксида титана : дис. на соис. уч. ст. канд. хим. наук. – М., 2014. – 160 с.

2. Синтез нанокристаллических пленок диоксида титана в цилиндрическом газовом разряде магнетронного типа и их оптическая характеризация / Гончаров А. А., Евсюков А. Н., Костин Е. Г. и др. // Журнал технической физики. – 2010. – № 8. – С. 127–135.

3. Моисеев С.Г., Виноградов С.В. Просветление поверхности диэлектрика наночастицами серебра // Компьютерная оптика. – 2010. – № 4. – С. 538–544.

4. Синтез наночастиц серебра в спиртовой среде / Кравцов А.А. Блинов А.В., Селеменева Д.Г., Блинова А.А., Русанов А.Ю. // IV международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы современной науки» (27–30 апр. 2015 г., г. Алушта). – Алушта, 2015. – № 2. – 400–402.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИТОВ «TiC–Ti» МЕТОДОМ СВС ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Криницын М.Г., Прибытков Г.А., Коростелева Е.Н.
Научный руководитель: Коростелева Е.Н., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: krinmax@gmail.com

PREPARATION OF POWDER COMPOSITES «TiC-Ti» BY SHS FOR ADDITIVE TECHNOLOGIES

Krinitcyn M.G., Pribytkov G.A., Korosteleva E.N.
Scientific Supervisor: Dr. Korosteleva E.N.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenina str., 30, 634050
E-mail: krinmax@gmail.com

Abstract: In the present work the structure and phase composition of Ti-TiC powder composites with different contents of titanium ligament obtained by self-propagating high-temperature synthesis was investigated. The structure was studied by X-ray analysis and scanning electron microscopy.

Введение

Проблема порошков металлов и сплавов, пригодных для использования в аддитивных технологиях, в частности в прямом лазерном спекании металлических порошков (DMLS) является в настоящее время ключевой, в особенности для Российской промышленности. Собственные производства товарных металлических порошковых материалов, адаптированных для применения в аддитивных технологиях, в России отсутствуют. Товарные порошки зарубежных фирм практически недоступны из-за высокой стоимости. По мере расширения номенклатуры деталей, производимых по технологиям селективного лазерного спекания (SLS) неизбежным является расширение номенклатуры порошков.

Помимо использования в 3D-печати, с помощью таких порошков можно наносить износостойкие покрытия на различные материалы. Износостойкие покрытия на титановые сплавы представляют большой практический интерес, так как титан и его сплавы обладают низкой износостойкостью из-за склонности к схватыванию в контактных парах практически со всеми металлическими материалами [1]. Для получения качественных износостойких покрытий на титан и его сплавы широко используется порошковая наплавка, причем состав порошковой присадки подбирают таким образом, чтобы получить композиционное покрытие, имеющее структуру матричного композита с дисперсными включениями частиц тугоплавких соединений (карбидов, боридов, силицидов) в титановой матрице. Особый интерес в качестве твердой и тугоплавкой упрочняющей фазы в металломатричных композитах на основе титана представляет карбид титана. Для получения наплавленных композиционных покрытий «TiC-Ti» обычно используются механические смеси порошков титана, карбида титана и графита в различных сочетаниях [2-7]. При этом, используя для наплавки композиционных порошков «TiC – титановая связка» с заранее заданными характеристиками структуры, становится возможным контроль морфологии, дисперсности и объемной доли карбидных включений структуры наплавленного покрытия. В настоящей работе исследована морфология и фазовый состав композиционных порошков, полученных самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) в порошковых смесях титан – углерод.

Материалы и методики.

Композиционный порошок с расчетным содержанием связки от 30 до 60 об% был получен послойным горением на воздухе прессовок из не подвергнутой предварительной механоактивации (МА) порошковой смеси титана ТПП-8 и сажи П-803. Горение инициировали нагревом поджигающей таблетки молибденовой спиралью. Сразу после прохождения фронта горения, полученный спек СВС продукта

охлаждали в воде. Фактическое содержание связки в СВС продуктах оказалось значительно меньше расчетного из-за образования нестехиометрического карбида титана. Механическая активация реакционной смеси из титана ПТОМ-2 и сажи ПМ-15 проводилась в планетарной шаровой мельнице АГО – 2 с водяным охлаждением [8]. Объем каждого из двух стальных барабанов мельницы 160 см^3. Диаметр шаров 8 мм, масса шаров в каждом барабане 200 грамм, масса образца 10 г. Центробежное ускорение шаров 400 м с$^{-2}$ (40 g). Для предотвращения окисления во время МА барабаны с образцами заполнялись аргоном. После МА образцы выгружались из барабанов в боксе с аргоновой атмосферой.

Структурный анализ СВС-спеков и наплавленных покрытий проводили на оборудовании Центра коллективного пользования ИФПМ СО РАН (дифрактометр ДРОН-7, растровый электронный микроскоп LEO EVO 50).

Результаты и обсуждение

Рентгенофазовый анализ продуктов синтеза обнаружил дефицит свободного (не связанного в карбиде) титана. На рентгенограммах композитов TiC+Ti с расчетным содержанием титановой связки 30 и 40 об% (в предположении образования карбида эквиатомного состава) отражения титана отсутствуют вообще, а на остальных их интегральная интенсивность значительно меньше ожидаемой. Рассчитанный по рентгенограммам параметр решетки карбида титана оказался значительно меньше справочного значения a = 0,4327 нм. Это может быть следствием образования при синтезе нестехиометрического карбида TiC_x. Согласно равновесной диаграмме титан – углерод [7] содержание углерода в карбиде титана в области гомогенности меняется в широких пределах (от x=1 до x=0,5). Образование нестехиометрического карбида приводит к уменьшению содержания связки в СВС композиционных порошках (результаты оценки приведены в табл. 1)

Таблица 1

Расчетное содержание титановой связки в СВС композитах Ti + TiC_x при разных значениях x

№ смеси	Состав реакционной смеси, масс.%		Расчетное содержание Ti связки в СВС композитах, об.%	
	Ti	C	Ti + TiC	Ti + $TiC_{0,5}$
1	85,66	14,34	30	0
2	87,58	12,42	40	0
3	89,56	10,44	50	6,4
4	91,58	8,42	60	24,1

Морфология синтезированных порошков приведена на рисунке 1. Видим, что СВС продукт, синтезированный из реакционной смеси № 1 (табл. 1) состоит из отдельных, относительно крупных зерен карбида и их сростков. В продукте, синтезированном из смеси №2 карбидные зерна визуально мельче, чем у предыдущего, а в двух других образцах с промежуточным содержанием титана (№ 3 и 4) сплошность карбидного каркаса нарушается включениями несвязанного титана.

После выделения из всех полученных порошков фракции размером 50-150 мкм, такие порошки могут быть непосредственно использованы для нанесения защитных покрытий или применены в 3D-печати методом DMLS.

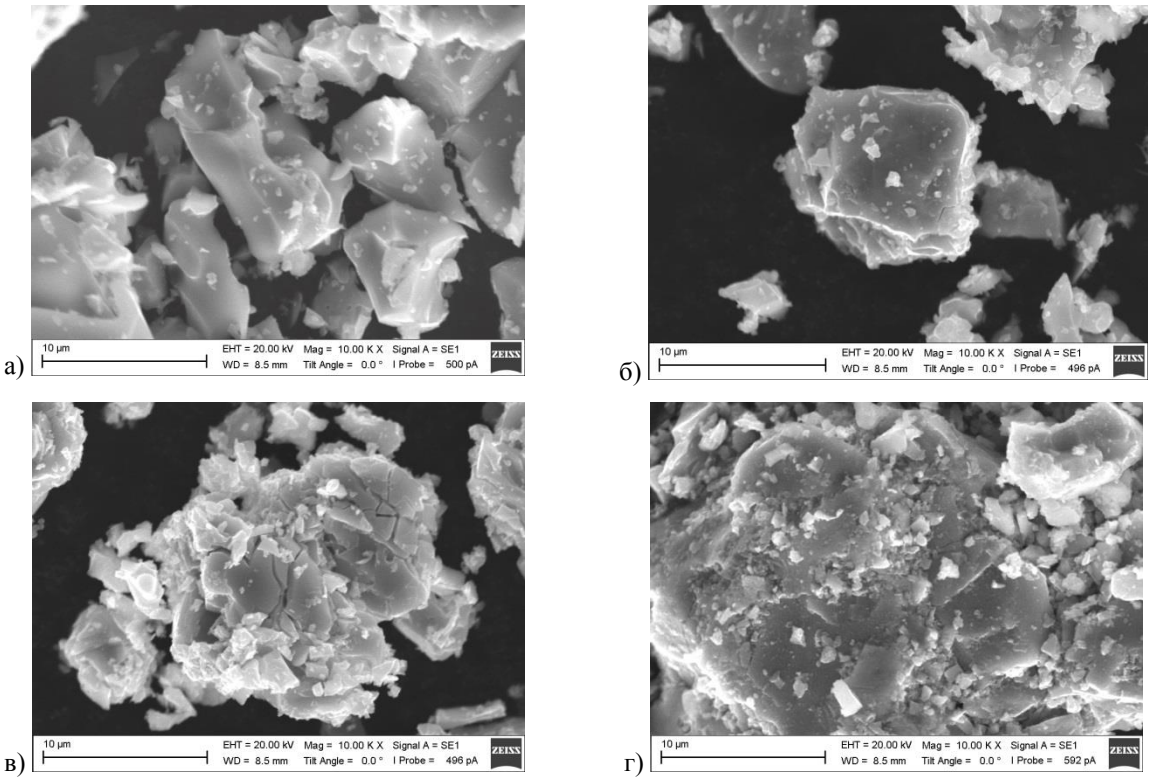


Рис. 1. Морфология и дисперсность карбидной фазы в СВС композитах TiC+Ti с различным расчетным (в предположении образования стехиометрического карбида) и фактическим (значение в скобках) объемным содержанием титановой связки: а) 30% (0%); б) 40% (0%); в) 50% (6,5%); г) 60% (24,6%);

Выводы

С использованием технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в порошковых реакционных смесях титана и углерода получены композиционные порошки «карбид титана – титан», структуру которых (морфология и дисперсность карбидной фазы и объемная доля титановой связки) можно целенаправленно регулировать в широких пределах. Полученные порошки могут быть использованы в аддитивных технологиях или для нанесения защитных покрытий методом электронно-лучевой наплавки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Zwikker Ulrich. Titan und Titanlegirungen. – Springer-Verlag, 1974. – 717 p.
2. Hamedy M.J., Torkamany M.J, Sabbaghzadeh J.. Effect of pulsed laser parameters on in-situ TiC synthesis in laser surface treatment // Optics and lasers in engeneering. – 2011. – vol. 49. – P. 557–563.
3. Zhang Ke-min, Zou Jian-xin, Li Jun, Yu Zhi-shui, Wang Hui-ping. Surface modification of TC4 alloy by laser cladding with TiC+Ti powders // Trans. Nonfer. Met. Soc. China. – 2010. – vol. 20. – P. 2192-2197.
4. Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovski M.G., Krivizhenko D.S., Losinskaya A.A., Lenivtseva O.G. Structure of surface layers obtained by atmospheric electron beam cladding of graphite-titanium powder mixture on to titanium surface // Applied Surface Sciense. – 2013. – vol. 284. – P. 472-481.
5. Weiping Liu, DuPont J.N. Fabrication of functionally graded TiC/Ti composites by Laser Engeneering Net Shaping // Scripta Materialia. – 2003. – vol. 48. – iss. 9, pp 1337-1342.
6. В.Е.Панин, С.И.Белюк, В.Г.Дураков, Г.А.Прибытков, Н.Г. Ремпе. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий // Сварочное производство. – 2000. – №2. – С. 34–38.
7. Коростелева Е.Н., Прибытков Г.А., Стрельницкий В.Е., Криницын М.Г. и др. Объемные изменения и эволюция структуры при нагреве порошковых прессовок «титан - карбид титана» // Известия ВУЗов. Физика. – 2014. – Т. 57. – №9-3. – С. 103–107.
8. А.с. №975068 (СССР). Аввакумов Е.Г., Поткин А.Р., Самарин О.И.. Планетарная мельница. Бюллетень изобретений, 1982. №43.

ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВАКУУМНОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

[1,a)] Куренбин Т.А.

Научный руководитель: [1,2]Гончаренко И.М., к.т.н.

[1]Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

[2]ФГБУН Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055,

Россия, г. Томск, пр-т Академический, 2/3.

[a)]E-mail: curenbin@yandex.ru

FEATURES OF CONSTRUCTION STEEL HARDENING BY VACUUM CHEMICAL-THERMAL ION-PLASMA PROCESSING

[1,a)]Kurenbin T.A.

Scientific Supervisor: [1, 2]Goncarenko I.M.

[1] Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

[2]Institute of High Current Electronics, 2/3 Akademichesky Avenue, Tomsk 634055 Russia

[a)]E-mail: curenbin@yandex.ru

Введение

Одним из популярных технологических методов изменения эксплуатационных характеристик конструкционных сталей на сегодняшний день является диффузионное насыщение поверхностных слоев азотом. Благодаря азотированию повышаются сопротивление усталости, коррозионная стойкость, теплостойкость, твердость и износостойкость [1, 2]. Однако, свойства азотированного слоя в большинстве случаев зависят от химического состава и исходной структуры материала. В частности, это касается таких параметров как твердость и протяженность упрочненной области. Анализ существующих способов азотирования показывает достаточно заметную эффективность данного метода для упрочнения сталей содержащих легирующие нитридообразующие элементы, такие, например, как титан, хром, ванадий, алюминий и др. Легированные стали после азотирования имеют поверхностную твердость HV 850 - 1200 кГ/мм^2 [3, 4], в то время как твердость азотированной поверхности у деталей из углеродистых и слаболегированных сталей не превышает HV 350 - 500 кГ/мм^2 [5]. Наличие легирующих материалов увеличивает растворимость азота в железе и способствует значительному увеличению твердости и прочности за счет формирования в насыщаемом слое ультрадисперсных нитридов указанных элементов. Однако высоколегированные стали, применяемые для изготовления деталей под азотирование, имеют сложную технологию выплавки и содержат дорогостоящие и дефицитные легирующие материалы. Чаще всего для конструкционной прочности узлов сопряжения различных деталей не требуется легирование их основы по всему объему, достаточно ввести легирующие элементы в поверхностный слой.

С другой стороны, поскольку скорость диффузии азота в сталях зависит от площади межзеренных границ, так как транскристаллитные процессы при температурах ниже 600 °С существенно медленные, для интенсификации формирования азотированного слоя предпочтительней выбирать материалы с более мелкой структурой, либо приводить их исходное крупнозернистое состояние к субмикрокристаллическому в результате предварительной обработки. В частности, измельчение среднего размера зерна сталей феррито-перлитного класса может быть достигнуто в результате закалки с образованием мартенситной

структуры. Сама по себе закалка также приводит к повышению твердости стали и не только на поверхности, но и во всем объеме детали. Однако, закалочные структуры склонны к разупрочнению в результате отпуска при повышенных температурах эксплуатации, имеют низкую коррозионную стойкость даже в обычных средах, а также имеют тенденцию к диффузионному схватыванию в контакте с поверхностями многих материалов в трибологических процессах.

На современном этапе развития технологий по упрочнению конструкционных сталей, наряду с известными и уже надежно зарекомендовавшими себя на большинстве производств методами, стремительными темпами развивается особый ряд электрофизического оборудования для воздействия на поверхность материалов потоками заряженных частиц в вакууме. Применение такого оборудования дает возможность более тонкого регулирования глубиной и составом диффузионного слоя, ускоряет насыщательную способность поверхности за счет минимизации загрязнений и замедления процессов «паразитного» оксидообразования при повышенных температурах. Поэтому, в связи с решением задач по экономии материалов, с одновременным достижением заданных механических эксплуатационных свойств поверхностного слоя, а также интенсификации производства, разработка новых технологических операций химико-термической обработки (ХТО) в вакууме является актуальной темой в современном машиностроении. В настоящей работе продемонстрированы результаты исследования по упрочнению поверхности стальных образцов комбинированным вакуумным методом в безводородной плазме дуговых разрядов.

Материалы и методика эксперимента

Исследования проводили на образцах, изготовленных из конструкционной легированной стали 40Х. Предпосылками для этих исследований послужили два предположения. Во-первых, модифицирование поверхностного слоя стали легирующими элементами должно изменить механизм диффузионного насыщения азотом и поверхностную твердость за счет образования сложных нитридов. Во-вторых, уменьшение объема зерен в результате закалки стальных образцов, по сравнению с исходной равновесной структурой в ферито-перлитном состоянии, должно ускорить кинетику процессов насыщения атомами азота в результате увеличения их концентрации вдоль границ и на дефектах структуры.

Для первого предположения проводили комбинированную ионно-плазменную обработку, состоящую из 2-х этапов. На первом этапе на поверхность образцов, выполненных из конструкционной стали 40Х в ферито-перлитном состоянии, вакуумно-дуговым методом напыляли тонкие пленки (~0,2 мкм) нитридообразующих металлов, в частности, нержавеющей стали (12Х18Н10Т), алюминия (Д16) и титана (ВТ-1-0). После напыления пленок образцы нагревали в газоразрядной плазме аргона при давлении в рабочей камере ~ 0,1 Па до температуры 550˚С в сопровождении с ионной бомбардировкой с энергией 600 эВ. В этих условиях проводили изотермическую выдержку в течение 1 часа. На втором этапе модифицированные образцы азотировали в течение 2 часов при температуре 520˚С в плазме дугового газового разряда при том же давлении. Оба этапа проводили в едином вакуумном цикле, не перегружая образцы из одного рабочего пространства в другое.

В рамках второго предположения проводили исследования эффектов упрочнения в результате ионно-плазменного азотирования предварительно закаленной стали 40Х в безводородной плазме дугового разряда в вакууме в диапазоне температур 200 – 520 °С. Предварительная закалка на мартенсит проводи-

лась традиционным способом в воду от T= 850 °C. Во всех случаях для реализации процесса азотирования использовалась установка на базе вакуумно-дугового разряда.

Толщину нитридной области азотированного слоя определяли методом оптической металлографии после химического травления поперечного микрошлифа экспериментальных образцов в 4%-й азотной кислоте. Твердость поверхностей, а также общую глубину упрочненного слоя на поперечных шлифах выявляли статическим индентированием с помощью микротвердомера ПМТ-3М по восстановленному отпечатку, оставленному пирамидой Виккерса при испытательных нагрузках в диапазоне 50-100 г.

Результаты эксперимента

Исследование влияния легирования поверхностного слоя стали 40Х нитридообразующими металлами на твердость и глубину азотированного слоя показало, что предварительное нанесение пленки перечисленных выше металлов, оказывает значительное влияние на характеристики азотированного слоя.

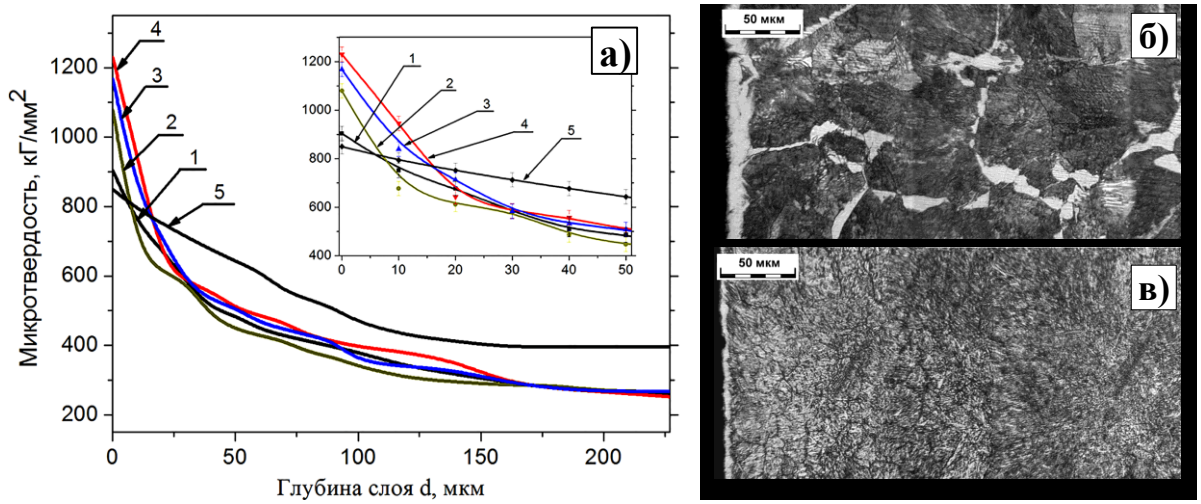


Рис.1. График распределения микротвердости (а) и изображения микроструктуры поперечных шлифов слаболегированной конструкционной стали 40Х с исходной равновесной структурой (б) и предварительно закаленной (в) после 2-х часов азотирования при ***T***=520 С° в безводородной плазме дугового разряда низкого давления (~0,1 Па): 1 – образец стали в ферито-перлитном состоянии азотированный без предварительного легирования; 2 - образец стали в ферито-перлитном состоянии легированный нержавеющей сталью; 3 - образец стали в ферито-перлитном состоянии легированный Ti; 4 - образец стали в ферито-перлитном состоянии легированный Al; 5 - сталь после закалки (исходная структура -мартенсит).

На рис. 1 представлен характер распределения микротвердости по глубине в поверхностном слое стали 40Х в зависимости от легирующего материала и предварительно закаленного образца. Видно, что на промежутке от поверхности до 50 мкм, распределение твердости у стали легированной алюминием *(кривая 4)* и титаном *(кривая 3)*, значительно отличается от азотированной стали без предварительного легирования *(кривая 1)*. Дальше в глубину распределение носит схожий характер. Также из рис.1. видно, что азотирование предварительно легированной стали 40Х позволяет увеличить поверхностную твердость в 1,3-1,5 раза (табл.1). Следует отметить, что предварительное легирование влияет на формирование протяженности, как нитридной области («белого слоя») так и общей толщины азотированного слоя. Максимальная величина упрочненного слоя была обнаружена для образца легированного Al, значения приведены в таблице 1.

На образце предварительно закаленном наблюдается значительное увеличение твердости азотированного слоя (*кривая 5).* Общая протяженность азотированного слоя составляет порядка 140 мкм (табл.1.), при этом также из графика 1 видно, что в сердцевине сохраняется повышенная твердость.

Таблица 1. Твердость и толщина азотированного слоя

№ п/п	Режим обработки	Твердость при нагрузке 50 гр. (кГ/мм^2)		Протяженность «белого слоя», (мкм)	Общая протяженность упрочненного слоя, (мкм)
		сердцевины	поверхности		
1	Сталь 40Х азотированная	270	904	11-12	140-150
2	Сталь 40Х+ покрытие 12Х18Н10Т +азотированная	270	1087	6-7	120-130
3	Сталь 40Х+ покрытие Ti +азотированная	270	1168	11-13	140-150
4	Сталь 40Х+ покрытие Al +азотированная	270	1230	13-14	150-160
5	Сталь 40Х закаленная +азотированная	450	843	3-5	140

Выводы

1. При комбинированной обработке в плазме дуговых разрядов конструкционной стали 40Х для всех рассматриваемых вариантов предварительного легирования было зафиксировано значительное повышение поверхностной твердости в 1,5 -2 раза после азотирования, по сравнению со сталью в исходном состоянии без предварительной модификации.

2. Предварительная закалка на мартенсит стали 40Х обеспечивает значительную интенсификацию процесса насыщения азотом по сравнению с ферито-перлитным состоянием. После азотирования при температуре 520 °С в безводородной газоразрядной плазме дугового разряда низкого давления твердость сердцевины предварительно закаленной стали 40Х не опускается ниже значения 400 кГ/мм^2.

Список литературы

1. Лахтин, Ю.М. Азотирование стали / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган. - М.:Машиностроение, 1976. -256 с.

2. Арзамасов Б.Н. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б.Н. Арзамасов, А.Г. Братухин, Ю.С. Елисеев, Т.А. Панайоти. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. –400 с.

3. Gemma K., Ohtsuka T., Fujiwara T., Kawakami M. A new perspective for rapid nitriding in high Cr austenitic steels // *J. Mater. Sci.*- 2001. -№ 36 – P. 5231 – 5235

4. Андреев А.А., Кунченко В.В., Саблев Л.П., Ступак Р.И., Шулаев В.М. Азотирование стали в плазме модифицированного вакуумно-дугового разряда // Технология машиностроения. - 2002. - №5. - 27-30.

5 Alsaran A., Karakan M., Celik A. The investigation of mechanical properties of ion-nitrided AISI 5140 low-alloy steel // Mater Charact. – 2002. – № 48. P. 323– 327.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КЕРАМИКИ AL_2O_3, СИНТЕЗИРОВАННОЙ ИЗ ПОРОШКА ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Левков Р.В. [2], Дедова Е.С. [1,3], Жуков И.А. [2,3]

Научные руководители: профессор, д.т.н. С.П. Буякова, профессор, д.ф.-м.н. С.Н. Кульков

[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

[2]Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

[3]ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

E-mail:levkov.r.v@mail.ru

STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE CERAMIC AL_2O_3, SYNTHESIZED FROM A POWDER OF ALUMINUM HYDROXIDE

R.V. Levkov, I.A. Zukov[1,2], E.S. Dedova[2,3]

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S.P. Byuakova, Prof., Dr. S.N. Kulkov

[1]Tomsk State University, Russia, Tomsk, Leninaave., 36, 634050

[2]Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia, Tomsk, Akademicheskii pr., 2/4, 634055

[3]Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: levkov.r.v@mail.ru

Annotation. *Investigations of the porous ceramic powder of synthetic aluminum hydroxide obtained by the decomposition of the aluminate solution. The structure and properties of aluminum hydroxide powder, determined temperature ranges of its restructuring. The dependences of the strength and porosity of the ceramics produced from their sintering temperature.*

На сегодняшний день керамика находит широкое применение в промышленности различного рода. За короткий промежуток времени керамика стала очень перспективным материалом, и останется им в ближайшее время, благодаря постоянному росту конкурентоспособности с таким материалом как метал. Из нее получают не только катализаторы, различные фильтры но и даже биоимпланты. для производства таких деталей керамика из оксида алюминия является очень распространенным и довольно дешевым материалом, что является не маловажным фактором. В данной работе для получения пористой керамики использовался метод основанный на разложении гидроксида алюминия до оксида в процессе спекания. Все вышеупомянутое поставило цель работы: изучение структуры и свойств пористой керамики полученной из порошка гидроксида алюминия.

Результаты растровой электронной микроскопии показали, что порошок гидроксида алюминия состоял из ограненных изолированных поликристаллических частиц. Частицы имели размер от 0.5 до 4 мкм, так же присутствовали единичные частицы размером до 8 мкм. Средний размер частиц составил 2.6 мкм при среднем квадратичном отклонении 1.5 мкм, рис. 1.

Согласно рентгенофазовому анализу, порошок гидроксида алюминия представлен структурной модификации $Al_2O_3.4H_2O$, находящемся в рентгеноаморфном состоянии, о чем свидетельствует высокий фон на малых углах дифракции,рис.2.

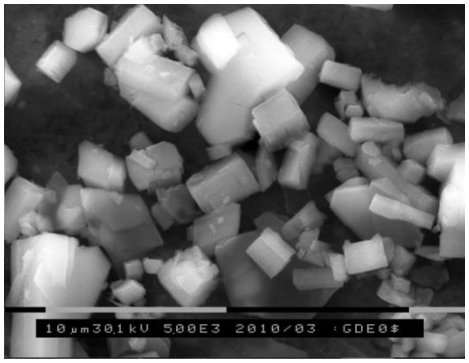


Рис. 1. РЭМ изображение порошка гидроксида алюминия

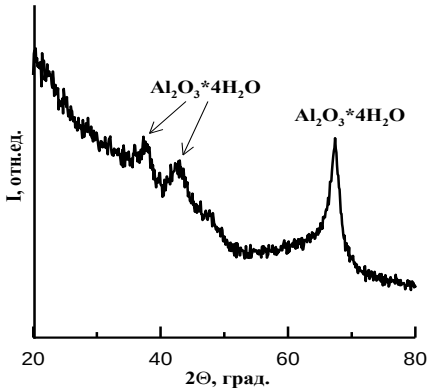


Рис. 2. Рентгенограмма порошка гидроксида алюминия

Для получения пористой керамики в качестве исходного компонента выступал порошок гидратированного оксида алюминия, полученный разложением алюминатного раствора. Порошки подвергались одноосному прессованию в стальной пресс-форме при давлении 200 МПа. Изменение объема порового пространства в керамике обеспечивалось варьированием температуры спекания образцов. Спекание прессовок осуществлялось на воздухе при температурах 1300, 1400, 1500 ^oC с изотермической выдержкой в течение 1-го часа.

Рентгенофазовые исследования показали, что керамика, спеченная при температуре выше 1300 ^oC, представлена высокотемпературной модификацией $\gamma - Al_2O_3$. После спекания при температуре 1300 ^oC в структуре керамики наблюдались зерна оксида алюминия двух видов: неправильной формы и близкой к сферической. В спеченных керамиках при температуре 1400 и 1500 ^oC, зерна оксида алюминия имели преимущественно сферическую форму. Кроме этого в структуре керамики присутствовала межчастичная пористость, которая уменьшалась по мере повышения температуры спекания, рисунок 3. В исследуемых керамиках общая пористость (Θ) составляла 60 % при температуре спекания 1300 ^oC, $\Theta \approx 45$ % при температуре 1400 ^oC и не превышала 20 % для образцов, спеченных при температуре 1500 ^oC. Коэффициент усадки увеличивался от 7% до 30% с ростом температуры спекания от 1300 до 1500 ^oC, соответственно, рисунок 4.

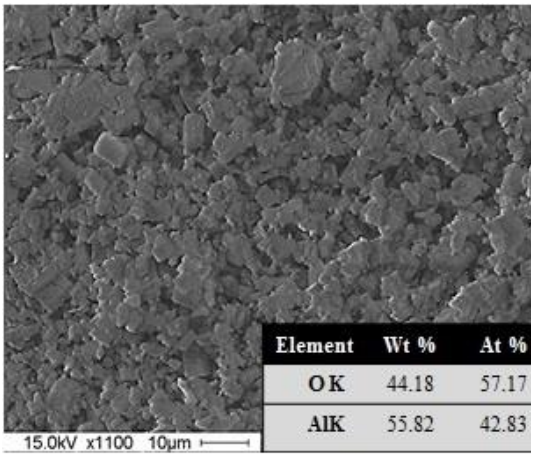


Рис.3. РЭМ изображения и элементный анализ керамик, спеченных при1500°С.

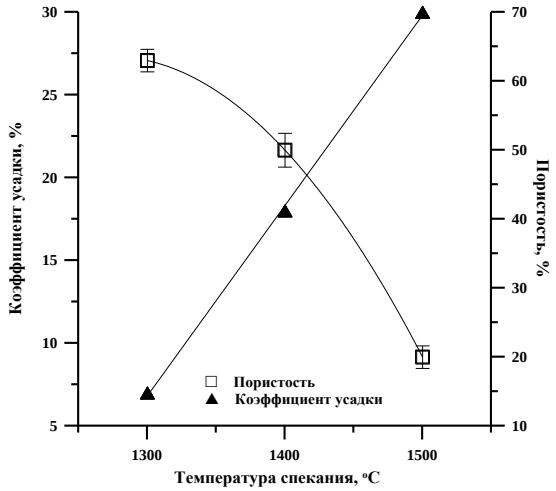


Рис. 4. Зависимость пористости и коэффициента усадки от температуры спекания

Исследования механических свойств полученных образцов керамик показали, что при увеличении температуры спекания происходит значительное увеличение прочности на сжатие с 6 МПа при 1300 °С до 800 МПа при 1500 °С, соответственно. Повышение механических свойств связано с уменьшением пористости спеченных керамик и, как следствие увеличением плотности.

Таким образом, в ходе исследований была получена пористая керамика, синтезированная с использованием гидроксида алюминия в качестве порообразователя. Необходимое значение пористости достигалось варьированием температуры спекания образцов. Увеличение температуры спекания с 1300 до 1500 °С способствовало изменению формы зерен с неправильной на сферическую. Показано, что в структуре керамики присутствовала межчастичная пористость, которая уменьшалась по мере повышения температуры спекания. Механические свойства керамики увеличивались с ростом температуры спекания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Третьяков Ю.Д. Керамика в прошлом, настоящем и будущем / Ю.Д. Третьяков // Соросовский образовательный журнал. - №6. - 1998. - С. 53 – 59.

2. Лукин Е.С. Современная оксидная керамика и области ее применения / Е.С. Лукин, Н.А. Макаров, А.И. Козлов и др. // Конструкционные материалы. – 2007. – С. 4 – 13.

3. Козлова А.В. Структура и свойства оксид-гидроксидных материалов ZrO_2-Al_2O_3 / И.А. Жуков, С.П. Буякова, и др. // Изв. вузов. Физика. - 2010. - № 12/2. - С. 172 – 176.

4. Буякова С.П. Структура и свойства пористой керамики ZrO_2-Al_2O_3 / И.А. Жуков, А.В. Козлова и др. // Изв. вузов. Физика. - 2011. - Т. 54. - № 9/2. - С. 120 – 124.

5. Жуков И.А. Пористая керамика ZrO_2-Al_2O_3 / Буякова С.П., Кульков С.Н., Третьяков Д.А // В сборнике Высокие Технологии в Современной Науке и Техники Сборник научных трудов в 2-х томах. Национальный иссследовательский Томский политехнический университет; Редакторы: Лопатин В.В., Яковлев А.Н… Томск, 2013 С. 169-173.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ TIC-TIB-TI ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ

Ленивцева О. Г., Самойленко В.В., Чучкова Л. В.
Научный руководитель: Батаев А.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет
Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, 630073
E-mail: lenivtseva_olga@mail.ru

STRUCTURE AND PROPERTIES OF TIC-TIB-TI COATINGS OBTAINED BY NON-VACUUM ELECTRON BEAM CLADDING

Lenivtseva O. G., Samoylenko V.V, Chuchkova L.V.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Bataev A.A.
Novosibirsk State Technical University, Russia, Novosibirsk, K. Marx Prospekt, 20, 630073
E-mail: lenivtseva_olga@mail.ru

Abstract. In this study structure and properties of wear resistant coatings obtained by non-vacuum electron beam cladding of powder mixtures on cp-titanium substrates were investigated. It was shown that increase of an electron beam current value led to increase of a thickness of the cladded layer and decrease of an average microhardness level. It was revealed that formation of the coatings containing hard titanium carbide and titanium boride particles induced a growth of cp-titanium wear resistance in the conditions of the effect of fixed abrasive particles.

Сплавы на основе титана обладают высокой удельной прочностью и отличной коррозионной стойкостью [1, 2]. Они широко используются для изготовления авиационных двигателей, элементов конструкций самолетов и космических аппаратов, сосудов для химической промышленности, медицинских имплантатов и хирургических приборов. Однако существенными недостатками титановых сплавов являются их низкая твердость, износостойкость, высокий коэффициент трения и склонность к схватыванию при контакте с металлическими материалами.

Анализ научной литературы показал, что эффективным методом улучшения триботехнических свойств сплавов на основе титана является поверхностное упрочнение [2-5]. При эксплуатации деталей в условиях трения наибольшие нагрузки воспринимает поверхностный слой материала, поэтому важно упрочнять детали на приемлемую толщину. Использование традиционных методов химико-термической обработки (борирование, цементация, азотирование) не рационально, так как для получения упрочненного слоя толщиной свыше 100 мкм требуется длительная выдержка заготовок при высокой температуре [2].

Представленный в настоящей работе подход является альтернативой широко исследуемой технологии лазерной обработки. Он заключается в высокопроизводительной электронно-лучевой наплавке порошков карбида бора, предварительно нанесенных на заготовки из титанового сплава ВТ1-0. Используемый для этой цели ускоритель разработан российскими инженерами Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (г. Новосибирск) в 80-х годах прошлого века и до сих пор не имеет аналогов в мире [7]. Отличительной особенностью данного ускорителя является возможность вывода пучка электронов в воздушную атмосферу.

Из листа титанового сплава ВТ1-0 толщиной 12 мм осуществлялась механическая резка заготовок размерами 50х100 мм. Для синтеза упрочняющих частиц в титановой матрице использовалась порошковая смесь, состоящая из 20 % (вес.) карбида бора B_4C и 30 % (вес.) титана. Защиту материалов от негативного воздействия атмосферы обеспечивали сварочные флюсы CaF_2 и LiF.

Перед обработкой все компоненты порошковой смеси равномерно перемешивались и наносились на поверхность титановой заготовки в количестве 10 г на 1 $см^2$. В процессе обработки заготовка перемещалась в продольном направлении со скоростью 25 мм/с относительно сканирующего пучка электронов. Энергия электронов в пучке составляла 1,4 МэВ, величина тока пучка была изменяемым параметром и в данном эксперименте составляла 27, 28 и 29 мА.

На рисунке 1 приведена схема технологического процесса вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей на заготовки из титанового сплава ВТ1-0.

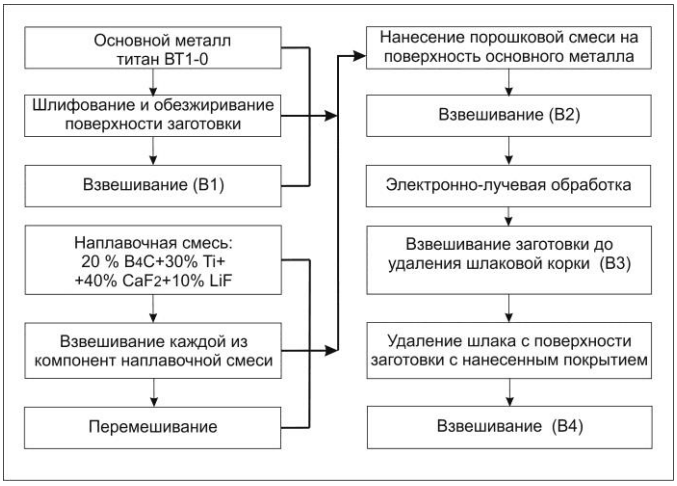


Рис. 1. Технологическая схема процесса электронно-лучевой наплавки

Анализ структуры полученных материалов с использованием оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Observer A1m показал, что в покрытиях отсутствуют поры и трещины (рис. 2). В тоже время в нижней части наплавленного слоя обнаружены частицы нерастворившегося карбида бора размером 10-20 мкм.

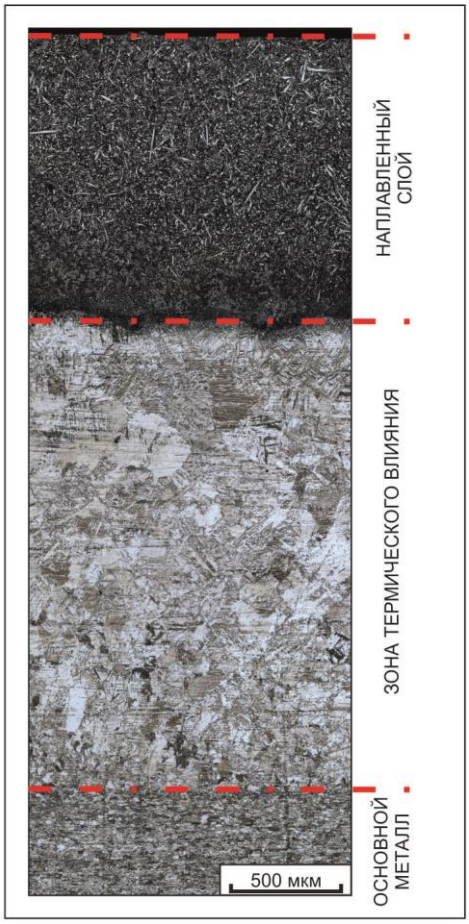


Рис. 2. Структура наплавленного слоя, сформированного методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки смеси порошков (Ti + B4C) на заготовки из титанового сплава ВТ1-0

Толщина покрытий, полученных при наплавке карбида бора и титана, при токе пучка равном 27 мА составляет 1,2±0,02 мм. Повышение тока пучка на 1 мА сопровождается повышением толщины покрытий на ~ 0,1 мм.

Результаты структурных исследований свидетельствуют о формировании в процессе электронно-лучевой наплавки градиентной структуры, характеризующейся наличием кристаллов боридов и карбидов титана различной морфологии. Вблизи поверхности частицы TiC имеют округлую форму, в центральной части наплавленного слоя наблюдаются частицы дендритной морфологии. Бориды титана имеют форму гексагональных призм. Также в наплавленном слое наблюдаются дефектные кристаллы борида титана в виде пустотелых каркасов. Одной из причин

формирования кристаллов такого типа может быть снижение концентрации бора. Микротвердость по Виккерсу оценивалась на твердомере Wolpert Group 402 MVD при нагрузке на индентор, равной 0,98 Н. Максимальное значение микротвердости наплавленных слоев составляло ~ 7500 МПа. Повышение величины тока пучка электронов при наплавке приводит к увеличению степени разбавления поверхностно легированного слоя металлом основы и как следствие к снижению уровня микротвердости.

Износостойкость покрытий при трении в условиях воздействия закрепленных абразивных частиц (ГОСТ 23.208-79) оценивалась на основании изменения геометрических размеров (длины) образцов. В качестве эталонного образца использовался технически чистый титан. Анализ результатов экспериментов показал, что относительная износостойкость образцов с покрытием в 1,8 раз выше по сравнению с титаном.

Отмеченное выше позволяет сделать вывод о том, что вневакуумная электронно-лучевая наплавка смеси порошков (B_4C+Ti+CaF_2+LiF) на заготовки из титана ВТ1-0 является эффективным методом повышения твердости и износостойкости титановых сплавов.

Выражаем благодарность специалистам ИЯФ СО РАН, в частности к.ф.-м.н. М.Г. Голковскому, за оказанную помощь в постановке и проведении экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Lütjering G., Williams J. C. Titanium (Engineering Materials and Processes). – Berlin. : Springer, 2007. – 442 p.
2. Чечулин Б. Б. Титановые сплавы в машиностроении. – Л. : Машиностроение, 1977. – 248 с.
3. Saleh A.F., Abboud J.H., Benyounis K.Y. Surface carburizing of Ti–6Al–4V alloy by laser melting // Opt. Lasers. Eng. – 2010. – No. 48. – P. 257–67.
4. Tian Y.S., Zhang Q.Y., Wang D.Y. Study on the microstructures and properties of the boride layers laser fabricated on Ti–6Al–4V alloy // J. Mater. Process. Technol. – 2009. No. 209. – P. 2887–91.
5. Lenivtseva O., Golovin E., Samoylenko V., Mul D., Golovin D. Structure and properties of surface layers obtained by atmospheric electron beam cladding of graphite-titanium powder mixture onto titanium substrate // Advanced Materials Research. – 2014. – No. 1040. – P. 784-789.
6. Ленивцева О. Г., Батаев И. А., Иванцивский В. В., Белоусова Н. С., Головин Е. Д., Зимоглядова Т. А. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка углеродсодержащих порошковых смесей на заготовки из титана ВТ1-0 // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2013. – № 4. – С. 49-57.
7. Салимов Р. А. Мощные ускорители электронов для промышленного применения // Успехи физических наук. – 2000. – Т. 170. – № 2. – С. 197-201.

СИНТЕЗ МИКРОННЫХ ПОРОШКОВ АЛЛЮМОШПИНЕЛЕЙ МЕТОДОМ СВС

Львов О.В., Касацкий Н.Г., Радишевская Н.И.
Отдел структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН,
Россия, г. Томск, пр. Академический 10/3, 634021
E-mail: Lvov@vtomske.ru

Lvov O.V., Radishevskaya N.I., Kasatsky N.G.
Department for Structural Macrocinetics, Tomsk Scientific Centre, SB RAS
Russia, Tomsk, Academic prospectus 10/3, 634021
E-mail: Lvov@vtomske.ru

Пигменты на основе алюмошпинелей широко используются для декорирования в керамическом производстве. Одним из способов их получения является СВС метод, обладающий рядом преимуществ: быстротой протекания процессов, высокими температурами синтеза, достигаемыми за счет использования внутренней химической энергии системы. На основе переходных металлов (Cr, Fe, Co, Ni) были получены СВС-пигменты различной окраски. Исследование размера частиц синтезируемых шпинелей показало, что после измельчения продукта в шаровой мельнице в течение 30 минут, размер их зерен составляет 4-9 мкм. Известно, что по шкале Мооса шпинель имеет твердость порядка 8, поэтому ее получение с дисперсностью 1÷2 мкм задача трудноосуществимая. Для достижения необходимой тонины помола требуется несколько часов и даже суток.

Целью данной работы является получение алюмошпинелей с размером частиц ~1-2 мкм в процессе СВ-синтеза и исследование формирования структуры и цветности пигментов.

Для синтеза пигментов использовали оксиды: Co_2O_3, Co_3O_4, Cr_2O_3, Ni_2O_3, NiO, Fe_2O_3, FeO, ZnO, MgO, гидроксид алюминия $Al(OH)_3$ квалификации «ч» и порошок алюминия марки АСД-4. Порошкообразные компоненты шихты тщательно перемешивали согласно рецептуре, полученную смесь засыпали в стакан из нержавеющей стали. Синтез проводили в установке постоянного давления. Для обеспечения стационарного послойного горения шихту подогревали до 300-500 °С. Поджиг шихты осуществляли от электроспирали или от поджигающей таблетки Ni+Al (50 ат.% Al), помещенных с торца образца. Так как шихта имеет насыпную плотность, то синтез протекал в режиме послойного горения в условиях естественной фильтрации.

Идентификацию полученных пигментов осуществляли при помощи рентгенофазового анализа на дифрактометре – ДРОН-УМ1 (фильтрованное CoK_α-излучение), инфракрасной спектроскопии в области 4000-400 $см^{-1}$ на ИК-Фурье спектрометре Nicolet – 5700 в KBr и локального микрорентгеноспектрального анализа (анализатор Camebax-Microbeam). Микроструктуру образцов исследовали с помощью оптической микроскопии (Axiovert 200M) и растровой электронной микроскопии (Philips SEM 515). Масс-спектроскопические исследования газов, выделившихся в процессе нагрева шихты пигментов, осуществляли на масс-спектрометре Prolab VG.

СВ-синтез алюмошпинелей с использованием в составе шихты в качестве алюмокислородного компонента - гидроксида алюминия $Al(OH)_3$ способствует получению пигментов с размером частиц ~ 1-2 мкм. Известно, что при прокаливании $Al(OH)_3$ (гиббсит и байерит) при температуре 400÷500 ºС происхо-

дит образование активного оксида алюминия, при этом наблюдается резкое возрастание удельной поверхности с 2÷5 до 300÷500 $м^2$/г. [1]. При температурах 250 °С, 290 °С и 500 °С протекают соответственно следующие реакции:

$$Al(OH)_3 \text{ (байерит)} \rightarrow \eta\text{-}Al_2O_3 \qquad (1)$$

$$Al(OH)_3 \text{ (гиббсит)} \rightarrow \gamma\text{-AlOOH (бемит)} \qquad (2)$$

$$\gamma\text{-AlOOH (бемит)} \rightarrow \gamma\text{-}Al_2O_3 \qquad (3)$$

Масс-спектроскопические исследования газов (масс-спектрометр Prolab VG), выделившихся в процессе синтеза пигментов показали, что наряду с H_2O и OH^-, при нагреве шихты до 500 °С выделяется атомарный водород Н.

Выделение водорода может происходить в результате реакции взаимодействия паров воды, образующихся при разложении гидроксидов, с поверхностью алюминия, содержащегося в составе шихты пигментов.

$$2Al+3H_2O=Al_2O_3+3H_2\uparrow \qquad (4)$$

Получение пигментов шпинельного типа в мелкодисперсном состоянии в процессе СВ-синтеза основано на твердопламенном горении в узкой зоне реакции взаимодействия реагентов, в состав которых входит гидроксид алюминия $Al(OH)_3$ (термическое диспергирование). В результате подогрева шихты кристаллическая структура гидроксида быстро разрушается с выделением газообразных продуктов реакции и образованием мелкодисперсного и активного оксида алюминия. При СВС процессе высокая скорость распространения фронта волны горения препятствуют спеканию частиц Al_2O_3, а в результате действия высоких температур формируется мелкодисперсная структура шпинели (рис.1).

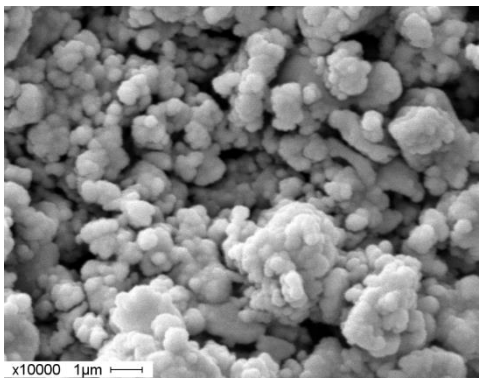


Рис.1 Микрофотография пигмента системы $ZnO\text{-}NiO\text{-}Cr_2O_3\text{-}Al_2O_3$ (растровое изображение), Philips SEM 515.

Предварительный прогрев шихты до 500 ºС и небольшая выдержка при этой температуре (0,5 часа) способствует удалению водорода из смеси реагентов, что исключает протекание реакций восстановления металла (кобальта, железа, никеля) водородом в процессе СВ-синтеза.

Синтезируемые пигменты не требуют измельчения, имеют размер частиц ~1-2 мкм, требуется только процесс дезагрегации. В таблице 2, в зависимости от используемого хромофора, приведен цвет синтезируемых пигментов.

Таблица 1.

Цвет керамических пигментов шпинельного типа.

№	Система	Оксид	Хромофор	О-в. условия синтеза	Цвет пигмента
1	$ZnO\text{-}CoO\text{-}Al_2O_3$	ZnO, Co_2O_3, Co_3O_4	Co^{2+}	о-в	голубой
2	$ZnO\text{-}MgO\text{-}CoO\text{-}Al_2O_3$	ZnO, Co_2O_3, Co_3O_4	Co^{2+}	о-в	голубой
3	$ZnO\text{-}CoO\text{-}Cr_2O_3\text{-}Al_2O_3$	ZnO, Co_2O_3, Co_3O_4, Cr_2O_3	Co^{2+},Cr^{3+}	о-в	бирюзовый
4	$ZnO\text{-}MgO\text{-}CoO\text{-}Cr_2O_3\text{-}Al_2O_3$	ZnO, Co_2O_3, Co_3O_4, Cr_2O_3	Co^{2+},Cr^{3+}	о	бирюзовый
5	$ZnO\text{-}NiO\text{-}Cr_2O_3\text{-}Al_2O_3$	ZnO, Ni_2O_3, Cr_2O_3	Ni^{2+},Cr^{3+}	о-в	салатный
6	$CoO\text{-}Fe_2O_3\text{-}Al_2O_3$	Co_2O_3, Co_3O_4, Fe_2O_3	Fe^{2+}, Co^{2+}	в	коричневый
7	$CoO\text{-}Fe_2O_3\text{-}Cr_2O_3\text{-}Al_2O_3$	Co_2O_3, Fe_2O_3, Cr_2O_3	Fe^{2+}, Co^{2+}, Cr^{3+}	о	бежевый
8	$CoO\text{-}Fe_2O_3\text{-}Cr_2O_3\text{-}Al_2O_3$	Co_3O_4, Fe_2O_3, Cr_2O_3	Fe^{2+}, Co^{2+}, Cr^{3+}	в	зеленовато-бежевый
9	$ZnO\text{-}CoO\text{-}Fe_2O_3\text{-}Cr_2O_3\text{-}Al_2O_3$	ZnO, Co_3O_4, Fe_2O_3, Cr_2O_3	Fe^{2+}, Co^{2+}, Cr^{3+}	в	защитно-зеленый

* о-в – окислительные и восстановительные условия, о – окислительные условия, в – восстановительные условия.

При малых содержаниях оксида цинка и (или) магния пигменты имеют более темные тона, при больших – светлые.

В процессе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза пигментов шпинельного типа максимальные температуры, измеренные с помощью вольфрам-рениевых термопар, помещенных в центр образцов, достигают 1300ºС÷1500°С. Синтез пигментов после подогрева и выдержки в течение 0,5 часа осуществляют за 5÷10 минут, что зависит от исходного состава и размера образцов.

Синтезируемые керамические пигменты шпинельного типа могут быть использованоы для декорирования фарфорофаянсовых и стеклянных изделий, в производстве художественных красок, для окрашивания автомобильных и других эмалей, алюмофосфатных связок, пластмасс и строительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радченко Е.Д., Нефедов Б.К., Алиев Р.Р. Промышленные катализаторы гидрогенизационных процессов нефтепереработки.-М.: Химия, 1987.-224 с.

ВНЕВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА ГАФНИЯ НА ТИТАН

Матц О. Э., Кучумова И. Д.
Научный руководитель: Батаев И. А., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: o.matts@mail.ru

NON-VACUUM ELECTRON BEAM CLADDING OF HF ON TI PLATES

Matts O. E.
Scientific Supervisor: Bataev I. A., Ph.D, Assoc.
Novosibirsk State Technical University, Russia, Novosibirsk, Prospekt K. Marksa, 20, 630073
E-mail: o.matts@mail.ru

Введение

Титановые сплавы широко применяются в таких отраслях техники как самолёто- и ракетостроение, химическое машиностроение, энергетика и т.д. Применение сплавов титана обусловлено отличными механическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью. Одним из направлений развития титановых сплавов являются сплавы титана, легированные гафнием - нейтральным элементом, не оказывающим существенного влияния на температуру полиморфного превращения и не меняющим фазового состава титановых сплавов. Двухкомпонентные сплавы Ti-Hf рассматриваются для применения в биомедицине [1-3] в связи с их высокой прочностью, коррозионной стойкостью и пластичностью, не уступающей титану.

Однако сплавы системы Ti-Hf являются дорогостоящими. В данной работе исследуется возможность получения покрытий системы Ti-Hf на подложках из технически чистого титана. Используя метод электронно-лучевой наплавки гафния на титан, можно получить материал с улучшенным комплексом механических свойств по цене, сопоставимой с ценой титановых сплавов.

Материалы и методы исследования

Образцы подготавливали, используя в качестве материала основы пластины технически чистого титана марки ВТ1-0 размерами 100х50х12 мм. В качестве легирующего элемента применялся порошок технически чистого гафния. Перед наплавкой порошок гафния равномерно наносился на поверхность плотностью 0,45 г/см^2. Для предотвращения взаимодействия расплавленного металла с воздушной атмосферой использовался аргон. Наплавка осуществлялась в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН на ускорителе электронов ЭЛВ-6. В процессе наплавки образец перемещался относительно пучка электронов со скоростью 1 см/с. Расстояние от выпускного отверстия до поверхности заготовки составляло 136 мм, первоначальная энергия электронов и ток пучка - 1,4 МэВ и 11 мА.

Исследования микроструктуры проводились на оптическом микроскопе Carl Zeiss AxioObserver A1m на полированных шлифах, химически травленных раствором Кролла. Для оценки элементного состава использовали метод микрорентгеноспектрального анализа при помощи анализатора Oxford Instrumetns X-Act, установленного на растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO50 XVP. Микротвёрдость по Виккерсу определялась на приборе WolpertGroup 402MVD с нагрузкой на индентор 100 г.

Результаты исследований

Внешний вид наплавленного слоя, полученного методом электронно-лучевой наплавки, представлен на рисунке 1. Толщина слоя, измеренная на основании результатов оптической микроскопии, составила 1,75 мм. В наплавленных слоях отсутствуют дефекты в виде пор и микротрещин. Основываясь на метал-

лографических исследованиях, структуру образца можно разбить на три зоны: наплавленный слой, зона термического влияния и основной металл.



Рис. 1. Поперечное сечение образца, полученного методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошка гафния на титановые пластины

Наплавленный слой представляет собой двухкомпонентный сплав Ti-Hf. Концентрация гафния, измеренная методом микрорентгеноспектрального анализа, составила 8,1 % (вес.). На рисунке 2 представлено увеличенное изображение наплавленного слоя. Вытянутые в вертикальном направлении зёрна свидетельствуют о том, что кристаллизация металла начиналась от границы между расплавом и материалом основы. Из диаграммы состояния Ti-Hf [4] следует, что в процессе кристаллизации в первую очередь выделяется высокотемпературная β-фаза, представляющая собой твёрдый раствор гафния в титане. Высокая скорость охлаждения приводит к тому, что переход β-фазы в α-фазу происходит по мартенситному механизму. Этот факт хорошо подтверждается мартенситной структурой зёрен, изображенной на рисунке 3.

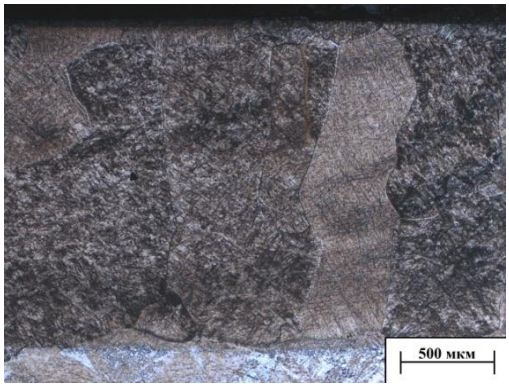


Рис. 2. Вытянутые зёрна, сформированные в процессе кристаллизации наплавленного слоя

Для оценки механических свойств образцов использовался метод определения микротвёрдости по Виккерсу. Из представленной на рисунке 4 зависимости следует, что микротвёрдость наплавленного слоя (~400 HV) примерно в два раза превышает микротвёрдость основного металла (~200 HV). Упрочнение наплавленного слоя, по-видимому, объясняется механизмом твердорастворного упрочнения.

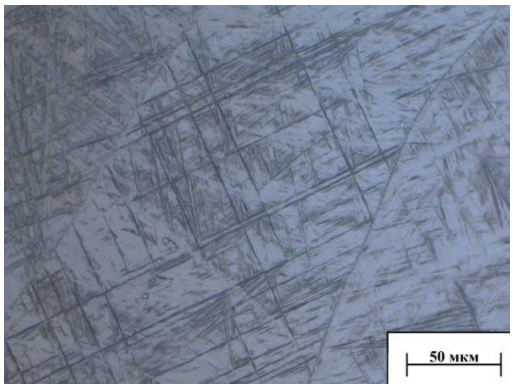


Рис. 3. Мартенситная структура наплавленного слоя

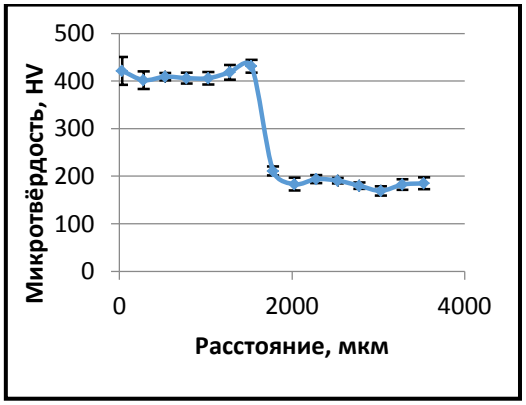


Рис. 4. Распределение микротвёрдости по сечению образца. Измерения проводились на поперечных шлифах в направлении от наплавленного слоя к материалу основы

Выводы

Проведенные исследования показали, что метод электронно-лучевой наплавки позволяет получать высококачественные бездефектные покрытия системы Ti-Hf на пластинах чистого титана. В связи с высокой скоростью охлаждения микроструктура наплавленного слоя имеет мартенситную морфологию (фаза α’). Микротвёрдость наплавленного слоя в двое превышает микротвёрдость материала основы.

Список литературы

1. Sato H., Kikuchi M., Komatsu M., Okuno O., Okabe T. Mechanical properties of cast Ti-Hf alloys, J. Biomed. Mater. Res. Part B Appl. Biomater., 72 (2005) 362-367.

2. Kikuchi M., Takahashi M., Sato H., Okuno O., Nunn M.E., Okabe T. Grindability of cast Ti-Hf alloys, J. Biomed. Mater. Res. Part B Appl. Biomater., 77 (2006) 34-38.

3. Cai Z., Koike M., Sato H., Brezner M., Guo Q., Komatsu M., Okuno O., Okabe T. Electrochemical characterization of cast Ti-Hf binary alloys, Acta Biomater, 1 (2005) 353-356.

4. Okamoto H. Hf-Ti (hafnium-titanium)// Journal of phase equilibria. - 1997. - № 18. - С. 672.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 01Х17Н13М3

Мельников Е.В.[1)], Кошовкина В.С.[2)], Москвина В.А.[2)]
Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. Астафурова Е.Г.[1)]
[1)]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055
[2)]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: melnickow-jenya@yandex.ru

INFLUENCE OF TEMPERATURE OF PLASTIC DEFORMATION ON STRUCTURE, PHASE COMPOSITION AND MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL Fe-17Cr-13Ni-3Mo-0.01C

Melnikov E.V. [1)], Koshovkina V.S.[2)], Moskvina V.A.[2)]
Scientific supervisor: assistant professor, doctor of sciences (Phys & Math) Astafurova E.G.[1)]
[1)]Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia,
Tomsk, Akademichesky str. 2/4, 634055
[2)]National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: melnickow-jenya@yandex.ru

Rolling provides the refinement of the structure, formation of a high volume fraction of twin boundaries and increase of the strength properties of steel Fe-17Cr-13Ni-3Mo-0.01C. Reducing in deformation temperature increases the density of twin boundaries in the structure and causes an additional strengthening, while not contributes to appreciable amount α′- and ε-martensite phases.

Введение. Перспективным направлением повышения прочностных свойств многих сплавов считается создание в них наноструктурных состояний, обладающих целым рядом уникальных физико-механических свойств. Одним из методов, позволяющих достичь таких состояний в сталях с низкой энергией дефекта упаковки, может выступить холодная прокатка до больших степеней деформации, которая обеспечит развитие фазовых превращений и механического двойникования [1]. Понижение температуры деформирования может способствовать более активному формированию двойниковых границ и/или объемной доли мартенсита и формированию наноструктурного состояния в сталях.

Цель работы – установить влияние температуры пластической деформации методом плоской прокатки на структуру, фазовый состав и механические свойства аустенитной стали 01Х17Н13М3.

Материалы и методы исследования. Образцы для испытаний в форме прямоугольных пластин с размерами 15×10×1.5 мм^3 вырезали из заготовок стали 01Х17Н13М3 (закалка от 1100 °С) промышленной выплавки с использованием электроискровой резки. Затем образцы подвергали химической чистке, механической шлифовке и электролитической полировке. Пластическую деформацию до степеней обжатия (ε) 25-90% проводили на вальцах настольных электромеханических В-51. Образцы прокатывали при комнатной температуре (Т=300 К) – режим I, а также охлаждали до температуры жидкого азота (Т=77 К) перед каждым циклом прокатки – режим II. Образцы для растяжения вырезали в форме двойных лопаток

из прокатанных заготовок. Механические свойства образцов исследовали на испытательной машине Instron 3369 (одноосное статистическое растяжение) при комнатной температуре со скоростью 4.2×10^{-4} $с^{-1}$. Микротвердость измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3 с механической нагрузкой P=200 г. Зеренную и дефектную структуру изучали методом анализа картин дифракции обратно рассеянных электронов (ДОЭ) с использованием сканирующих электронных микроскопов Quanta 200 3D и Quanta 600 FEG при ускоряющем напряжении 30 кВ и просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) JEM-2100 при ускоряющем напряжении 200 кВ. Образцы для электронно-микроскопических исследований готовили стандартными методами. Исследования фазового состава и структурных параметров стали проводили на дифрактометрах Shimadzu XRD-6000 и Rigaku Ultima IV.

Результаты исследования. Исходная структура исследуемой стали 01Х17Н13М3 – аустенит с параметром решетки a=3.6028 Å, размер областей когерентного рассеяния (ОКР) составляет >200 нм, микродеформация кристаллической решетки – 7.3×10^{-4}.

Рентгенофазовый анализ образцов показал, что после пластической деформации независимо от режима обработки не происходит фазовых γ–α', γ–ε превращений, на рентгенограммах наблюдаются рефлексы только от γ-фазы. Интенсивность пиков уменьшается с увеличением степени деформации, а их ширина увеличивается. Из анализа рентгенограмм следует, что размеры ОКР уменьшаются с деформацией до нескольких десятков нанометров, а микродеформация кристаллической решетки возрастает до величин $\sim10^{-3}$. При деформации параметр решетки стали изменяется незначительно. Микронапряжения второго рода (σ_{II}), возникающие в образцах стали после прокатки, возрастают с увеличением степени деформации и с понижением температуры прокатки. Все это свидетельствует о деформации и фрагментации структуры, повышении внутренних напряжений.

В образцах, прокатанных по режиму II, методом магнитофазового анализа была обнаружена небольшая доля α'-мартенситной фазы (меньше 5%), а электронно-микроскопически наблюдали образование ε-мартенсита в структуре стали, прокатанной по обоим использованным в работе режимам.

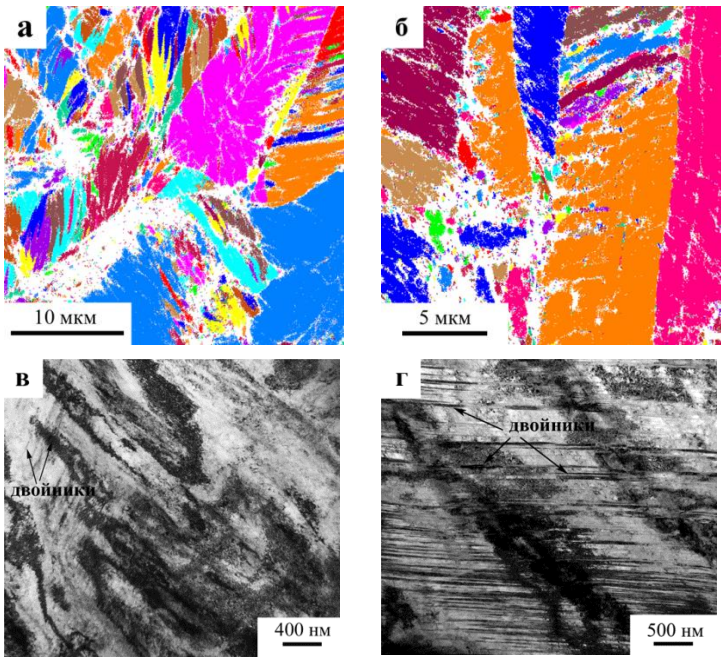


Рис. 1. Данные ДОЭ-анализа (а, б) и ПЭМ-изображения (в, г) стали 01Х17Н13М3, ε=50%: режим I (а, в); режим II (б, г).

Анализ ДОЭ-картин и ПЭМ-изображений (рис. 1) показал, что наблюдается фрагментация исходных аустенитных зерен и структура аустенита после прокатки имеет ориентированный характер – реализуется деформация механическим двойникованием и происходит формирование полос локализованного течения различного масштаба. Электронно-микроскопические данные (табл. 1) свидетельствуют о том, что с увеличением степени деформации и понижением температуры прокатки происходит уменьшение толщины двойниковых пластин (t), возрастает линейная плотность двойниковых гра-

ниц ($\rho_{t\omega}$) и плотность дислокаций (ρ), что способствует большей фрагментации структуры и повышению прочностных характеристик стали 01Х17Н13М3 (табл.1).

Таблица 1

Характеристика микроструктуры и механические свойства стали 01Х17Н13М3 до и после прокатки по разным режимам.

	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B, МПа	δ, %	ρ, м$^{-2}$	$\rho_{t\omega}$, м$^{-1}$	σ_ρ, МПа	t, нм
исх.сост.	340	595	54	$\sim10^{12}$	$\sim10^{4}$	–	–
300K, ε=25%	–	–	–	$0{,}4\times10^{15}$	2×10^{6} ($16\times10^{6*}$)	370	96–149 (18–26*)
300K, ε=50%	1080	1155	9	$1{,}0\times10^{15}$	8×10^{6}	590	50
77K, ε=25%	–	–	–	$0{,}7\times10^{15}$	7×10^{6} ($12\times10^{6*}$)	480	22 (30*)
77K, ε=50%	1200	1260	7	$1{,}0\times10^{15}$	10×10^{6}	590	30

* в отдельных зернах, наиболее благоприятно ориентированных для двойникования.

Анализ кривых течения показал, что деформационная обработка приводит к упрочнению стали. Прокатка (ε=50 %) приводит к упрочнению стали и повышению $\sigma_{0,2}$ и σ_B до 1040, 1150 МПа (режим I) и до 1160, 1250 МПа (режим II) соответственно, при этом пластичность снижается в 6 раз (табл. 1). Значения микротвердости после пластической деформации (ε=90 %) так же выросли с 2.07 ГПа (в исходном состоянии) до 3.9 ГПа (режим I) и 4.3 ГПа (режим II).

Выводы:

1. Деформационная обработка стали 01Х17Н13М3 прокаткой приводит к формированию разориентированной зеренно-субзеренной структуры с высокой долей двойниковых границ. Основными механизмами деформации выступают дислокационное скольжение, механическое двойникование и образование полос локализованной деформации. Понижение температуры прокатки и увеличение степени осадки способствует росту линейной плотности двойниковых границ.
2. Независимо от температуры прокатки, на рентгенограммах наблюдаются рефлексы только от γ-фазы, т.е. прокатка не способствует появлению заметного количества ε и α'-мартенсита, но методом магнитофазового анализа было обнаружено формирование небольшой доли α'-мартенситной фазы в образцах, прокатанных при температуре жидкого азота. Электронно-микроскопически наблюдали образование ε-мартенсита в структуре стали, прокатанной при обеих исследуемых температурах.
3. Измельчение зерна, накопление дефектов кристаллического строения и рост внутренних напряжений приводят к увеличению её прочностных характеристик. Понижение температуры прокатки вызывает большие эффекты упрочнения, что вызвано увеличением плотности двойниковых границ и фазовыми переходами, активируемыми при температуре деформации 77 К.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *И.Ю. Литовченко, А.Н. Тюменцев, Н.В. Шевченко, А.В. Корзников*. Эволюция структурно-фазовых состояний при больших пластических деформациях аустенитной стали 17Cr–14Ni–2Mo // ФММ. – 2011. – Т.112. – №4. – С.436–448.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке стипендии Президента (СП-419.2015.1).

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ

Миллер В.С., Безрукова В.А., Тютюнькова М.К. Лапушкина Е.Ю.
Научный руководитель: Корниенко Е.Е., к.т.н., доц.
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
E-mail: veronika_miller2@bk.ru

EFFECT OF PLASMA SPRAYING CONDITIONS ON WEAR-RESISTANCE OF SELF-FLUXING COATINGS

Miller V.S., Bezrukova V.A., Tyutyunkova M.K., Lapushkina E.U.
Scientific Supervisor: Kornienko E.E., PhD, Assoc. Prof.
Novosibirsk State Technical University
630073, Russia, Novosibirsk, Prospect K. Marksa, 20
E-mail: veronika_miller2@bk.ru

Повышение износостойкости механизмов, машин и инструментов, работающих в различных отраслях промышленности, является актуальной проблемой современного материаловедения. В случае металлов и сплавов существенно повысить износостойкость только легированием не достаточно. Данную проблему можно решить формированием многофункциональных поверхностных слоев, поскольку, чаще всего, именно поверхность ответственна за износостойкость, коррозионную стойкость, жаростойкость и т.д. [1,2,3]. Существует большое количество разнообразных способов модифицирования поверхности, например, химическое и физическое осаждение из паровой фазы, диффузионное насыщение, поверхностная термическая обработка, наплавочные процессы, газотермическое нанесение покрытий и т.д. [1]. Метод плазменного напыления широко используется для нанесения покрытий из самофлюсующихся сплавов на детали из углеродистых сталей [3,4]. Известно, что полученные покрытия имеют высокую твердость, износостойкость и коррозионную стойкость [3,5]. В качестве недостатков указанного метода можно отметить высокую пористость покрытий [2].

Цель данной работы заключалась в исследовании влияния режимов плазменного напыления на структуру и износостойкость самофлюсующихся покрытий.

В качестве материала для формирования износостойких покрытий использовали самофлюсующийся порошок марки ПР-Н77Х15С3Р2-3 (основа – Ni, 15 % Cr, 3,3 % Si, 2 % B, 2,1 % Fe) дисперсностью 40/100 мкм. Порошок напыляли на пластины из низкоуглеродистой стали 10 размерами 10х20х10 мм. Толщина сформированного покрытия составляла 400…600 мкм.

Плазменное напыление проводили на установке «Термоплазма 50-01» с кольцевым вводом порошка в Институте прикладной и теоретической механики СО РАН. Дистанция напыления – 170 мм. Ток дуги: 100, 140, 170, 200, 230 А. Для образцов 1 серии в качестве фокусирующего и транспортирующего газов использовали смесь воздуха и пропан-бутана, для образцов 2 серии – воздух. Защитный газ и в том, и в другом случае – смесь воздуха и пропан-бутана, плазмообразующий – воздух.

Непосредственно перед напылением проводили пескоструйную обработку поверхности основного металла. Для снятия внутренних напряжений, возникающих в покрытиях, после напыления выполняли отжиг при температуре 350 ºС в течение 3 часов.

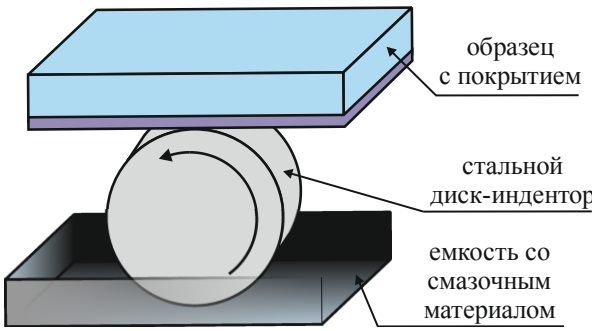
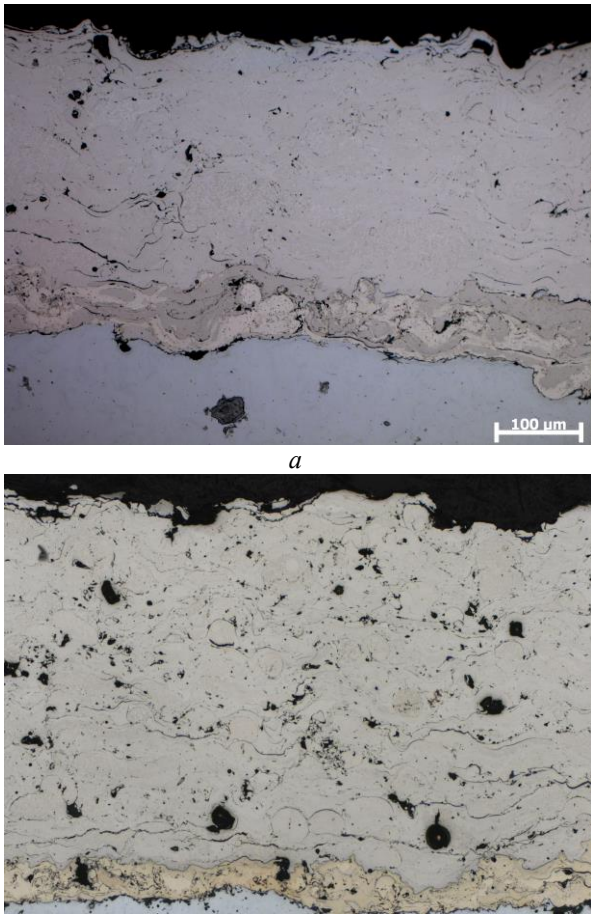


Рис. 1. Схема испытания образцов.

Для проведения металлографических исследований использовали оптический микроскоп *Carl Zeiss Axio Observer A1m*. Пористость покрытий определяли микроскопическим методом. Микротвердость структурных составляющих покрытий оценивали на *Wolpert Group 402MVD*.

Изнашивание материалов проводили в условиях трения скольжения со смазочным материалом (минеральное масло М8В) по схеме диск-колодка на машине трения ИИ 5018. Для проведения испытаний использовали образцы прямоугольной формы размером 20*10*10 мм. Поверхность покрытий полировали (шероховатость не грубее Ra= 0,32 мкм). В качестве индентора использовали диск из закаленной и отпущенной стали 45 внешним радиусом 50 мм, внутренним радиусом 16 мм и толщиной 8 мм. Нагрузка на индентор составляла 100 Н, скорость вращения диска – 300 об/мин., время изнашивания - 3 часа. Измерения лунки изнашивания проводились через каждые 30 минут.

В результате металлографических исследований было выявлено, что в полученных покрытиях наблюдаются поры, выкрошившиеся и нерасплавленные частицы (рис. 2), объемная доля которых, в зависимости от режимов плазменного напыления, представлена в таблице. Уменьшение количества пропан-бутана при плазменном напылении самофлюсующихся порошков способствует увеличению количества нерасплавленных частиц и повышению пористости покрытий (образцы второй серии) (таблица). Пористость покрытий на образцах первой серии с увеличением тока дуги от 140 А повышается (таблица). Стоит отметить, что максимальная пористость характерна для тока дуги 100 и 230 А. Образцы с пористостью более 4 % триботехническим испытаниям не подвергались.



а

б

Рис. 2. Изображения полученных покрытий: а – образец 1 серии (140 А); б – образец 2 серии (140 А).

Средние значения микротвердости всех покрытий находятся примерно на одном уровне и соответствует 800…850 HV (таблица).

На рис. 3 представлены результаты триботехнических испытаний образцов первой серии в условиях трения скольжения. Максимальный износ соответствует покрытиям, полученным на

токе дуги 200 А. Износостойкость покрытий, полученных на токе дуги 140 А, возросла в 1,5 раза.

Таблица 1. Режимы и характеристики плазменных самофлюсующихся покрытий.

Ток дуги, А	Поры и выкрошившиеся частицы, %	Нерасплавленные частицы, %	Средняя микротвердость, HV
Образцы 1 серии			
100	4.4	10.5	850
140	1.73	6.4	875
170	1.95	5.9	847
200	3.11	6.4	840
230	4.96	2.04	790
Образцы 2 серии			
100	5,36	18,5	841
140	6,85	11,4	877
170	4,17	8,24	818

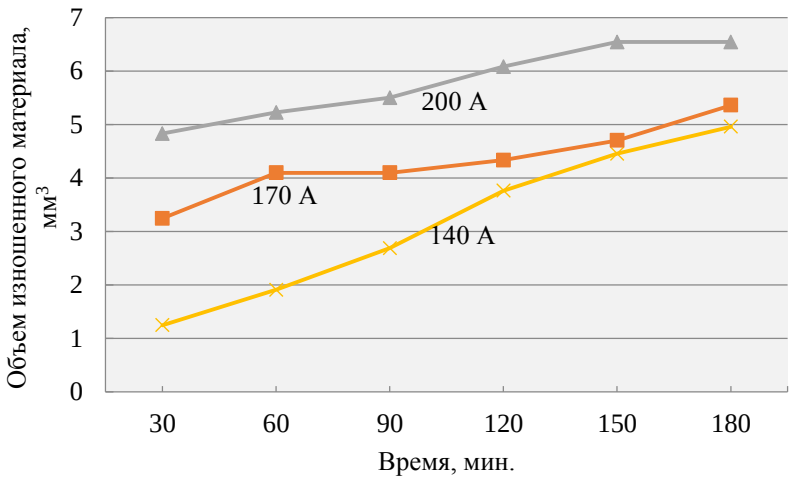


Рис. 3. Изнашивание образцов 1 серии в условиях трения скольжения.

Выводы

Уменьшение силы тока, а так же увеличение количества пропан-бутана при напылении самофлюсующихся покрытий способствует уменьшению пористости. Минимальная пористость (~ 2 %) наблюдается в покрытиях образцов первой серии, полученных на токах дуги 140 и 170 А. Средние значения микротвердости всех покрытий одинаковы (800…850 HV). Наилучшими триботехническими свойствами в условиях трения скольжения обладают покрытия, полученные на токах дуги 140 и 170 А.

Список литературы:

1. Хокинг М., Васантасри В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия. Получение, свойства и применение. Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 518 с.

2. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер. с яп. В. Н. Попова ; Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.

3. Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О., Синдеев В.И. Методы исследований материалов: Структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий. – М.: Мир, 2004. – 384 с.

4. Корниенко Е.Е., Лапушкина Е.Ю., Сергачев Д.С. Плазменное напыление износостойких покрытий. Современные техника и технологии : сб. докл. 20 междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 14-18 апр.2014 г. В 3 т. – Томск : ТПУ, 2014. – Т. 2. – С. 51-52.

5. Hemmati I., Ocelik V., J.Th.M.De Hosson, Effects of the alloy composition on phase constitution and properties of laser deposited Ni-Cr-B-Si coatings, Physics Procedia 41 (2013) 302-311.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ КРУЧЕНИЯ ПОД КВАЗИГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Москвина В.А., Майер Г.Г.*, Мельников Е.В.*
Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. Астафурова Е.Г.*
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055
E-mail: valya_moskvina@mail.ru

PECULIARITIES OF THE SRUCTURE, PHASE COMPOSITION AND STRENGTH PROPERTIES OF HIGH-NITROGEN AUSTENITIC STEEL AFTER HIGH-PRESSURE TORSION

Moskvina V.A., Maier G.G.*, Melnikov E.V.*
Scientific supervisor: assistant professor, doctor of sciences (Phys & Math) Astafurova E.G.*
National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
*Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia,
Tomsk, Akademichesky pr. 2/4, 634055
E-mail: valya_moskvina@mail.ru

Улучшение комплекса физико-механических характеристик конструкционных сталей одна из основных задач современного материаловедения, и её традиционно решают с использованием методов термомеханической обработки, легированием, дисперсионным твердением, созданием градиентных структур и покрытий и др. В последние десятилетия активно развивается подход, связанный с достижением в конструкционных материалах высокопрочного ультрамелкозернистого структурного состояния за счет измельчения их структуры методами интенсивной пластической деформации (ИПД) [1–2]. Данная работа направлена на установление механизмов деформации высокоазотистой ванадийсодержащей хромомарганцевой аустенитной стали при интенсивной пластической деформации методом кручения под квазигидростатическим давлением.

В качестве объекта исследования была выбрана сталь Fe-18Cr-23Mn-2,7V-0,2C-0,7N, мас.% (Х18АГ23Ф3). Исходные заготовки (диаметром 10 мм и толщиной 0,7 мм) закаливали в воду после часовой выдержки при 1200°С. Деформацию заготовок проводили методом кручения под квазигидростатическим давлением [2] (КГД, 6 ГПа) на наковальнях Бриджмена при комнатной температуре на N=0 (осадка без поворота бойка), N=1/4, N=1/2 и N=1 оборот.

Анализ микроструктуры проводили с помощью просвечивающего электронного микроскопа Technai G2 FEI при ускоряющем напряжении 200 кВ. Микроструктуру изучали на середине радиуса дисков. Рентгеновские исследования выполнены на дифрактометре Shimadzu XRD-6000 (с монохроматором). Микротвердость измеряли по методу Виккерса с использованием микротвердомера Duramin 5 при нагрузке на индентор 200 г. Среднее значение микротвердости вычисляли по измерениям, проведенным на середине радиуса дисков.

В исходном состоянии сталь Х18АГ23Ф3 имеет структуру преимущественно аустенита (рис. 1) со средним размером зерна 100 мкм. Параметр решетки аустенита до деформации составляет 0,3638 нм, что свидетельствует о высокой концентрации атомов азота и углерода в твердом растворе после закалки. Наряду с аустенитом наблюдали крупные частицы кубической формы с длиной грани 5 мкм (рис. 2а), а на электронно-микроскопических изображениях – сферические частицы диаметром 20-30 нм и 100-150 нм (рис 2б). На рентгенограмме, соответствующей исходному состоянию стали, также наблюдали рефлексы, отличные от аустенитной фазы, с межплоскостными расстояниями, соответствующими частицам VM (M=N, C) и параметром решетки 0,41 нм (рис. 1). Методом магнитофазового анализа установлено присутствие небольшой доли α-железа в структуре стали.

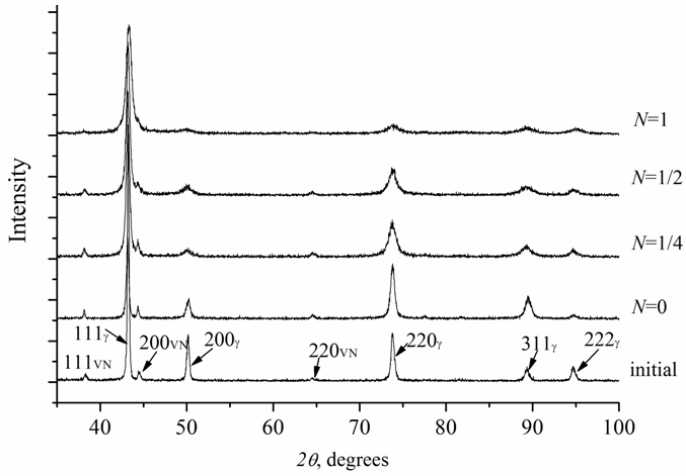


Рис. 1. Рентгенограммы для стали Х18АГ23Ф3 в исходном состоянии, после осадки (N = 0) и кручения на разное количество оборотов (N = 1/4, N = 1/2, N = 1).

После осадки и кручения на один полный оборот происходит фрагментация структуры, наблюдается уширение рентгеновских линий и формирование текстуры в аустените – преобладание плоскостей типа {111} в плоскости наковален (рис. 1). Несмотря на значительное уширение линий после одного оборота кручением, на рентгенограмме по-прежнему можно выделить отражения, соответствующие частицам и α-фазе, но их параметры сложно определить из-за размытия линий и их низкой интенсивности (рис. 1). После деформации параметр решетки аустенита изменяется в пределах ошибки измерения, это свидетельствует о том, что концентрация атомов внедрения (азота и углерода) в твердом растворе остается неизменной при деформации кручением под давлением. Скалярная плотность дислокаций (ρ), определенная на основе анализа уширения рентгеновских линии, возрастает от 4×10^{14} м$^{-2}$ после осадки до 2×10^{15} м$^{-2}$ после кручения на один оборот. Таким образом, накопление дислокаций является одним из механизмов, ответственных за деформацию и фрагментацию структуры и упрочнение стали при КГД.

Типичные электронно-микроскопические изображения структуры стали Х18АГ23Ф3 в деформированном состоянии представлены на рисунке 2 в, г. После осадки и кручения на один оборот в структуре стали наблюдается высокая плотность дислокаций, микрополос локализованной деформации (ширина ~100 нм) и двойников (рис. 2 г) с толщиной пластин в десятки нанометров. С увеличением степени деформации число локализованных полос увеличивается. Микродифракционные картины для областей структуры, которые содержат высокую плотность двойниковых границ, близки к точечным – содержат практически неразмытые матричные отражения, рефлексы, возникающие из-за двойного

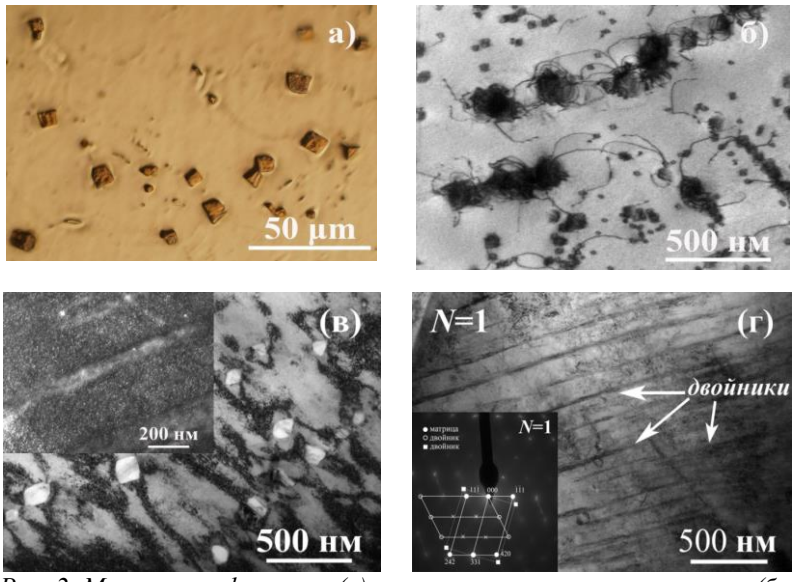


Рис. 2. Металлографическое (а) и электронно-микроскопические (б - г) изображения структуры стали Х18АГ23Ф3 в исходном состоянии (а, б) и после КГД на один оборот (в, г). Вклейка на (в) – темнопольное изображение в рефлексе нитрида ванадия (VN).

отражения, и тяжи, обусловленные формированием тонких двойниковых пластин. Наряду с двойникованием на таких участках наблюдали отражения, межплоскостные расстояния для которых соответствовали ε-мартенситу и аустениту. Помимо отражений от аустенита и ε-мартенсита наблюдали точечные микродифракционные картины от частиц на основе ванадия, размер которых составлял 100-150 нм. После одного оборота кручением на темнопольных изображениях наблюдали контраст (рис. 2 в, вклейка) от частиц размером 5 нм в теле зерен, которые также могут давать весомый вклад в упрочнение стали. Таких частиц не наблюдали в исходном состоянии, после осадки (N=0), а также после кручения в четверть (N=1/4) и в половину оборота (N=1/2), то есть их появление обусловлено интенсивной пластической деформацией. Мелкодисперсная фаза, вероятно, возникла из-за растворения частиц – нитридов и карбидов, которые в исходном состоянии имели размер 20-30 нм (рис. 2 б).

Микротвердость стали возрастает с ростом степени пластической деформации от 4,1 ГПа в исходном состоянии до 5,1 ГПа после осадки, до 6,5 ГПа поле N=1/4, до 6,3 ГПа после N=1/2 и до 6,2 ГПа после кручения на один оборот. Таким образом, микротвердость стали возросла в 1,5 раза после кручения на один оборот по сравнению с исходным состоянием.

Таким образом, в результате деформации микротвердость стали Х18АГ23Ф3 возрастает от 4,1 ГПа в исходном состоянии до 6,2-6,5 ГПа после кручения (на середине радиуса дисков). Уровень твердорастворного упрочнения в стали сохраняется высоким после деформационных обработок, при этом основными механизмами, определяющими фрагментацию структуры и деформационное упрочнение стали, являются скольжение, двойникование, образование полос локализованной деформации и дисперсионное твердение. Активное развитие механического двойникования способствует деформационному упрочнению за счет создания высокой плотности высокоугловых специальных границ (двойниковых) и препятствует формированию разориентированной зеренно-субзеренной структуры с границами общего типа и, таким образом, способствует однородности структуры и микротвердости по образцу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Valiev R.Z., Islamgaliev R.K., Alexandrov I.V. Prog. Mater. Sci. 45, 103 (2000).

2. Zhilyaev A.P., Langdon T.G. Prog. in Mat. Sci. 53, 893 (2008).

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СВМПЭ - ПА

Нгуен Суан Тьук, Панин С.В., Корниенко Л.А.
Научный руководитель: панин С.В., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
Email: nxthuc1986@gmail.com

RESEARCH ON PROPERTIES OF POLYMERIC COMPOSITIONS BASED ON UHMWPE – PA

Nguyen Xuan Thuc, Panin S.V., Kornienko L.A.
National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin avenue, Tomsk, 634050,Russia
Email: nxthuc1986@gmail.com

Введение

Важной технологической задачей при разработке антифрикционных композитов на основе сверхвысокомолекулярной СВМПЭ-матрицы является поиск совместимых полимерных наполнителей (эластифицирующих добавок) для кратного повышения его триботехнических характеристик [1-3] при одновременном повышении технологичности (экструдируемости) смесей.

В настоящей работе исследованы структура, механические и триботехнические характеристики полимер-полимерных композиций СВМПЭ+n вес.% ПА-б-ЛПЭНП в режиме сухого трения скольжения. Проведено сравнение различных полимерных наполнителей для выбора оптимальных компонент смеси с целью увеличения технологичности СВМПЭ.

Материал и методики исследований

В работе использовали СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн, а также блок-сополимер полиамида с линейным полиэтиленом производства ООО «Новые полимерные технологии» (*ПА-б-ЛПЭНП). Порошок блок-сополимера* был приготовлен из гранул путем механического помола, в результате чего порошинки имели несферическую форму: длина 50-300 мкм, диаметр 50 мкм. Объемные образцы полимерных композитов получали компрессионным спеканием при давлении 10 МПа и температуре 200º С со скоростью последующего охлаждения 3-4ºС/мин. Перемешивание порошков полимерного связующего СВМПЭ и наполнителей (блок-сополимера *ПА-б-ЛПЭНП*) проводили в планетарной шаровой мельнице МР/0,5*4 с предварительным диспергированием компонент в ультразвуковой ванне.

Износостойкость образцов в режиме сухого трения скольжения определяли по схеме «вал-колодка» при нагрузке пару образцов, закрепленных в держателе, 160 Н и частоте вращения вала 100 об/мин на машине трения СМТ-1 в соответствии с ASTM G99 и DIN 50324. Размер образцов равнялся 7*7*10 мм3. Диаметр контртела, выполненного из стали ШХ15, составлял 62 мм.

Шероховатость поверхности трения образцов исследовали на оптическом профилометре Zygo New View 6200. Площадь дорожки трения определяли с помощью программного обеспечения «Rhino Ceros 3.0» путем ручного выделения контура поверхности истирания (дорожки трения) и последующего автоматического расчета с использованием методов обработки изображений.

Результаты исследований

В таблице 1 приведены физико-механические свойства чистого СВМПЭ и композиций СВМПЭ+n вес. % ПА-б-ЛПЭНП. Видно, что предел прочности и удлинение СВМПЭ незначительно изменяются с увеличением содержания блок-сополимера в полимер-полимерной композиции вплоть до 20 вес.%. При этом удельное давление экструдирования P, МПа (пропорциональное показателю текучести расплава) заметно снижается при увеличении доли полимерного наполнителя ПА-б-ЛПЭНП (с 4,67 МПа до 3,12 МПа).

На рис. 1 представлены оптические изображения, характеризующие морфологию разрушенных образцов СВМПЭ и композиций СВМПЭ+n вес. % ПА-б-ЛПЭНП. Видно, что наполнитель полностью совместим с матрицей. В результате удлинения образцов на несколько сот процентов изначально близкие к сферической форме порошинки ПА-б-ЛПЭНП вытянулись совместно с матрицей и приняли форму волокон.

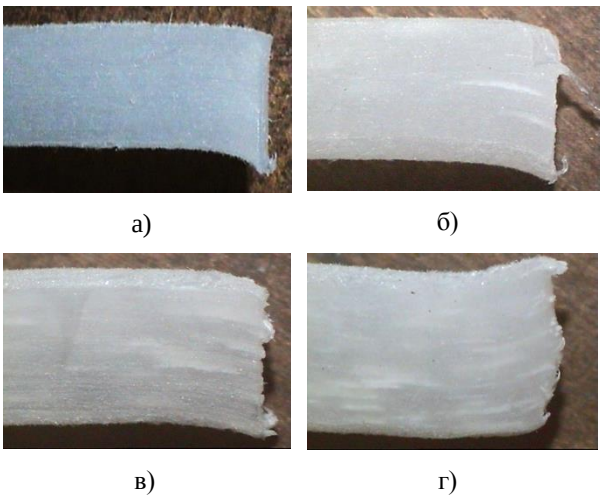


Рис. 1. Морфология разрушенных образцов СВМПЭ (а) и композиций СВМПЭ с 1 (б), 3 (в), 5 (г), 10 (д), 20 вес. % ПА-б-ЛПЭНП (е).

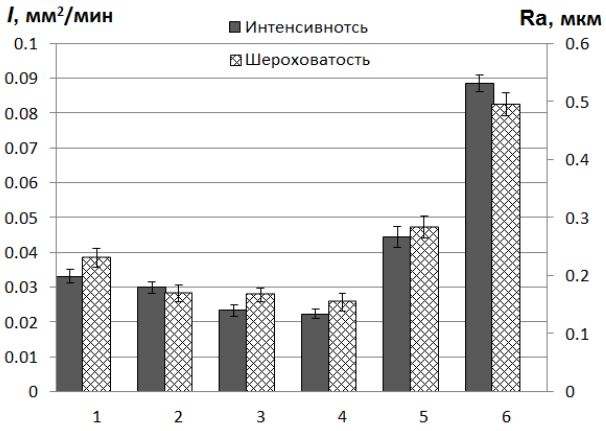


Рис. 2. Интенсивность изнашивания (I) и шероховатость поверхности дорожки трения (Ra)
при сухом трении скольжения образцов СВМПЭ (1)
и композиций СВМПЭ+ПА-б-ЛПЭНП с 1 (2), 3 (3), 5
(4), 10 (5) и 20 вес. % ПА-б-ЛПЭНП (6).

На рис. 2 приведены интенсивность изнашивания и шероховатость дорожек трения композиций, из которых следует, что износостойкость композиций СВМПЭ+n вес. % ПА-б-ЛПЭНП повышается при наполнении матрицы до 5 вес.% сополимера, а затем постепенно снижается. Видно, что наибольшей из-

носостойкостью характеризуется композиция СВМПЭ+5 вес. % ПА-б-ЛПЭНП (в 1,7 раза выше по сравнению с чистым СВМПЭ, столбцы 1 и 4). Минимальной износостойкостью обладает образец, доли наполнителя в котором максимальна – 20 вес.% (в 2,5 раза выше по сравнению с чистым СВМПЭ).

Таблица 1

Механические свойства СВМПЭ с добавкой ПА-б-ЛПЭНП

Содержание наполнителя, вес.% *ПА-б-ЛПЭНП*	Плотность г/см^3	Твердость по Шору *D*	Предел прочн. σ_B,МПа	Удлин. ε,%	Крист χ, %	Коэф. трения *f*	Удельное давл. экстр. Р, МПа
0	0,930	57,45	32,3	485,0	56,5	0,12	4,67
3	0,944	54,25	28.7	483,6	45,7	0,11	4,41
5	0,943	55,35	28,9	488,3	45,1	0,11	4,02
10	0,945	54,12	29,6	485,6	35,8	0,13	3,87
20	0,946	53,77	29,1	507,0	30,8	0,14	3,12

На рис. 3 приведены графики, характеризующие изменение температуры контртела (и образцов) по мере их испытаний. Видно, что для чистого СВМПЭ и композита, содержащего 5 вес.% ПА-б-ЛПЭНП, температура меняется идентичным образом.

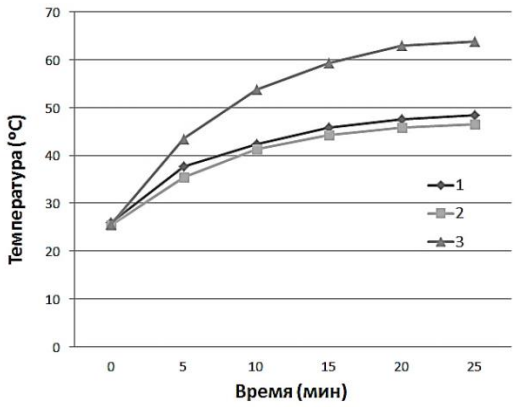


Рис. 3. Изменение температуры поверхности образцов СВМПЭ (1)
и композиций СВМПЭ+5 вес.%ПА-б-ЛПЭНП (2),
СВМПЭ+20 вес.%ПА-б-ЛПЭНП (3) при сухом трении скольжения

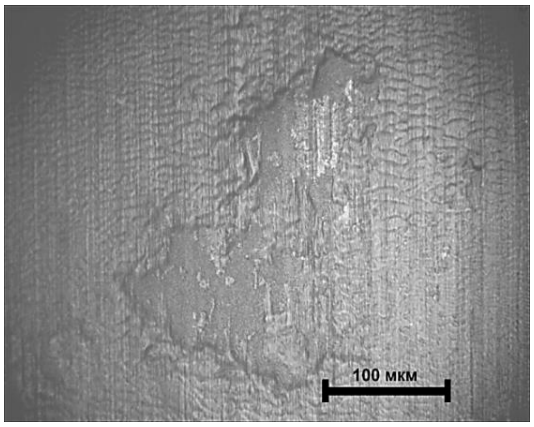


Рис 4. поверхность образца СВМПЭ+20 вес.
%ПА-б-ЛПЭНП после окончания испытаний на сухое трение (б).

В случае же содержания полимерного наполнителя 20 вес.% температура повышается примерно на 20°С. Это не может не сопровождаться дополнительным нагревом образцов. На рис. 4 видно, что область, примыкающая к частице наполнителя, расплавляется и гофрирует. Именно это и должно являться причиной резкого снижения сопротивления изнашиванию композита, в состав которого входит компонент ПА, обладающий температурой плавления существенно выше, чем СВМПЭ-матрица.

Заключение

Механические свойства образцов полимерной смеси СВМПЭ+ n вес. % *ПА-б-ЛПЭНП* (прочность, удлинение) слабо изменяются по сравнению с чистым СВМПЭ при значительном увеличении показателя текучести (снижении удельного давления экструдирования). Введением 5 вес.% блок-сополимера *ПА-б-ЛПЭНП* удалось повысить износостойкость полимер-полимерной композиции в 1,7 раза за счет модификации надмолекулярной структуры исходной полимерной матрицы, включая «вмораживание» порошинок СВМПЭ в частицы полимерного наполнителя.

Механизм повышения износостойкости подобен таковому для образцов смеси СВМПЭ+ПП-б-ЛПЭНП. Показано, что при высокой степени наполнения СВМПЭ частицами ПА-б-ЛПЭНП наблюдается дополнительный нагрев пары трения, в результате чего интенсифицируются процессы плавления и износостойкость снижается более чем в 2 раза по сравнению с чистым СВМПЭ.

Список литературы

1. Myshkin N.K., Petrokovets M.I., Kovalev A.V. Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear and mass-transfer // Tribology International. – 2005 (38), 910-921.

2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учебн. пособие/ Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. и др., под ред. А.А. Берлина.- СПБ.: Профессия, 2008.- 560 с.

3. Steven M. Kurtz. The UHMWPE handbook: ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement. Academic press, – 2004, 379 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННОПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЬ 65Х13

Папченко А.В., Ваулина О.Ю., Тогина Д.А.
Научный руководитель – Ваулина О.Ю., к.т.н.
Россия, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30, Томский политехнический университет,
volgay@tpu.ru

INVESTIGATION OF ION-PLASMA COATINGS ON STEEL 65X13

Papchenko A.V., Vaulina O.Yu., Togina D.A.
Tomsk Polytechnic University, Institute of High Technologies
volgay@tpu.ru

This paper presents the investigation of the effect of ion-plasma coatings on the properties of steel 65X13. The main functional properties of the coating: microhardness, nanohardness, Young's modulus and corrosion resistance were examined. It is shown that all types of coatings can improve the physical and mechanical characteristics of tool steel 65X13.

Введение

Для повышения механических характеристик в настоящее время все чаще используют покрытия и напыления. Этот механизм повышения стойкости к износу и коррозии предпочтителен, нежели использовать дорогостоящие легированные стали [1].

Легированные стали достаточно дорогие, их стараются использовать для ответственных деталей. Для инструмента все же рекомендуют покрытия и напыления, чтобы снизить стоимость изделия (легирующих дорогих материалов используются гораздо меньше). В работе рассмотрен метод ионноплазменного напыления азотистых покрытий на инструментальную сталь [2].

Материалы и методы исследования

Поверхность образцов готовили шлифовкой, доводили до блеска полировкой. Поверхность образцов насыщали азотом (N) и послойно нитридом титана и нитридом циркония (TiN+ZrN) – восемь слоев в условиях внедренческо – производственной фирмы ООО «Композиционные покрытия» г. Томска. Интересны в исследовании были многослойные покрытия (TiN+ZrN – 8 слоев), где «твердый слой – TiN» будет отвечать за твердость и высокую износостойкость, а «мягкий - ZrN» за релаксацию напряжений [2, 3].

Металлографические исследования проводили на металлографическом микроскопе ЛабоМет–И. Нанотвердость поверхности была измерена на наноинденторе MTS G200. Микротвердость по толщине образца измеряли на микротвердомере ПМТ-3М. Испытания на износ проводили на стандартной лабораторной установке.

Результаты исследования

Исследования проводили на инструментальной стали 65Х13. Структура в исходном состоянии (состоянии поставки) представляет собой зернистый перлит с включениями карбидов. Средняя микротвердость составляла 220…240 Н/мм^2.

Микротвердость образцов, с нанесенными покрытиями измеряли на торцевой поверхности от поверхности к сердцевине образца, по несколько дорожек для одного покрытия. Графики зависимости

микротвердости по глубине образца приведены на рис. 1. Для напыляемых композиций видно, что насыщенный поверхностный слой обладает микротвердостью больше, чем сердцевина в 1,5 и более раз. Микротвердость напыленного слоя составляет от 320 Н/мм^2 для азотированных образцов и до 420 Н/мм^2 для образцов с многослойным покрытием, снижается на расстоянии 400…600 мкм к сердцевине до 200…220 Н/мм^2. Таким образом, микротвердость увеличилась от 1,5 (для N-покрытий) до 2-х раз (для (TiN+ZrN) – покрытия (восемь слоев)) в сравнении с микротвердостью исходной стали. Характер переходной зоны имеет плавный переход от упрочненного слоя к основному металлу. Толщина модифицированного слоя во всех случаях примерно одинаковая ~ 500мкм.

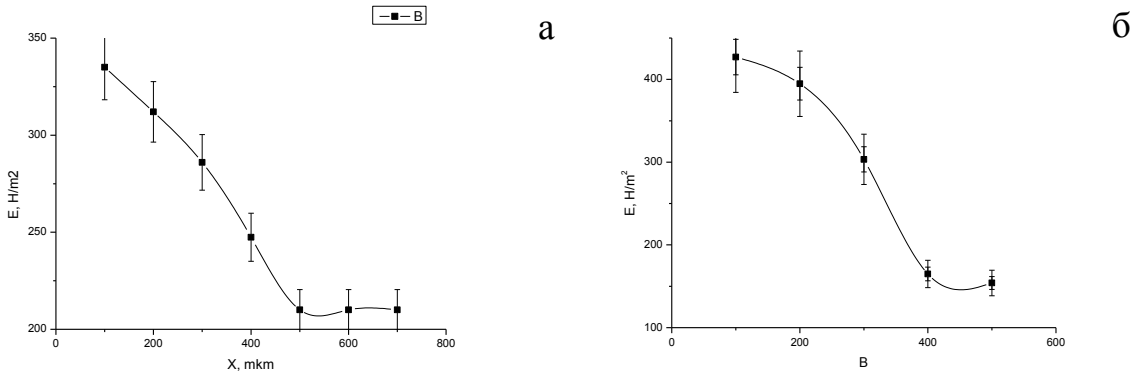


Рис.1. Зависимость микротвердости (Е) по толщине образцов с покрытиями (х):
а — N; б – TiN+ZrN

Измерения твердости тонкого поверхностного слоя при малых нагрузках для всех образцов проводили на наноиндентере MTS G200. Для каждого покрытия сделано несколько измерений, построены зависимости нанотвердости от силы проникновения индентора (рис. 2).

Технология определения нанотвердости также позволяет автоматически рассчитать модуль Юнга, который характеризует свойства материала сопротивлению упругой деформации. Полученные значения средней нанотвердости и значения модуля Юнга представлены в сводной табл. 1. Видно, что наибольшей нанотвердостью обладают образцы с многослойными покрытиями.

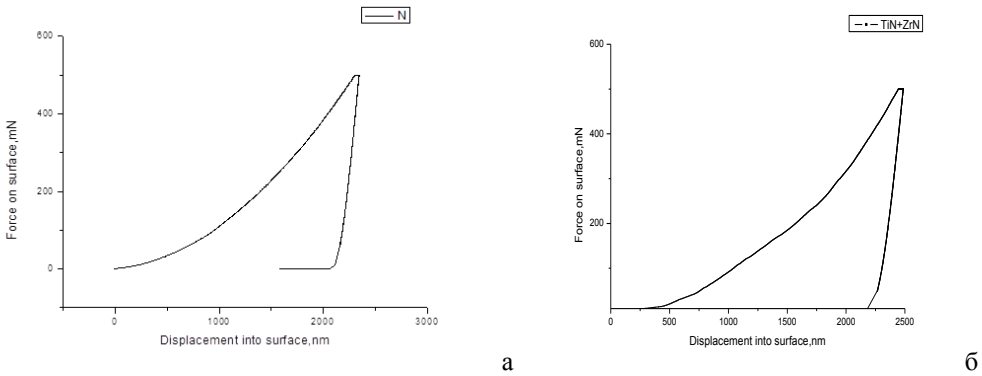


Рис. 2. Графики зависимости нанотвердости от силы проникновения индентора в образец:
а – N; б – TiN+ZrN

Таблица 1.

Сводные результаты, полученные в ходе исследований

Материал	$E_{ср}$, Н/мм^2	$H_{ср}$, Н/мм^2	$K_и$	h_i
65Х13	232024	4066	1.1	0,33
N	232111	4352	1.3	1,92
TiN+ZrN	**235983**	**5935**	**4,2**	**0,03**
($E_{ср}$ – модуль Юнга; $H_{ср}$ – средняя нанотвердость; $K_и$ – относительный износ; h_i – относительное изменение массы в результате коррозии через Δt_i=60мин)				

Испытания на стойкость к коррозии проводили в 10%-растворе азотной кислоты в воде. Схема испытания: окунание и выдержка в атмосфере. Испытания азотистых покрытий на коррозионную стойкость проводили согласно ГОСТ 9.308-85. Полученные результаты отражены в сводной табл.1.

Нержавеющая сталь 65Х13 из исследованных материалов показала средние коррозионные свойства между азотированными образцами и образцами со сложным покрытием. Исходная инструментальная сталь известна высокой коррозионной стойкостью в разных коррозионных средах, в том числе и в растворах азотной кислоты [3]. Лучший результат коррозионных испытаний показало многослойное покрытие TiN+ZrN, которое за общее время коррозионных испытаний практически не потеряло массу. Азотированные образцы показали коррозионную стойкость в водном растворе азотной кислоты несколько ниже исходной стали (табл.1).

Износостойкость на абразивное изнашивание материала в работе определяли при трении о нежестко закреплённые абразивные частицы. Дорожки износа азотированных образцов демонстрируют схожий характер с исходной сталью. Поверхность дорожек имеет «ручеестое» строение, обладает металлическим блеском, что характерно хрупкому излому. Дорожки износа для TiN+ZrN-покрытий отличаются от выше описанных: обнаруживается характерное "чашечное" строение, матовый характер без металлического блеска, что присуще вязкому излому, это объясняется наличием в этих покрытиях пластичных составляющих.

Полученные результаты испытаний на износостойкость представлены в виде гистограмм на рис.3 и в табл. 1. Видно, что лучшие результаты на износостойкость показало сложное восьмислойное покрытие TiN+ZrN.

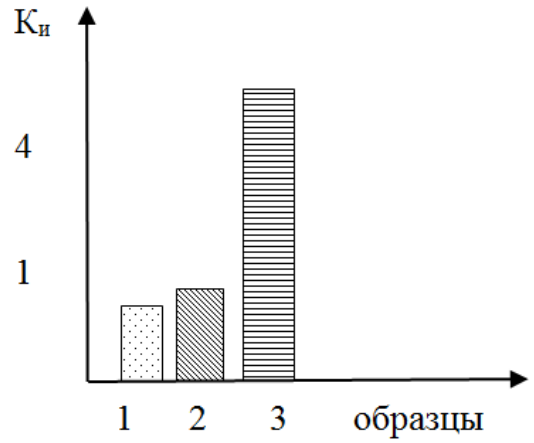


Рис. 3. Коэффициент износостойкости (Ки) исследуемых образцов: 1 – 65Х13, 2 – азотированный; 3 – TiN+ZrN (8 слоев)

Заключение

Возможные пути повышения твердости, износостойкости и коррозионной стойкости инструментальных материалов за счет легирования имеют существенный недостаток в связи с дефицитом и дороговизной легирующих элементов и в значительной мере исчерпали свои возможности. В работе показано, что применение новых прогрессивных технологий ионно-плазменного нанесения покрытий может существенно повысить служебные характеристики инструментальных материалов и получить значительный экономический эффект.

В работе исследовали покрытия N и многослойное – TiN+ZrN(8 слоев), нанесенные на сталь 65Х13 ионно-плазменным методом. Установлено, что азотирование и ионоплазменное многослойное покрытие позволяют повысить физико-механические характеристики инструментальной стали 65Х13 в несколько раз. Лучшие значения эксплуатационных свойств показало сложное покрытие TiN+ZrN(8 слоев). Хуже проявили себя азотированные образцы.

Список литературы:

1. В.П. Табаков, А.В. Чихранов. Определение механических характеристик износостойких ионно-плазменных покрытий на основе нитрида титана // Изв. Самарского НЦ Росс.академии наук, т. 12, №4, 2010. – С.292-297.

2. А.В. Циркин Разработка многослойного покрытия для торцовых фрез //Вестник Ульяновского государственного технического университета (Вестник УлГТУ). - 2003. - № 3 - 4. - С. 33 - 35.

3. В.Ю. Васильев, Ю.А.Пустов. Коррозионная стойкость и защита от коррозии металлических, порошковых и композиционных материалов. Учебное пособие - Москва: МИСиС. - 2005.- 130 с.

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ И ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Пшеничный А.Д., Саблина Т.Ю., Севостьянова И.Н., Савченко Н.Л.
Научный руководитель: Кульков С.Н., профессор, д.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, Томский государственный университет, ИФПМ СО РАН
Россия, г.Томск, пр. Ленина 30, 634050
E-mail: adpshenichny@gmail.com

INFLUENCE OF POROSITY ON THE FRACTURE BEHAVIOR OF CERAMICS BASED ON ZIRCONIA AND ALUMINA

Pshenichny A.D., Sablina T.U., Sevostyanova I.N., Savchenko N.L.
Scientific Supervisor: Prof. Dr. Sc. (Phys.-Math.) Kulkov S.N.
Tomsk Polytechnic University, Tomsk State University, ISPM SB RAS
Russia, Tomsk, Lenin str. 30, 634050
E-mail: adpshenichny@gmail.com

Annotation. *In this paper we study the behavior under compression and shear deformation of the porous ceramic alumina (porosity in the range of 18 to 70%) and from ZrO_2 – 3 weight % MgO (porosity in the range 10 to 60%). Analysis of the stress-strain curves shows that there is a transition from the typically brittle to relatively dense ceramics to pseudo-plastic with a high level of porosity.*

Известно, что увеличение пористости хрупких материалов ведет к снижению значений прочностных и упругих свойств, таких как предел прочности при сжатии, модуль Юнга, модуль сдвига [1]. В зависимости от объема порового пространства макроскопическое поведение керамических материалов может меняться от хрупкого до квазипластичного [2]. Поэтому исследование эволюции повреждений в объеме пористого хрупкого материала на разных масштабных уровнях и последующего разрушения в зависимости от скорости деформирования, стесненности деформации и др. представляет значительный интерес с точки зрения возникновения иерархии структур деформации и разрушения в подобных хрупких материалах (керамиках, горных породах).

Цель настоящей работы – изучение взаимосвязи между пористостью, прочностью, эффективными модулями Юнга и сдвига, измеренными в процессе механического нагружения при сжатии и сдвиге и модулями, измеренными ультразвуковым методом, анализ формирующихся структур при разрушении в керамике из оксида алюминия и диоксида циркония.

В исследуемых интервалах пористости значения предела прочности при сжатии (рис.1,*а*), а так же эффективные модули упругости и сдвига (рис.1,*б,в*) образцов обоих составов уменьшаются с увеличением пористости. Все полученные зависимости от пористости на рис.1 хорошо описываются по закону, близкому к экспоненциальному однако определение абсолютных значений коэффициента Пуассона в процессе механических испытаний оказалось проблематичным, поскольку вследствие высокой пористости экспериментальная ошибка составляла величину порядка ± 0.3.

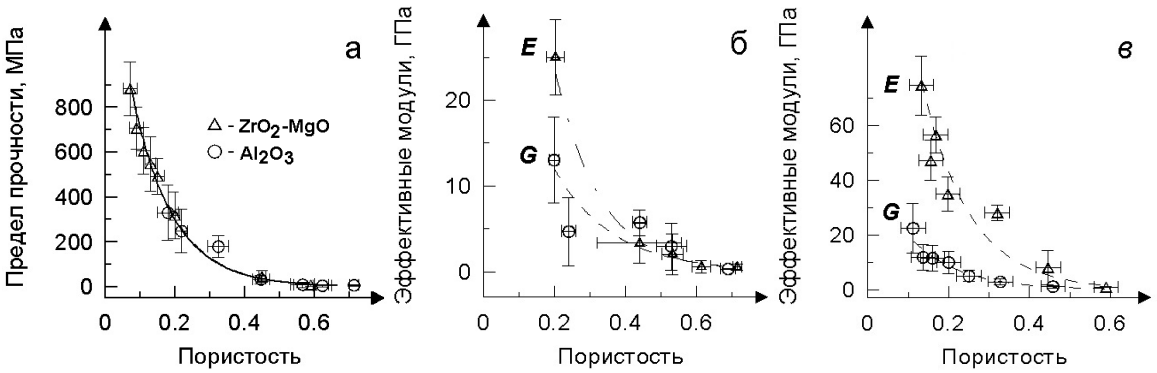


Рис 1. Зависимость значений: (а) предела прочности при сжатии для образцов ZrO_2-MgO и Al_2O_3; (б,в) эффективных модулей упругости (E) и сдвига (G) от объёма порового пространства образцов из оксида алюминия (б) и диоксида циркония (в).

Вместе с тем, как видно из рис.2,*б,в*, с увеличением пористости происходит сближение абсолютных значений эффективных модулей упругости и сдвига, что говорит об уменьшении значений коэффициента Пуассона во всём изученном диапазоне пористости.

Структура пор образцов керамики обоих составов при низких температурах спекания наследует структуру исходного порошка, а при увеличении температуры, вместе со снижением объема порового пространства, происходит увеличение среднего размера пор, обусловленное объединением мелких пор в крупные изолированные поры.

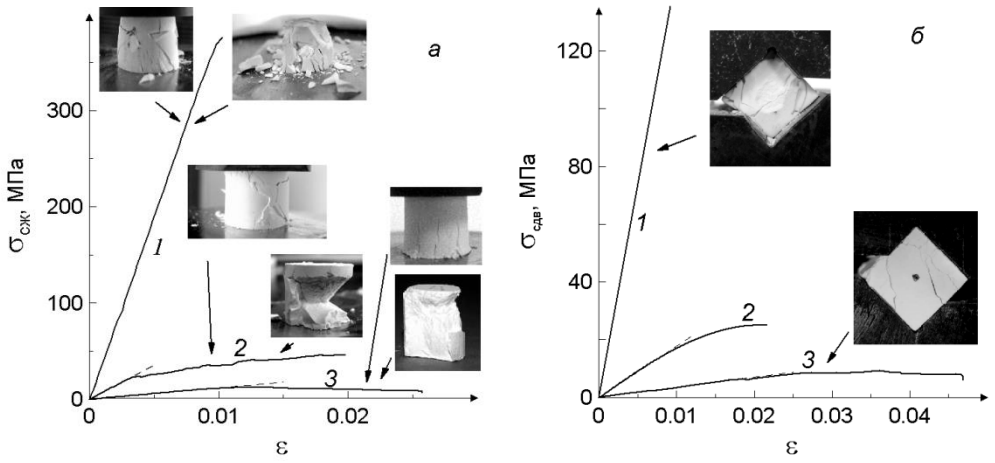


Рис 2. Диаграммы "напряжение – деформация" и макрофотографии образцов Al_2O_3, полученные после испытаний: (а) на сжатие для Al_2O_3 с пористостью: 20% (кривая 1), 50% (кривая 2) и 65 % (кривая 3); (б) на сдвиг для Al_2O_3 с пористостью: 20% (кривая 1), 50% (кривая 2), 70 % (кривая 3)

Сравнение диаграмм «σ–ε» и вида разрушенных образцов после испытаний на сжатие (рис.2), полученных при испытаниях керамики с разным уровнем пористости, показало, что вид диаграмм нагружения и характер разрушения образцов керамики зависит от объёма их порового пространства. Для образцов Al_2O_3 с пористостью 10-30% деформационные кривые представляют собой линейные зависимости, вплоть до множественного разрушения материала, (рис.2,а, кривая 1). Увеличение пористости более 30% приводит к отклонению от линейности перед разрушением (рис. 2,а, кривые 2,3).

На рисунке 2,*а* у кривой 2 показаны макрофотографии образцов Al_2O_3 с пористостью около 50% после испытаний на сжатие. Видно, что на боковой поверхности цилиндрических образцов сформировались трещины, расположенные под углом около 45° к направлению оси приложенной нагрузки. В объеме таких образцов после сжатия формируется зона разрушения в виде усеченного конуса с углом раствора около 90°, при этом основание конуса лежит практически в плоскости неподвижного захвата. Процесс деформации образцов Al_2O_3 с пористостью 50–70 % сопровождается появлением на боковой стороне множества трещин, направленных преимущественно параллельно оси нагрузки (рис. 2,*а, у кривой 3*). При этом диаметр основания формирующегося конуса в объеме разрушившегося образца был меньше, по сравнению с более плотной керамикой, а угол раствора конуса составлял примерно ту же величину.

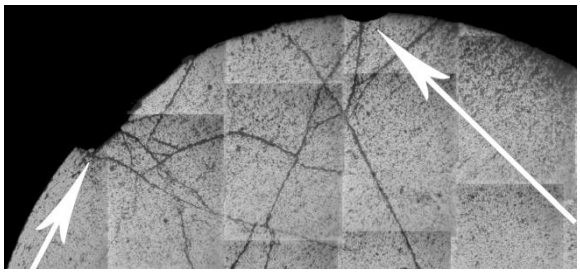


Рис 3. Фрагментация трещинами образца Al_2O_3 после испытания на сжатие.

Для керамики ZrO_2-MgO после испытаний на сжатие вид диаграмм *«σ–ε»* для образцов с разным уровнем пористости был в целом подобен кривым для образцов оксида алюминия. Основное отличие в деформационном поведении ZrO_2-MgO состояло в том, что переход от типично хрупкого состояния для относительно плотной керамики до псевдо-пластичного при высоком уровне пористости осуществлялся при меньшем уровне пористости (около 20%). В объеме образцов ZrO_2-MgO формировались примерно такие же зоны разрушения, как в случае керамики из Al_2O_3, но формирующиеся в объеме зоны разрушения в виде усеченных конусов имели заметно меньший угол раствора - около 60°. Исследования микроструктуры образцов керамики после испытаний на сжатие показали, что после разрушения керамики обоих составов при малых пористостях их структура была фрагментирована макротрещинами, формирующимися от крупных дефектов (рис. 3, указаны стрелками), расположенных в углах цилиндрических образцов. Структура образцов при больших значениях пористости содержит множественные микротрещины.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке МОН РФ, соглашение №14.607.21.0069-RFMEFI60714X0069.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ren F., Case E.D., Morrison A., Tafesse M., Baumann M.J. Baumann Resonant ultrasound spectroscopy measurement of Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio as a function of porosity for alumina and hydroxyapatite //Philosophical Magazine. -2009. -V. 89. -T.14. -P. 1163–1182.

2. Стефанов Ю.П. Режимы дилатансии и уплотнения развития деформации в зонах локализованного сдвига // Физ. мезомех. – 2010. - Спец выпуск 13. - С.44-52.

3. Григорьев М.В., Кульков С.Н. Фазовый состав, структура и удельная поверхность порошковых систем на основе корунда различной дисперсности //Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2009.- Т.3. - № 2. – С. 294-300.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НИТРИД-, КАРБИДКРЕМНИЕВОЙ КЕРАМИКИ (Si3N4-SiC)

Рыгин А.В.

Научный руководитель: Воронова Г.А., к.х.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: alexander.rygin@gmail.com

PROSPECTS OF COMPOSIDE SILICON NITRIDE, SILICON CARBIDE CERAMICS (Si_3N_4-SiC) APPLICATION

Rygin A.V.

Scientific Supervisor: Voronova G.A.,

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: alexander.rygin@gmail.com

Abstract. *Nitride and silicon carbide are widely used in many branches of industries. The composite material based on it have special strength characteristics and resistance to aggressive conditions. In this paper reviewed carbide-, silicon nitride material obtain self-propagating high-temperature synthesis method and investigation of its properties.*

Введение. *Известно, что карбид и нитрид кремния обладают свойствами, которые позволяют использовать данные материалы в химически агрессивных средах. Также эти материалы обладают высокими параметрами прочности, твердости и теплопроводности присущими безоксидной керамике. Особенности карбида и нитрида кремния позволяют изготавливать абразивные и режущие изделия, получать конструкционную керамику, защитные покрытия, применять в качестве носителей металлических катализаторов [1].*

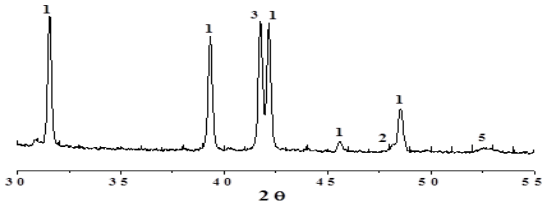
Работы, посвященные получению индивидуальных карбида кремния [2,3] и нитрида кремния [4,5] методом фильтрационного твердопламенного горения свидетельствуют о высокой перспективности данного метода в получении материала на их основе. В представленной работе исследовалась возможность применения смешанного нитрид-, карбидкремниевого материала (Si_3N_4-SiC) в качестве носителя серебряного катализатора каталитического парофазного окисления этиленгликоля в глиоксаль.

Экспериментальная часть. Нитрид-, карбидкремниевый материал (Si_3N_4-SiC) получен в ходе фильтрационного твердопламенного горения порошковой смеси кремний-шунгит в атмосфере азота в ОСМ ТНЦ СО РАН [4]. Полученный спек измельчался для получения гранул в диапазоне размеров 1,0-2,5 мм. Удельная поверхность Si_3N_4-SiC, измеренная методом БЭТ по низкотемпературной адсорбции азота, незначительна и не превышает 3 $м^2$/г. Измеренная влагоемкость гранул составила 0,75 мл/г.

Нанесение серебра на поверхность носителя проведено путем химического осаждения из водного раствора нитрата серебра $AgNO_3$ из расчета влагоемкости гранул. Раствор нитрата серебра был приготовлен из расчета 5 % мас. металла от общей массы каталитической системы. Гранулы нитрид-, карбидкремниевого материала Si_3N_4-SiC были пропитаны раствором нитрата серебра с учетом влагоемкости гранул. Для удаления лишней влаги проведена сушка при комнатной температуре в течении 3 суток. Разложение нитрата серебра до металлического дисперсного серебра на поверхности нитрид-, карбидкрем-

ниевого носителя произведено путем прокаливания в печи при температуре 400˚ С в течение 2 ч и последующим охлаждением на воздухе.

Результаты. Данные рентгенофазового анализа приведены на рис. 2. Количественный анализ образца показывает, что на 74,1 % мас. продукт состоит из β-Si_3N_4.



Фаза	Содержание, % мас.
β-Si_3N_4	74,1
α-Si_3N_4	3,9
SiC	22,0

Рисунок 2 – Рентгенограмма полученного материала Si_3N_4-SiC *и фазовый состав: 1 – β-Si_3N_4; 2 – α-Si_3N_4; 3 – SiC; 4 – α-Fe.*

Содержание карбида кремния SiC составляет 22,0 % мас., что свидетельствует о высокой степени карбидообразования. Обработка данных проводилась без учета примесей (α-Fe), т.к. их содержание не превышает 1%.

На рис. 3 приведены изображения, полученные методом сканирующей электронной микроскопии на сканирующем электронном микроскопе JEOL JCM-6000. Структура имеет преимущественно игольчатую форму, также присутствуют кристаллы пластинчатой формы.

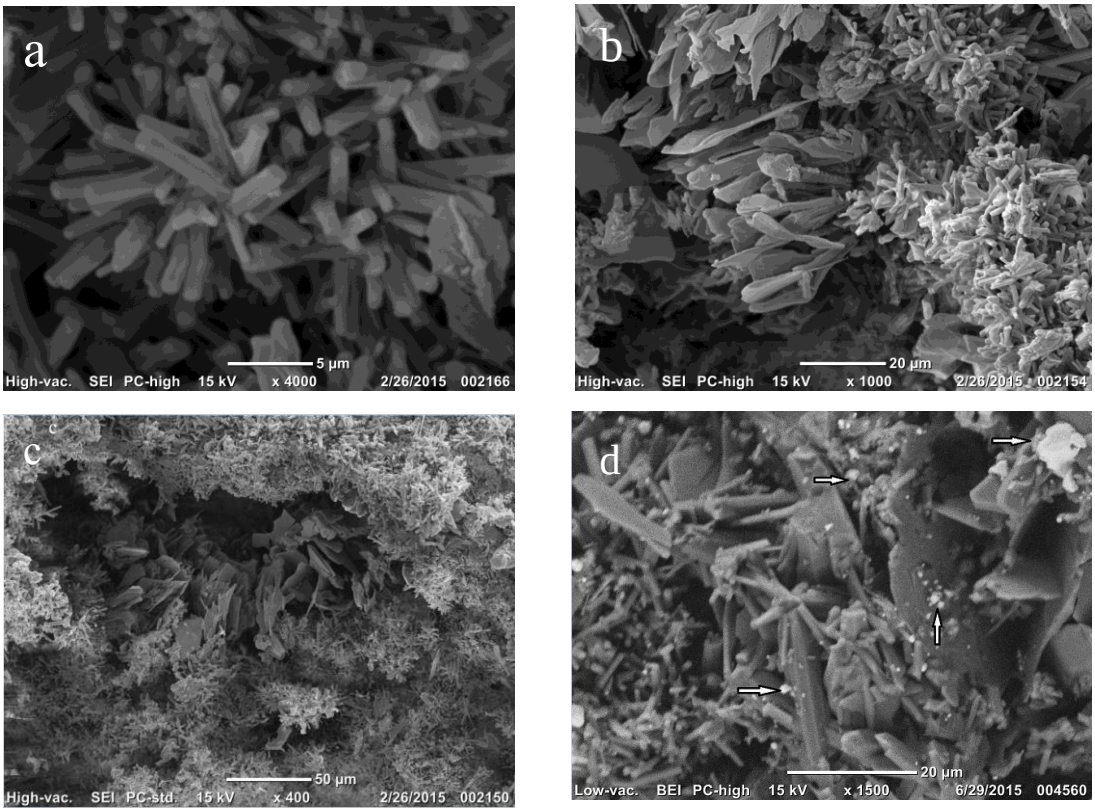


Рисунок 3 – РЭМ изображения поверхности Si_3N_4-SiC (a, b, c)*; d – поверхности серебряного катализатора Ag/ Si_3N_4-SiC. Стрелками указаны частицы серебра, распределенные по поверхности Si_3N_4-SiC*

На рис. 3 (c) видно, что частицы активного компонента (Ag) равномерно распределены по поверхности носителя. Средний размер частиц серебра ~ 90 нм. Каталитическая активность системы Ag/Si_3N_4-SiC исследована в процессе газофазного окисления этиленгликоля (ЭГ) в Лаборатории катали-

тических исследований ТГУ. В общей сложности процесс проводился непрерывно в течение 20 часов при колебании температур от 510 до 605^{o} С, что может говорить о высокой термической устойчивости системы. Стоит отметить, что не происходит унос частиц серебра с поверхности и спекание частиц (рис. 4), равномерность распределения сохраняется. Средний размер частиц серебра после катализа увеличился и составил ~110 нм.

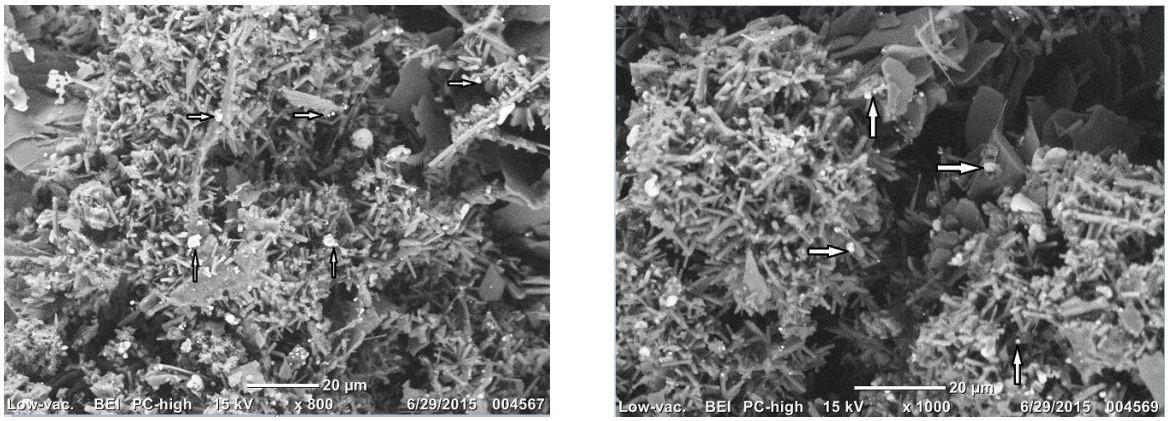


Рисунок 4 – РЭМ изображения поверхности серебряного катализатора Ag/ Si_3N_4-SiC после катализа. Стрелками указаны частицы серебра, распределенные по поверхности Si_3N_4-SiC

Селективность расходования ЭГ в ГО не превышает 2,74 %, прямое использование системы Ag/Si_3N_4-SiC в процессе нецелесообразно. Однако наблюдения показали, что процесс легко управляемый в широком диапазоне температур, температура и высота «горячей точки» стабильны, что является преимуществом системы (по сравнению с используемыми промышленными катализаторами) и может быть использовано в комплексе с промышленным катализатором для разогрева реакционной смеси перед основной реакцией. Стабильность работы системы Ag/Si_3N_4-SiC дает возможность предложить ее использование в качестве «зажигающего» слоя над слоем промышленного катализатора.

Выводы. Система Si_3N_4-SiC исследована в качестве носителя Ag катализатора. Способ нанесения Ag обеспечивает равномерное распределение частиц Ag со средним размером ~ 90 нм по поверхности Si_3N_4-SiC. Низкая селективность (2,74 %) не позволяет использовать катализатор в процессе окисления ЭГ в ГО индивидуально. Катализатор показал высокую термическую стабильность в течение 20 ч испытаний, что говорит о перспективности использования системы в качестве верхнего «зажигающего» слоя над слоем промышленного катализатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Properties and Applications of Silicon Carbide / R. Gerhardt. Ed. N.Y.: InTech, 2011.
2. Mukasyan A.S., Lin Ya-C., Rogachev A.S., Moskovskikh D.O. Direct Combustion Synthesis of Silicon Carbide Nanopowder from the Elements // Jour. of the Am. Cer. Soc. – 2013. - № 96 (1). – p. 111-117.
3. Московских Д.О., Мукасьян А.С., Рогачев А.С. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нанопорошков карбида кремния // Доклады академии наук. Физическая химия. – 2013. – Т. 449. – № 2. – с. 176-179
4. Vodyankina O.V., Blokhina A.S., Kurzina I.A., Sobolev V.I., Koltunov K.Yu., Chukhlomina L.N., Dvilis E.S. Selective oxidation of alcohols over Ag-containing Si3N4 catalysts // Catalysis Today. – 2013. – p. 127-132.
5. Chukhlomina L.N., Vitushkina O.G., Vereshcagin V.I. Self-propagating high-temperature synthesis if silicon-nitride ceramic mix using ferro-silicon and ilmenite // Glass and ceramics/ - 2011. - № 67 (9-10). – p. 277-280.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВСПУЧИВАНИЯ ВЕРМИКУЛИТА

Советов В.А., Ендживская И.Г., Василовская Н.Г.
Научные руководители: Василовская Н.Г., к.т.н, профессор; Енджиевская И.Г., к.т.н., доцент
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»,
Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, 660041
E-mail: valentinsovetov@yandex.ru

OPTIMIZATION OF VERMICULITE EXFOLIATION PROCESS

Sovetov V.A., Endzhivskaya I.G., Vasilovskaya N.G.
Scientific Supervisors: Prof., Ph.D. Vasilovskaya N.G.; Associate Prof. Ph.D. Endzhivskaya I.G.
Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny pr., 79, 660041
E-mail: valentinsovetov@yandex.ru

The article describes a method of studying the kinetics of vermiculite exfoliation, which allows to select the optimal mode of firing for the manufacture of various types of construction materials on the basis of exfoliated vermiculite.

Одной из задач государственной программы «Энергоэффективность и развитие энергетики» является развитие энергосбережения и повышение энергоэффективности. Одним из возможных путей решения этой актуальной задачи является создание и применение эффективных теплоизоляционных строительных материалов неорганического происхождения. Помимо хорошей теплоизоляционной способности, они должны обладать еще рядом важнейших качеств таких, как экологичность, огнезащита, звукоотражение и звукопоглощение и др. Применяя вспученный вермикулит, можно добиться решения большинства указанных проблем.

Инаглинский (Якутский) вермикулит является побочным продуктом при добыче хромдиопсида и вывозится во внешние отвалы. Поиск путей применения его в производстве ТИМ имеет большое практическое значение, решая одновременно экологические проблемы. Изучение свойств руды показало, что по своим свойствам и физико-механическим характеристикам вспученный вермикулит, полученный из отвалов Инаглинского месторождения, имеет хорошие теплофизические характеристики и показатели вспучивания.



Рис. 1 Общий вид

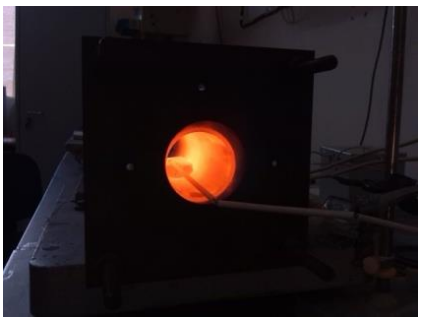


Рис. 2 Кварцевая печь

Первоначальной задачей являлся подбор оптимального теплового режима вспучивания вермикулита. На каждом предприятии достижение оптимального режима производства является одной из главных задач. От правильного заключения каждого технологического передела в свои временные рамки зависит общая производительность. Поэтому изучалась продолжительность вспучивания вермикулита. Раскрытие этого вопроса поможет подобрать наиболее продуктивный режим тепловой обработки.

Кинетика вспучивания изучалась в лабораторных условиях в открытой трубчатой кварцевой печи, разогретой до необходимой температуры эксперимента (Рис.1, 2). При этом за счет того что печь открытого типа, имелась возможность фотофиксации процесса, а также беспрепятственного помещения и удаления образцов из области вспучивания

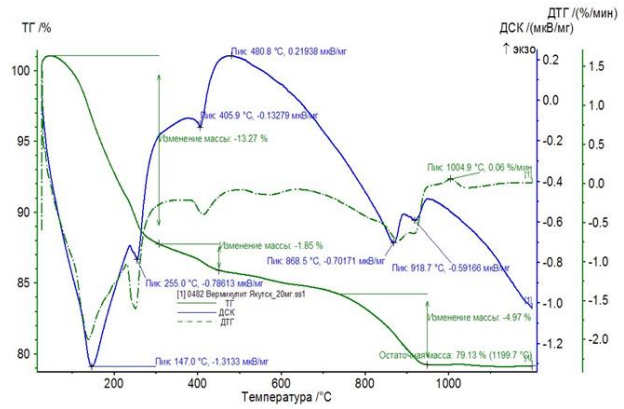


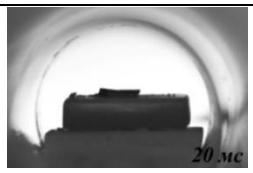
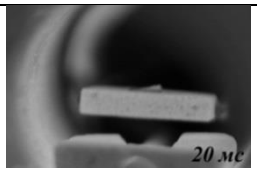
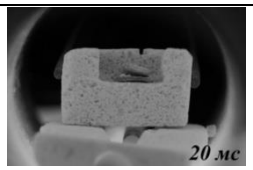
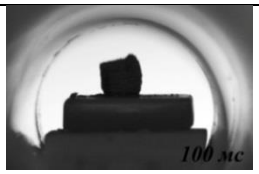
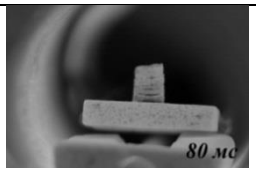
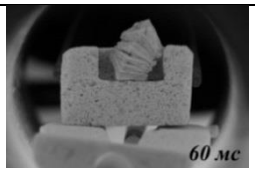
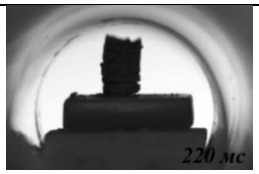
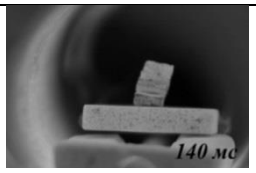
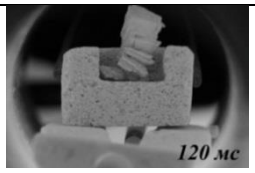
Рис. 3 Дериватограмма образца Инаглинского вермикулита

Общая потеря воды в Якутском вермикулите около 20%, поэтому вспучивание данного вермикулита будет весьма интенсивным. Минимальная температура вспучивания 950^{o}C выбрана по результатам дифференциально-термического анализа (Рис. 3), что связано с фазой выделения конституционной воды (при температурах 710-950^{o}C), в основном вспучивающей вермикулиты, дальнейший шаг подъема температуры 50^{o}C.

Для получения объективных результатов исследования повторялись многократно при выбранных температурах. Весь процесс фиксировала фотокамера с частотой съемки 3 кадр/с.

Таблица 1

Динамика вспучивания вермикулита

Температура 950ºC	Температура 1000ºC	Температура 1050ºC
		
		
		

Как можно видеть из фотоснимков в таблице 1, при температуре 950^{o}C, пластинки слюды еще поддерживают свою плоскостную форму, что увеличивает прочность их связей. Увеличение температуры вспучивания, т.е. интенсивности, приводит к потере плоскостной формы частиц слюды (короблению). В результате пластинки слюды отрываются по большей части своей площади с сохранением связи на выпуклостях деформированных пластинок.

При температуре 1000^{o}C вспучивание происходит более интенсивно, но вследствие мгновенно образующегося водяного пара наблюдается некоторое коробление «листочков» - пластинок вермикулита, несколько уменьшается площадь контакта их друг с другом. Поэтому структура получается менее прочная, и менее плотная, но позволяет получить материал с более низкими показателями теплопроводности.

Вспучивание при температуре 1050^{o}C происходит практически мгновенно, в течение 2 секунд. Вследствие такого теплового удара пластинки вермикулита раздвигаются на значительное расстояние друг от друга, теряют площадь контакта из-за сильного короблення, что приводит к существенной потере

структурной прочности, но позволяет получить материал с низкими показателями плотности и теплопроводности.

После получения фотоснимков процесса вспучивания определенного количества образцов, результаты обрабатывались при помощи ЭВМ. В программе обработки фотоизображений покадрово замерялась высота вермикулитового образца в процессе вспучивания в трех местах и вычислялось среднее значение $h_{ср}$ для данного момента времени. При этом среднее значение высоты (толщины) зерна в первоначальный момент времени являлось h_0. Для построения зависимости увеличения размера вермикулитового зерна от времени, для каждого снимка, сделанного с определенным интервалом, определялось $\Delta h=h_{ср}-h_0$. По полученным данным строились графики кинетики вспучивания образцов в осях «Δh – время».

Единицы измерения могут быть различными в зависимости от выбранной дискретности времени фотофиксации и предпочитаемых единиц измерения высоты. Для построения графиков кинетики вспучивания и сравнения их динамики достаточно условных единиц измерения в программе обработки фотоизображений, поскольку здесь главную роль играет Δh, т.е. разница значений. Переход к реальным единицам измерения можно осуществить, предварительно измерив геометрические размеры образца. Затем поместить его в место вспучивания и произвести фотосъемку с камеры расположенной на расстоянии, с которого будет производиться фиксация во время эксперимента. Сопоставив условные единицы измерения программы обработки фотоизображений и реальные геометрические размеры образца, можно получить переводной коэффициент.

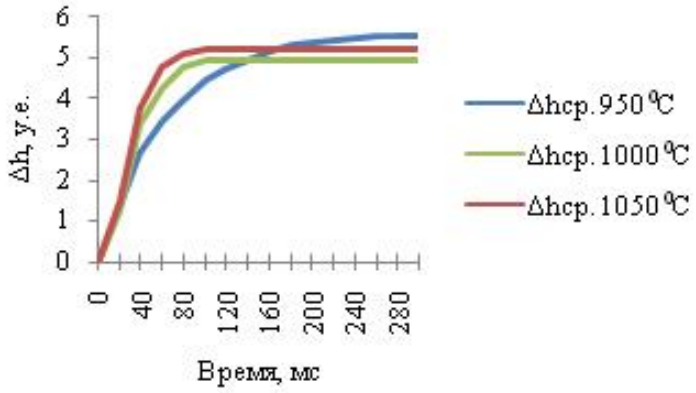


Рис. 4 Усредненные графики вспучивания

На рисунке 4 представлены усредненные зависимости Δh – время для температур 950°С, 1000°С, 1050°С по результатам вспучивания большого количества образцов (от 15 до 20).

Проведенные исследования позволят выбирать оптимальный режим вспучивания при производстве различных видов строительных материалов на основе вермикулита, таких как сухие строительные смеси, засыпки, огнезащитные составы, а также материалы для гашения шумов и защиты от радиоактивных излучений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Уокер, Г.Ф. Вермикулитовые минералы // Рентгеновские методы изучения структуры глинистых минералов. - М.: Мир, 1965. - С. 345-374.

2. Спирина В.С., Ахтямов Р.Я. Керамовермикулитовые изделия для футеровки тепловых агрегатов в промышленности строительных материалов: аналитический обзор. – М.: ВНИИЭСМ, 1991. - 56 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОСТАВА СТЕКЛА НА УГОЛ СМАЧИВАНИЯ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Тарновский Р.В.

Научный руководитель: Дитц А.А., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ditts@tpu.ru

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND GLASS COMPOSITION ON CONTACT ANGLE OF THE ALUMINUM NITRIDE

Tarnovskiy R.V.

Scientific Supervisor: Candidate of Technical Sciences A.A. Ditts

National research Tomsk polytechnic university Russia, Tomsk, Lenin Ave., 30

E-mail: ditts@tpu.ru

Abstract – В работе представлены результаты исследования по влиянию состава стекла на угол смачивания подложки из нитрида алюминия. Изготовлена экспериментальная установка, сварены боросиликатные стекла разного состава. Проведено исследование изменения угла смачивания стеклами от температуры, построены графики зависимости. Определены составы стекла, пригодные для применения в качестве стеклосвязки для применения в металлизационных пастах.

Введение

Одним из востребованных сегментов рынка в соответствии с мировыми тенденциями развития является электроника и электротехника (керамические элементы для электронной промышленности, в том числе для теплонагруженных элементов полупроводниковых приборов, мощных светодиодов; изоляторы различного применения для электротехники и энергетики). Одним из перспективных направлений является производство высокотеплопроводных материалов и изделий на основе нитрида алюминия. Нитрид алюминия обладает рядом уникальных свойств по сравнению с другими материалами, применяемыми в микроэлектронике [1]. Применение нитрида алюминия в качестве основы при изготовлении мощных светодиодов требует нанесение на него токопроводящих паст. Разработанные в большом количестве низкотемпературные серебросодержащие пасты рассчитаны на оксидные материалы, и поэтому имеют низкую адгезию к нитриду. Увеличить адгезию металлизационных паст к нитриду алюминия можно за счет введения в их состав стеклосвязки [2], которая бы хорошо смачивала нитрид алюминия при низких температурах.

Цель данной работы: разработать состав стеклосвязки, смачивающий нитрид алюминия в диапазоне температур до 1000 °С.

Эксперимент

В работе были использованы образцы в виде дисков из нитрида алюминия, спеченные до относительной плотности более 98%. Диски подвергали шлифованию и очистке. Поверхности очищали от органических загрязнений в изопропиловом спирте и от воды отжигом при температуре 600 °С. Для определения угла смачивания была собрана установка, принципиальная схема которой представлена на рис. 1.

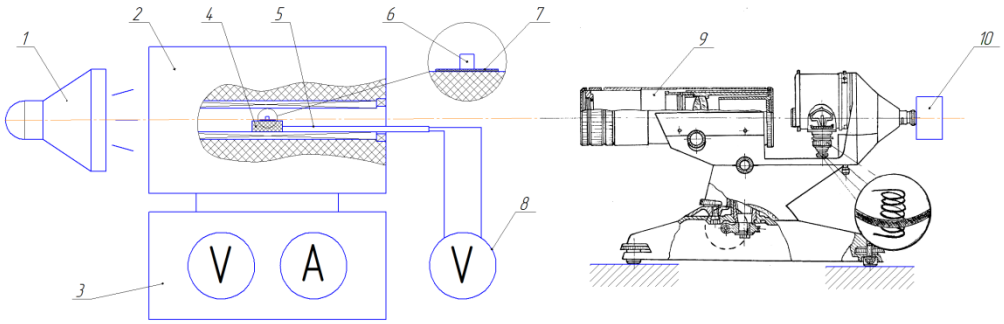


Рис. 1. Принципиальная схема установки

Установка состоит из: 1 осветительной системы; 2 – трубчатой печи с регулируемой скоростью нагрева; 3 – системы контроля и управления нагревом; 4 – подставки для образцов; 5, 8 – термопары для контроля температуры образца; 6 – образца стекла; 7 – подложки (диска) из AlN; 9 – оптической системы; 10 – цифровой камеры с выводом изображения на дисплей компьютера.

Исследуемое стекло прессовалось в виде цилиндров диаметром 3 мм, высотой 5-6 мм. Для прессования не применяли органических связок. После установки образца в печи ее начинали греть со скоростью от 7 до 10 °С/мин. При достижении температуры 600 °С образец начинали фотографировать через каждые 10 °С. Обработку снимков вели в программном обеспечении поставляемом с цифровой камерой «Микро-Анализ Pro». 4 – 5

Для работы были выбраны стёкла в системе B_2O_3-SiO_2-Na_2O, обеспечивающие низкие температуры варки и размягчения. Их составы представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Соотношения компонентов в рассматриваемых стёклах.

Шифр	Содержание компонентов, мол. %									Сумма
	Na_2O	CaO	B_2O_3	SiO_2	V_2O_5	MoO_3	Al_2O_3	K_2O	PbO	
а	20	5	10	65	–	–	–	–	–	100
б	20	5	10	55	10	–	–	–	–	100
в	20	5	10	55	–	10	–	–	–	100
г	20	5	10	55	–	–	10	–	–	100
д	10	5	10	65	–	–	–	10	–	100
е	20	5	10	55	–	–	–	–	10	100
ж	10	5	10	75	–	–	–	–	–	100

Для выбранных составов были выполнены расчеты свойств в специализированной программе SciGlass. Особенно важным из них является зависимость вязкости от температуры. Результаты расчета представлены на рисунке 2.

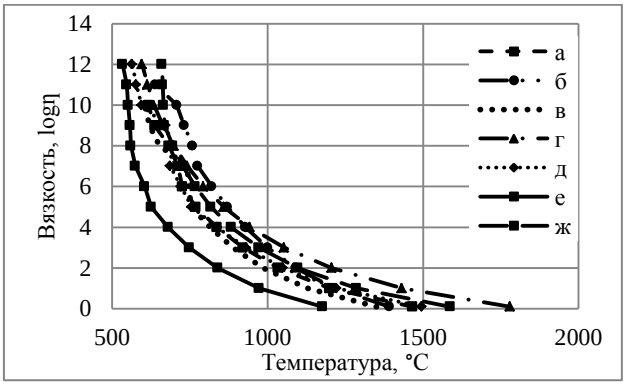


Рис. 2. Зависимость вязкости от температуры

Из расчетных данных видно, что наименее тугоплавким является состав «е», содержащий PbO, а наиболее тугоплавким – состав «г», содержащий Al_2O_3.

Стекла предложенных составов были «сварены», после чего их измельчали до полного прохождения через сито с размером ячейки 63 мкм. Из порошка стекла прессовали образцы в виде цилиндров с соотношением диаметр/высота = 1/2. На рисунках 3, 4 представлены фотографии образца при разной температуре и данные определения улов смачивания.

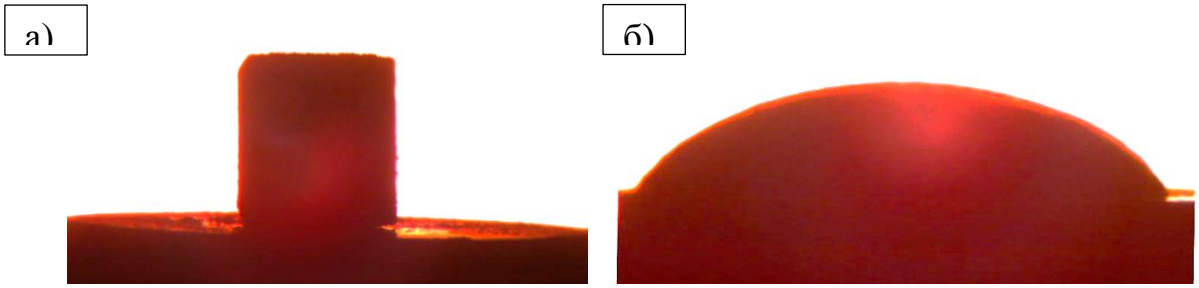


Рис. 3. Фотографии образца стекла состава «е» при температуре: а) 600 °С; б) 860 °С;

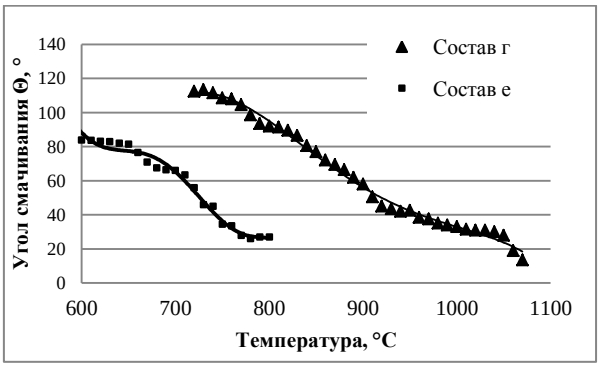


Рисунок 4. Зависимость изменение угла смачивания нитрида алюминия от температуры

Стекло состава «е» смачивает нитрид алюминия (угол Θ достигает 25°) при температуре 800 °С. При этих температурах угол Θ достигает 93° для стекла состава «г». Стекло состава «г» содержит больше тугоплавких оксидов, чем стекло состава «е». Поверхностное натяжение, связанное со свободной поверхностной энергией у этого состава выше при этих температурах. Конечный угол смачивания для состава «г» в два раза ниже, чем для состава «е» (13 и 25 °С соответственно).

Выводы

Стекло состава «е» более пригодно в качестве стеклосвязки для применения в металлизационных пастах с интервалом температур вжигания от 800 до 1000 °С, к которым относиться серебросодержащие металлизационные пасты. Стекло состава «г» применимо в качестве стеклосвязки для молибденовых или молибден-марганцевых паст с интервалом температур вжигания 1200-1350 °С.

Список литературы

1. Макаров Н.А. Металлизация керамики: Учебное пособие. М. РХТУ им. Д.И. Менделеева. 204.-76 с.

2. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М «Химия»,1976, 232 с.

СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО И ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА

Толстокулаков А.М., Дампилон Б.В.

Научный руководитель: Дампилон Б.В., доцент, к.т.н.

Томский политехнический университет, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: Ist.Jimmy@mail.ru

CREATING OF WEAR-RESISTANT COATING USING A CONTINUOUS AND PULSED ELECTRON BEAM

Tolstokulakov A.M., Dampilon B.V.

Scientific Supervisor: Docent, Candidate of Engineering Sciences Dampilon B.V.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: Ist.Jimmy@mail.ru

Введение. Разработка технологий восстановления и упрочнения тяжелонагруженных деталей машин и механизмов всегда являлось, и будет являться актуальным направлением в машиностроении. Современное машиностроение уже невозможно представить без применения концентрированных источников энергии, таких как электронный и лазерный луч которые активно применяют для сварки, наплавки и модифицирующей обработки поверхности. Одной из технологий, в которых успешно применяется электронный луч, является технология электронно-лучевой наплавки упрочняющих покрытий и технология импульсной обработкой поверхности.

Цель работы. Исследовать структуру и свойства покрытия из эвтектического хромованадиевого чугуна, полученного с использованием непрерывного и импульсного электронного луча.

Материалы и методики исследования. Покрытия были получены на установке ЭЛУ-5, оснащенной электронной пушкой с плазменным катодом. Модифицирующая импульсная обработка была проведена на ОАО «Полюсе». Выбор состава наплавочного порошкового материала для электронно-лучевой наплавки в настоящей работе был обусловлен необходимостью создания безникелевых (из-за его дороговизны) износостойких дисперсно-упрочненных покрытий на железной основе. В качестве такого материала был выбран белый хромистый чугун, легированный ванадием для формирования дополнительного дисперсного упрочнения покрытия и разбавленный железом с расчетом получения покрытия эвтектического состава. Зачастую лишь белые износостойкие чугуны в состоянии обеспечить надежную эксплуатацию самой разнообразной техники, работающей в жестких условиях абразивного износа. Рентгенофазовый анализ модифицированных зон проводили с использованием рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD 6000. Микрорентгеноспектральный анализ выполняли на приборе Leo Evo 50. Твердость модифицированных зон измеряли с помощью измерительного комплекса Nanotest.

Таблица 1 - Химический состав наплавочного материала

Содержание, % мас.							
C	Cr	V	Si	Ni	Mn	W	Fe
2.5	18.9	5	1	1.1	0.72	0.2	Основа

Результаты исследования. Анализ металлографических исследований наплавленных покрытий показал, что основной объем покрытий характеризуется наличием эвтектических карбидов разветвленной формы. Расчетный состав наплавочного материала хорошо согласуется с данными оптико-эмиссионного

анализа. Согласно данным РФА, покрытие состоит из аустенита, мартенсита, карбида М7С3 и карбидов ванадия.

Таблица 2 - Данные РФА с поверхности наплавленного покрытия

Фаза	Фазовый состав покрытия, %
Аустенит	25
Мартенсит	30
$\mathbf{M_7C_3}$	28
VC	12
$\mathbf{V_2C}$	5

В дальнейшем, образцы с покрытием были отшлифованы и обработаны с определенной закономерностью импульсным сфокусированным в точку электронным лучом. В результате такой обработки на поверхности покрытия сформировались модифицированные зоны (зоны импульсного воздействия). Диаметр каждой зоны на поверхности составил порядка 1000 мкм, с глубиной 500-600 мкм. Между модифицированными зонами остались прослойки покрытия, не подвергавшиеся воздействию импульсного электронного луча и необходимые для релаксации напряжений.

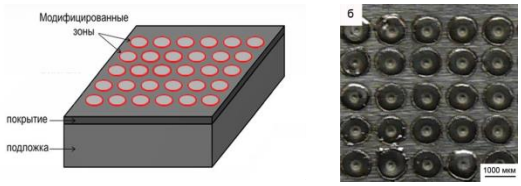


Рис.1. – Схема обработки покрытия (а) и фрагмент поверхности покрытия с модифицированными зонами (б)

Каждая модифицированная зона образована в результате одного импульса электронного пучка с длительностью 15 миллисекунд. В отличие от исходного состояния, структура модифицированных зон характеризуется высокой степенью однородности благодаря равномерному распределению мелких (до 3 мкм) включений округлой формы, которые при большем увеличении представляют собой веерообразные эвтектические колонии. После импульсной обработки материал модифицированных зон уже состоит из преимущественно аустенита (60 об.%) и карбида ванадия VC (25%), являющегося ведущей фазой в эвтектических колониях.

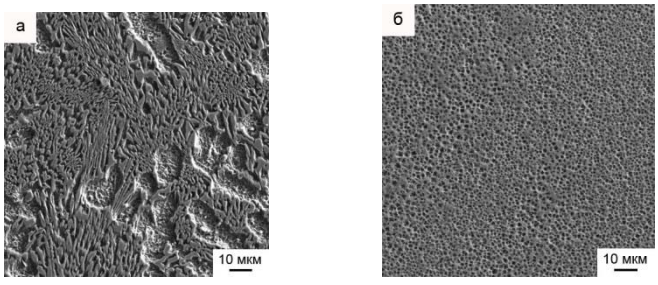


Рис. 2. - Микроструктура исходного покрытия (а) и модифицированной зоны (б)

11. В зоне воздействия электронного луча со временем импульса 15 мсек в материале покрытия видимо образуется жидкая фаза, которая мгновенно кристаллизуется по завершении воздействия луча. Карбиды ванадия первыми образуются из расплава и за время существования жидкой фазы образуют мелкие веерообразные колонии.Микрорентгеноспектральный анализ эвтектических колоний показал, что в их центре располагаются частицы, содержащие в среднем до 60% мас. V, 15% Cr, и 7% Fe.

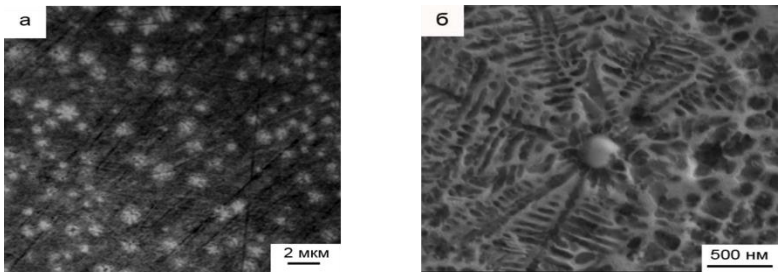


Рис.3.- Микроструктура модифицированной зоны (а) и карбид ванадия - ведущая фаза эвтектических колоний (б).

Таблица 3 - Данные МРСА центра эвтектических колоний

Хим. элемент	Состав % мас.
V	60
Cr	15
Fe	7

Согласно данным МРСА, матрица модифицированной зоны, в среднем, содержит 17.68Cr, 3.64V, 0.56Si, 0.62Mn, 1.47Ni, 76.03Fe (% мас.), а матрица исходного покрытия – 11.12Cr, 1.47V, 0.66Si, 0.65Mn, 1.7Ni, 84.39Fe (% мас.) (табл.).Концентрация хрома и ванадия в аустенитной матрице повысилась в 1.6 и 2.5 раза, соответственно, по сравнению с матрицей исходного покрытия. В результате, фиксируется матрица, состоящая из значительного количества пересыщенного метастабильного аустенита, что обусловливает пониженную твердость модифицированной зоны (1.2 ГПа) по сравнению с покрытием исходного состояния (5.7 ГПа). С целью выделения вторичных карбидов из пересыщенной аустенитной матрицы модифицированных зон было проведено старение образцов при температуре 1100°С в течение 30 минут. Структура модифицированных зон после старения характеризуется наличием значительного количества вторичных мелкодисперсных (1-2 мкм) карбидов и высокой однородностью их распределения в объеме модифицированных зон. После старения общее содержание карбидов увеличилось с 30% до 52% об., мартенсита - с 10% до 39% об., а содержание аустенита снизилось с 60% до 9% об., по сравнению с материалом после импульсной обработки. Испытания покрытия на абразивную износостойкость и измерение твердости показали что максимальную износостойкость покрытия приобретают после старения при 1100ºС, в результате повышения объемной доли карбидов (52 об.%) и мартенсита (39 об.%) в модифицированных зонах- $К_И$= **25±1**, тведость Н= **14,2 ±3,8 ГПа**

Выводы: При наплавке порошковой смеси, состоящей из хромистого чугуна с добавлением порошков железа и ванадия, формируется покрытие, состоящее из аустенитно-мартенситной матрицы и карбидов M_7C_3, V_2C, VC. Многоточечная импульсная электронно-лучевая обработка приводит к формированию модифицированных зон, состоящих, из пересыщенного аустенита и мелких изолированных эвтектических колоний округлой формы, веерообразно расходящихся из центров колоний с ведущей фазой VC. Термическая обработка (старение) при температуре 1100 ° С с выдержкой 30 минут приводит к интенсивному выделению из пересыщенного аустенита мелкодисперсных вторичных карбидов M7C3, равномерно распределенных в объеме модифицированных зон, аустенитно-мартенситному превращению в матрице, значительному повышению твердости зон и абразивной износостойкости покрытий в целом.

МИКРОСТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ ПЛАЗМЕННЫХ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ НАГРЕВА

Тютюнькова М.К., Безрукова В.А., Лапушкина Е.Ю., Миллер В.С.
Научный руководитель: Корниенко Е.Е., к.т.н., доц.
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: mystery22@inbox.ru

MICROSTRUCTURE AND MICROHARDNESS OF PLASMA SELF-FLUXING COATINGS AFTER HEATING

Tyutyunkova M.K., Bezrukova V.A., Lapushkina E.U., Miller V.S.
Scientific Supervisor: Kornienko E. E., Ph.D, Assoc. Prof.
Novosibirsk State Technical University
630073, Russia, Novosibirsk, Prospekt K. Marksa, 20
E-mail: mystery22@inbox.ru

Актуальной проблемой современного материаловедения является обеспечение эффективной защиты поверхности деталей машин и механизмов от коррозии и изнашивания. Решением данной проблемы может выступать формирование покрытий из сплавов системы Ni-Cr-Si-B, которые будут обеспечивать эти свойства рабочим поверхностям. На сегодняшний день активно развиваются методы газотермического напыления, к которым относят газопламенноel, плазменное и детонационное напыления [1, 2]. Метод плазменного напыления – это один из наиболее развитых процессов. Он позволяет не только упрочнять поверхности конструкционных материалов, но и дает возможность создавать новые композиционные материалы и покрытия, которые не могут быть получены другими методами. Незначительное термическое воздействие на основной металл (250…450 °С) [2] во время нанесения покрытия исключает перегрев и деформацию конструкции. Однако плазменное напыление имеет свои недостатки, к которым можно отнести высокую пористость полученных покрытий и наличие оксидных пленок [1, 2]. Одной из причин возникновения подобного рода дефектов может служить различное агрегатное состояние частиц, находящихся в плазме. Для устранения указанных недостатков и достижения рациональной структуры покрытия из самофлюсующихся сплавов оплавляют [1, 3, 4].

Цель данной работы – исследовать влияние температуры нагрева на структуру и свойства самофлюсующихся покрытий, полученных при помощи технологии плазменного напыления.

Объектами исследований служили покрытия, полученные плазменным напылением. В качестве напыляемого материала использовали самофлюсующийся порошок на никелевой основе ПР-Н77Х15С3Р2-3 (основа – Ni, 15 % Cr, 3,3 % Si, 2 % B, 2,1 % Fe). Размер порошка - 40/100 мкм (рис. 1).

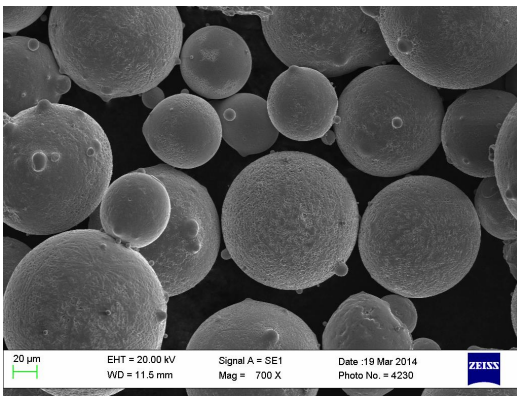


Рис. 1. Изображение порошка ПР-Н77Х15С3Р2-3.

Покрытия наносили на трубы из низкоуглеродистой стали 10 с внутренним диаметром 54 мм и толщиной стенки 3 мм. Напыление выполняли в Институте прикладной и теоретической механики СО РАН на установке плазменного напыления порошковых материалов «Термоплазма 50-01». Режимы напыления: ток дуги – 140 А, напряжение – 265 В, дистанция напыления – 170

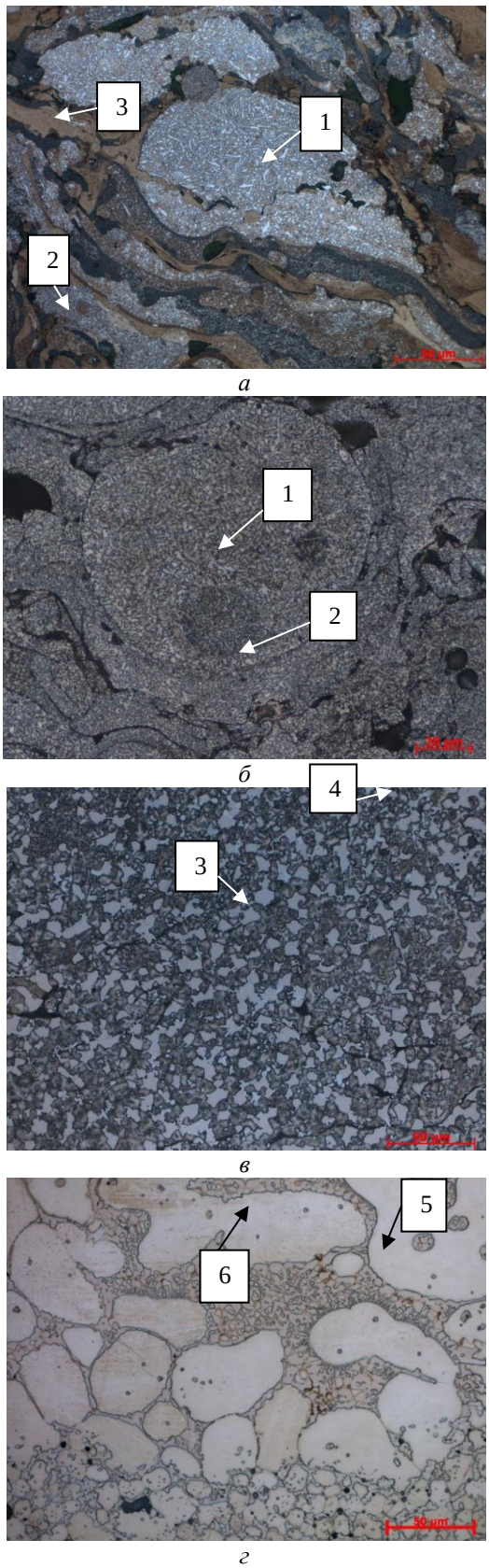


Рис. 2. Микроструктура самофлюсующихся покрытий до нагрева (а) и после нагрева до 900 °С (б), 1000 °С (в) и 1100 °С (г).

мм. В качестве плазмообразующего газа использовали воздух. Функцию защитного, транспортирующего и фокусирующего газов выполняла смесь воздуха и пропан-бутана.

С целью изучения влияния температуры нагрева на структурные превращения, происходящие в покрытиях, образцы нагревали до температур 500, 600, 700, 800, 900 и 1000 °С (время выдержки - 1 час, охлаждение на воздухе) и 1100 °С (время выдержки 10 минут, охлаждение на воздухе). Термическую обработку образцов с покрытиями проводили в лабораторных электрических печах камерного типа (СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И3).

Металлографические исследования покрытий выполняли на оптическом микроскопе *Carl Zeiss AxioObserver A1m.* Измерения микротвердости проводили на твердомере для проведения испытаний по Виккерсу 402MVD.

Изображение структуры покрытия до нагрева представлено на рис. 2, а. Как было показано ранее [5], полученные покрытия характеризуются наличием трех типов частиц. Структура частиц типа 1 (не нагретые и не деформированные) и типа 2 (не нагретые, но деформированные) (рис. 2, а (1) и (2), соответственно) – дендритная, что также характерно и для частиц исходного порошка (рис. 1). Частицы типа 3 (расплавленные в плазменной струе) (рис. 2, а (3)) представляют собой твердый раствор на основе Ni. Нагрев покрытий до 600 °С не приводит к существенным изменениям. При нагреве от 700 до 800 °С в частицах 3 типа начинает распадаться твердый раствор; при повышении температуры до 900 °С превращения происходят во всех типах частиц (рис. 2, б). После нагрева до 1000 °С (рис. 2, в) отдельных частиц, как в исходных покрытиях, не наблюдается. Покрытие состоит из зерен двух типов: светлые (рис. 2, в (3)) и темные (рис. 2, в (4)), вероятно, твердый раствор на основе Ni и эвтектика, соответственно.

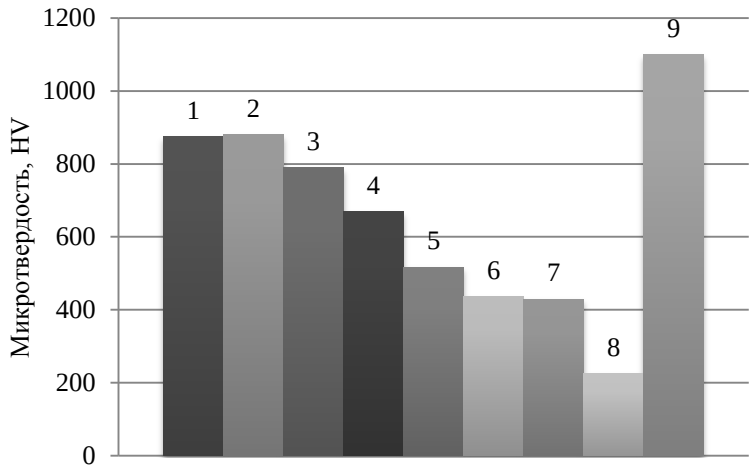


Рис. 3. Микротвердость самофлюсующихся покрытий: 1 –исходное покрытие, нагрев до 500 °С (2); 600 °С (3); 700 °С (4); 800 °С (5); 900 °С (6); 1000 °С (7); 1100 °С – никелевые области (8); 1100 °С – эвтектика (9).

При нагреве до 1100 °С (рис. 2, г) материал покрытий находится в жидком состоянии. После кристаллизации формируются крупные никелевые области (рис. 2, г (5)), пространство между которыми заполнено эвтектикой (рис. 2, г (6)).

Средние значения микротвердости покрытий приведены на рис. 3. Твердость покрытий до нагрева и после нагрева до 600 °С около 800…900 HV. Повышение температуры термической обработки покрытий способствует изменению микроструктуры и, как следствие, снижению микротвердости. Минимальная микротвердость характерна для покрытий после нагрева до 900 и 1000 °С (400…500 HV). Значения микротвердости покрытий после нагрева до 1100 °С: 200…300 HV – никелевые области; 1000…1100 HV – эвтектика.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что с позиции повышения микротвердости целесообразно нагревать материал покрытий до жидкого состояния. При этом, необходимо сократить долю никеля, который образуется при кристаллизации материала покрытий. В настоящее время проводятся более глубокие структурные исследования полученных покрытий.

Список литературы:

[1] Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер. с яп. В. Н. Попова ; Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.

[2] Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О., Синдеев В.И. Методы исследований материалов: Структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий. – М.: Мир, 2004. – 384 с.

[3] Navas C., Colaço R., J. de Damborenea, Vilar R. Abrasive wear behavior of laser clad and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings // Surface & Coatings Technology 200 (2006) 6854-6862.

[4] Chang J.H., Liua T.H., Chou J.M., Hsieh R.I., Lee J.L.. Microstructural and microhardness charasteristics of induction melted nickel-based alloys // Materials Chemistry and Physics 120 (2010) 702-708.

[5] Корниенко Е.Е., Лапушкина Е.Ю., Сергачев Д.С. Плазменное напыление износостойких покрытий. Современные техника и технологии : сб. докл. 20 междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 14-18 апр.2014 г. В 3 т. – Томск : ТПУ, 2014. – Т. 2. – С. 51-52.

СПЕКАНИЕ ВОЛЬФРАМОВЫХ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Упеникова А.О.
Научный руководитель: Погребенков В.М., профессор, д.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: Upenikova@ya.ru

THE SINTERING OF THE TUNGSTEN POWDER WITH THE INDUCTION HEATING

Upenikova A.O.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Pogrebenkov V.M.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: Upenikova@ya.ru

Nowadays, compact accelerators of electrons are widely used for medical and industrial purposes. These devices are used in the field of nondestructive testing of materials and products as well as in medicine, and security systems. This work is to develop a technology of dispensing cathode production for an electrons pulse accelerator. The fabrication technology of the tungsten matrix through of the induction heating is observed in this work. It was established, that the optimum performance of getting of porous tungsten structure is the sintering performance with two-stage heating. The samples got by means of this method have the porosity equal to 27% and the size of the pore channel 2-7 mcm.

Введение

В настоящее время широкое применение получили компактные ускорители электронов как промышленного, так и медицинского назначения. Эти устройства применяются в области неразрушающего контроля материалов и изделий, для медицинских целей и досмотровых комплексов. Досмотровый комплекс работает на основе ускорителя электронов, благодаря чему, при проведении таможенного контроля грузов, аппаратура не изменяет физической структуры объектов. Данные устройства разрабатываются на базе НИ ТПУ. В настоящее время источником электронов в этих установках служат карбидированные или торированные вольфрамовые термокатоды, срок службы которых составляет около 300 часов, что является не достаточным рабочим временем, необходимым для реализации данных задач. Нами предлагается использовать в качестве источника электронов металлопористые термокатоды, срок службы которых составляет порядка 2000 – 10000 часов.

Металлопористый катод представляет собой пористое тело, изготовленное из тугоплавкого металла, поры которого заполнены активным веществом. По способу введения активного вещества в губку различают прессованные и импрегнированные катоды. В случае импрегнированных катодов активным веществом пропитывается заранее изготовленная пористая металлическая губка, а в случае прессованных катодов губка спекается одновременно с активным веществом.

Активное вещество, заполняющее поры губки, представляет собой химическое соединение оксида бария с кислотными и амфотерными оксидами некоторых элементов. При взаимодействии с металлами губки (восстановителем) оно выделяет свободный барий, который и активирует катод. В качестве активных веществ чаще всего используются следующие системы оксидов $BaO+Al_2O_3$, $BaO+TiO_2$, $BaO+ThO_2$, $BaO+WO_3$, $BaO+Cr_2O_3$ [1]. В данной работе рассматривается процесс изготовления пропитанных термо-

катодов. Первым этапом технологического процесса является формирование пористой матрицы, которая затем пропитывается активным веществом.

Эмиссионные свойства и долговечность катодов во многом зависит от пористой структуры эмиттеров, их стабильности и формоустойчивости в процессе работы [2].

Таким образом, целью данной работы является установление зависимости между параметрами спекания вольфрамовых порошков и пористостью получаемых образцов.

Материалы и методики исследования

В качестве исходного материала для изготовления губки использовались порошок вольфрама с размером частиц 5-10 мкм, с четкой кристаллической структурой. Фотография порошка представлена на рисунке 1.

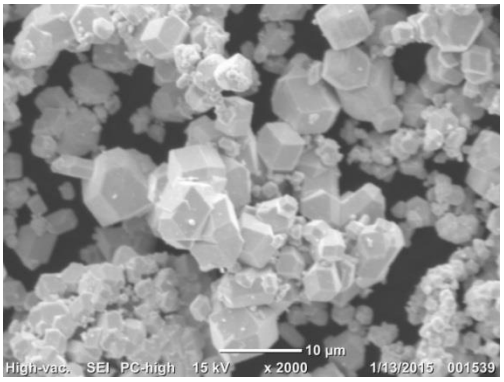


Рис. 1. Микрофотография исходного порошка вольфрама, полученная методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ)

Порошок формовали односторонним статическим прессованием в стальной пресс-форме с внутренним диаметром матрицы 14 мм при давлении прессования 200 МПа.

Полученные прессовки спекали с использованием установки индукционного нагрева ІНМ 50-8-50. В сравнении с традиционными методами обработки металлов индукционный нагрев имеет ряд преимуществ: простота эксплуатации, мгновенный нагрев, сокращение времени спекания и высокая точность регулирования процесса.

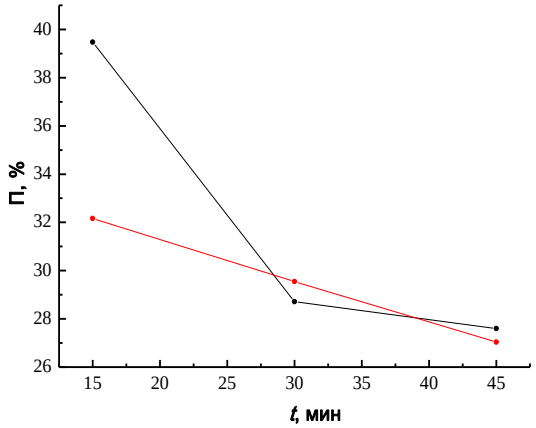


Рис. 2. График зависимости объемной пористости вольфрамовых образцов от времени спекания и температуры спекания ------ - с предварительным нагревом, ----- - без предварительного нагрева

Прессовки спекали в среде азота в двух режимах. Первый режим заключался в предварительном нагреве образца при мощности 6кВт , что соответствует температуре 1350ºС, с выдержкой в течение 15 минут и с последующим повышением мощности нагрева до 9,6 кВт (1950ºС) и выдержкой в течение 15, 30 и 45 минут. Во втором режиме спекание осуществлялось без предварительного прогрева. Путем гидростатического взвешивания определялась объемная пористость образцов. После спекания образцы разрезали

при помощи электроэрозионной резки. Полученный срез исследовали методом сканирующей электронной микроскопии для определения размера пор.

Результаты и их обсуждение

Зависимость объемной пористости вольфрамовых образцов от времени спекания для двух режимов представлена на рисунке 2.

При спекании в течение 15 минут значительного уплотнения не наблюдается. Объемная пористость составила 32% и 39%, для первого и второго режимов соответственно, с увеличением времени выдержки происходит уплотнение образцов. Минимальное значение объемной пористости составило 27% при времени спекания 45 минут для первого и второго режимов. Нужно отметить, что при увеличении времени спекания свыше 30 минут уплотнение образцов замедляется.

На рисунке 3 представлены изображения срезов вольфрамовых образцов при времени спекания 45 минут с предварительным прогревом (*а*) и без него (*б*).

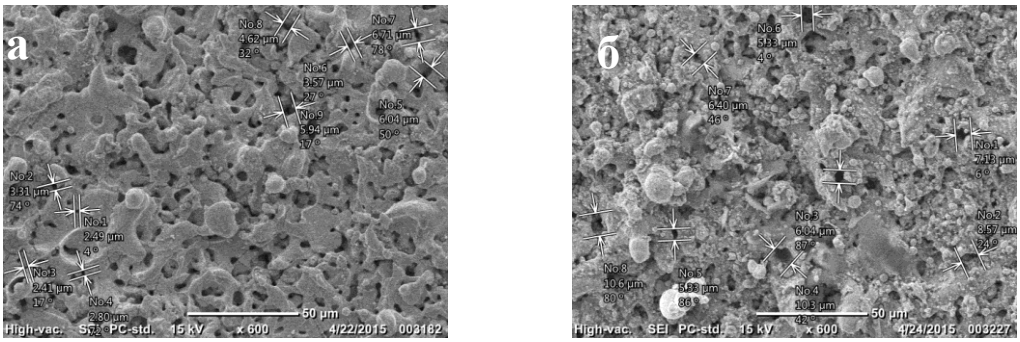


Рис. 3. Изображения срезов вольфрамовых образцов, (а) – первый режим и (б) – второй режим

Можно отметить, что при втором режиме спекания происходит образование частиц сферической формы, также наблюдается интенсивный процесс образования малоупорядоченных спекшихся конгломератов частиц. Образец, полученный при первом режиме спекания, практически не имеет одиночных частиц, видны открытые поровые каналы, размер которых равен 2 – 7 мкм.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы. Оптимальным режимом получения пористых вольфрамовых заготовок является режим спекания с двухступенчатым нагревом. На первом этапе спекание проводится при температуре 1350ºС в течение 15 минут, после чего образец нагревается до температуры 1950ºС, спекание проводится в течение 45 минут. Полученные образцы имеют объемную открытую пористость равную 27% и размер поровых каналов 2 – 7 мкм. При меньшем времени спекания значительного уплотнения не наблюдается, происходят процессы образования частиц сферической формы и агломератов.

Список литературы

1. Губер, Фрейтаг. Некоторые предварительные работы по спеченным катодам на основе солей бария. // Оксидный катод: сборник переводов статей / под ред. Брецова Л. Н.. – М.; Л. : Госэнергоиздат, 1957. – С. 377– 387.

2. Мельникова, И.П. Оптимизация технологии формирования каркасов металлопористых катодов // Вакуумная наука и техника: материалы науч.-техн. конф. с участием зарубежных специалистов. – М.: МИЭ, 2006. – С. 282 – 285.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МЕЗОПОРИСТЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Усольцева Н.В.

Научный руководитель: Коробочкин В.В., профессор, д.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: usoltseva.nv@mail.ru

ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF MESOPOROUS NANOMATERIALS

Usoltseva N.V.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Korobochkin V.V.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 63405

E-mail: usoltseva.nv@mail.ru

AC electrochemical oxidation of copper and aluminum in the concentrated solutions of sodium chloride results in a system of copper hydroxide – aluminum oxyhydroxide (boehmite) with specific surface area of ~ 280 m^2/g and a mesoporous structure. Heat treatment at a temperature of 500 °C leads to dehydration of copper hydroxides to copper oxide (according to the results of IR spectroscopy), and complete decomposition to boehmite to alumina. This reduces the specific surface area to 230–240 m^2/g and increases an average pore diameter (main pore volume is from 3.3 to 9.8 nm).

Пористая структура материала играет ключевую роль во многих сорбционных и каталитических процессах. Особый интерес представляет изучение пористой структуры наноматериалов, характеризующихся высокой агрегируемостью вследствие нестабильности частиц. Известно, что с ростом условного диаметра пор объем пор увеличивается, но снижается удельная поверхность, при этом макропористые материалы обладает высокой термостойкостью. Микропоры, ответственные за высокую удельную поверхность, отличаются большим относительным сокращением поверхности при нагреве [1]. Таким образом, наиболее оптимальным соотношением удельной поверхности и ее деградации при термообработке обладают мезопористые материалы.

Переменнотоковое электрохимическое окисление металлов позволяет получать энергонасыщенные нанокристаллические оксиды металлов и оксидные системы, в частности, медь-алюминиевую оксидную систему. Результаты исследования пористой структуры данной системы и ее деградации при термообработке представлены в данной работе.

Электрохимическое окисление металлов под действием переменного тока с растворимыми электродами проводили в растворах хлорида натрия («ч.д.а.») с концентрациями 15 и 25 % мас. при плотности тока 2 $А/см^2$ и температуре 90 ºС. В качестве электродов использовали пластины из меди (марка М1) и алюминия (марка А0). Продукты электролиза отмывали от ионов электролита дистиллированной водой и высушивали в электропечи СНОЛ-1,6.2,5.1/10-ИЗМ в течение 3 часов при температурах 110, 250 и 500 ºС. Фазовый состав образцов определяли рентгенофазовым анализом (РФА), проводимым с помощью дифрактометра ДРОН 3М в следующих условиях: $Cu_{K\alpha}$-излучение (λ=1,54184 Å), I = 25 мкА, U = 35 кВ, скорость съемки 4 Θ/мин, область сканирования углов (2Θ) 10–70°. Идентификацию фаз, входящих в состав образцов, проводили с помощью базы данных PDF 2. Характеристики пористой структуры (удельная поверхность, объем пор, распределение пор по размерам) определяли по изотермам адсорбции-десорбции азота (метод БЭТ), полученным при 77 K с помощью анализатора удельной поверхности

и пористости TriSta·r II 3020 (Micromeritics, США). ИК-спектры пропускания получали с помощью ИК-Фурье спектрометра Nicolet 5700 на приставке диффузного отражения в KBr в диапазоне волнового числа 4000−400 $см^{-1}$ с разрешением 4 $см^{-1}$.

Продукт совместного окисления меди и алюминия под действием переменного тока в растворах хлорида натрия представляет собой систему оксид меди (I)−оксигидроксид алюминия [2]. Рефлексы оксигидроксида алюминия (бемита, AlOOH) сложной формы и шириной 4–6 2Θ свидетельствуют о высокой дисперсности и слабоокристаллизованной структуре данного соединения. Неустойчивый оксид меди (I) при старении подвергается фазовым превращениям. Оксид меди (I), образующийся при проведении процесса в растворе с концентрацией 3 % мас. [3], характеризуется высокой дисперсностью и дефектной структурой, обусловливающими высокую реакционную способность и формирование медь-алюминиевого гидроксокарбоната Cu–Al/LDH и гидроксокарбоната меди $Cu_2(OH)_2CO_3$ при старении продукта электролиза в растворе электролита. Оксид меди (I), формирующийся в концентрированных растворах электролита (15 и 25 % мас.), является менее активным и при старении превращается в безводный $Cu(OH)_2$ и гидратированный $Cu(OH)_2·H_2O$ гидроксиды меди (рис. 1). О формировании $Cu(OH)_2·H_2O$ свидетельствуют рефлексы малой интенсивности на фоне рефлексов бемита (020) и (120) со стороны больших значений межплоскостного расстояния (меньших 2 Θ) (рис. 1). Поскольку концентрация раствора электролита в большей степени влияет на скорость переменнотокового окисления меди, чем алюминия, изменение концентрации раствора электролиза позволяет получать оксидную систему с различным соотношение компонентов. Полученные в работе образцы содержат 3,6 % мас. (C_{NaCl} = 15 мас.) и 7,0 % мас. (C_{NaCl} = 25 мас.) оксида меди (II) (пересчет на оксиды CuO и Al_2O_3).

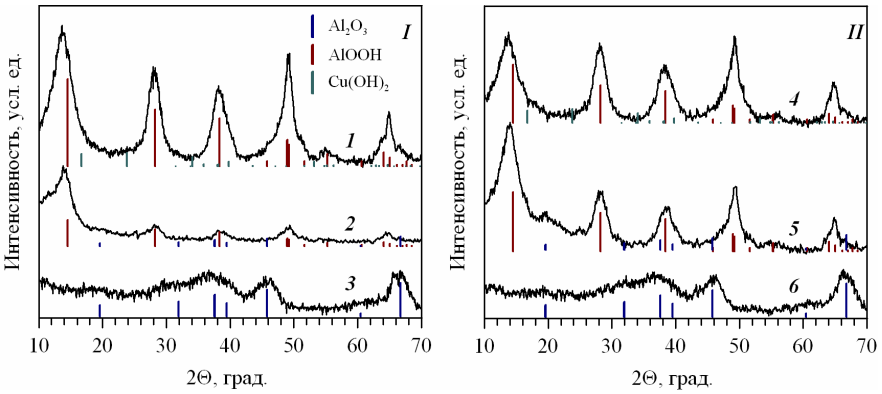


Рис. 1. Рентгенограммы продуктов совместного электрохимического окисления меди и алюминия при плотности тока 2 А/см^2 в растворе хлорида натрия с концентрациями 15 (I) и 25 (II) % мас., после термообработки при 110 ºС (1, 4), 250 ºС (2, 5) и 500 ºС (3, 6)

При термообработке образцов происходит разложение гидроксидов меди до оксида CuO и оксигидроксида алюминия до γ-Al_2O_3. Невысокое содержание оксида меди в составе образов не позволяет идентифицировать его с помощью рентгенофазового анализа. Дифференциально-термический анализ также является малоинформативным, поскольку дегидратация бемита, преобладающего в составе образцов, до оксида алюминия γ-Al_2O_3 происходит в широком интервале температур 150−500 ºС и эффекты от изменения массы образцов и теплового потока перекрывают соответствующие эффекты, возникающие при дегидратации гидроксидов меди. В тоже время, ряд полос поглощения оксида меди (II) (598, 520, 483, 440, 2980-2840 $см^{-1}$) на ИК-спектрах (в работе не приведены), достоверно свидетельствуют о формировании CuO при термообработке.

Анализ характеристик пористой структуры продуктов электролиза показал, что в целом удельная поверхность и объем пор оксидной системы уменьшаются с ростом содержания соединений меди в составе системы, то есть с увеличением концентрации раствора электролита (таблица).

Таблица. Характеристики пористой структуры продуктов совместного электрохимического окисления меди и алюминия

№ п/п	*C*, % мас.	T, ºC	$S_{уд}$, $м^2/г$	V_{Σ}, $см^3/г$	$d_{ср}$, нм
1	15	110	287,2	0,427	4,923
2		250	250,2	0,533	8,425
3		500	241,1	0,639	10,455
4	25	110	280,3	0.349	4,331
5		250	237,9	0,534	8,862
6		500	227,3	0,454	7,905

В структуре всех образцов отсутствуют микропоры (< 2 нм) и протяженность макропор (> 50 нм) не велика (рис. 2). Пористая структура сухих продуктов электролиза образована преимущественно порами с размерами от 4,3 до 75,5 нм. С увеличением температуры обработки уменьшается объем пор с размерами до 5,2 нм, в наибольшей степени уменьшился объем пор с размерами 3,7 нм, а объем пор с размерами более 5,2 нм увеличивается.

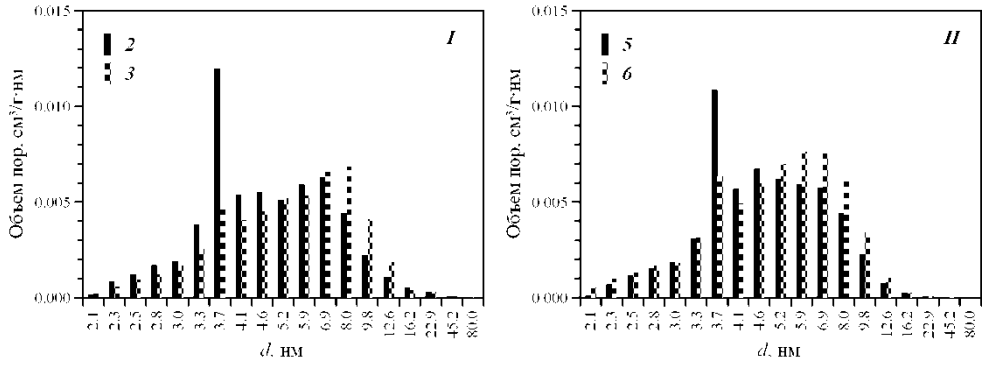


Рис. 2. Распределение пор о размерам продуктов совместного электрохимического окисления меди и алюминия при плотности тока 2 А/см^2 в растворе хлорида натрия с концентрациями 15 (I) и 25 (II) % мас. после термообработки при 250 ºС (2, 5) и 500 ºС (3, 6)

Продукты переменнотокового окисления меди и алюминия, состоящие из оксигидроксида алюминия и гидроксидов меди, обладают мезопористой структурой. С увеличением температуры обработки возрастают средний диаметр пор, объем пор и снижается удельная поверхность.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФ в лице Минобрнауки России (проект № RFMEFI57514X0034). Работа по исследованию образцов с помощью ИК-Фурье спектрометра Nicolet 5700 выполнена в Научно-аналитическом центре ТПУ при поддержке гранта ФЦП ГК № 16.552.11.7063.

Литература

1. Комаров В.С., Дубницкая И.Б. Физико-химические основы регулирования пористой структуры адсорбентов и катализаторов. Минск: Наука и техника, 1981. – 336 с.

2. Усольцева Н.В., Коробочкин В.В., Балмашнов М.А. Микроструктура продуктов неравновесного электрохимического окисления меди и алюминия // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8. – (3). – С. 750−755.

3. Усольцева Н.В., Коробочкин В.В., Балмашнов М.А., Долинина А.С. Карбонизация продукта неравновесного электрохимического окисления меди и алюминия // Известия Томского политехнического университета. Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 324. – № 3. – С. 118−126.

АКТИВАЦИЯ АТОМОВ ПОДЛОЖКИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ НАПЫЛЕННЫХ ЧАСТИЦ С ОСНОВОЙ В ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ ПОКРЫТИИ

Храпковская Ю.А.

Научный руководитель: Б.С. Зенин, к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

E-mail: ylia-kallipso@mail.ru

ACTIVATION OF THE SUBSTRATE ATOMS IN THE INTERACTION OF THE SPUTTERED PARTICLES WITH A BASE IN GAS-THERMAL COATING.

Khrapkovskaya Y.A.

Scientific Supervisor: D. Ph., associate Professor, B. S. Zenin

Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin Avenue 30, 634050

E-mail: ylia-kallipso@mail.ru

Введение

Адгезия является важной характеристикой, определяющей работоспособность любого покрытия. Процесс формирования адгезионных связей покрытия с основой определяется кинетикой межатомного взаимодействия на контактной поверхности частица – подложка. В теории показано, что прочность сцепления напыляемых частиц с подложкой определяется рядом параметров, среди которых определяющим является энергия активации атомов подложки E_a [1] (*Рис. 1*).

В работе поставлена задача: разработать метод расчета энергии активации атомов подложки при заданных условиях взаимодействия напыленной частицы с основой.

В [2] показано, что при распределении энергии привносимой частицей в системе частица-подложка можно выделить «горячий» слой приконтактной области подложки толщиной Δh (*Рис. 2*), состояние которого определяется температурой в контакте T_k.

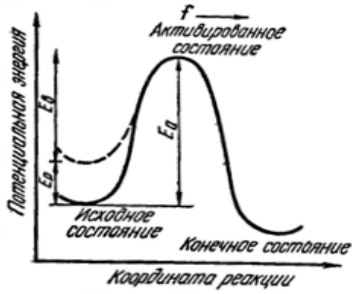


Рис. 1 – Условная схема, поясняющая изменение потенциальной энергии системы частица-основа в зоне контакта при формировании покрытия

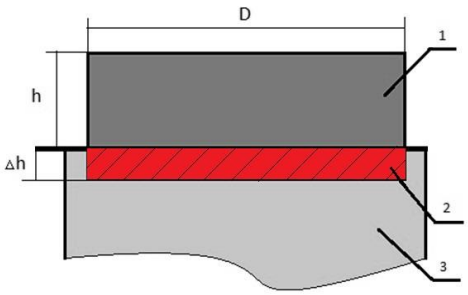


Рис. 2 – Схема формирования сплета (1 – сплет, 2 – «горячий» слой, 3 – подложка).

Для «горячего» слоя можно рассчитать энергию активации атомов подложки по следующей формуле: $\varepsilon_a = Q_{г\,сл} / N_{г\,сл}$, где $Q_{г\,сл}$ - энергия в «горячем» слое подложки, $N_{г\,сл}$ – количество атомов в этом слое.

Материалы основы и покрытия, условия напыления

В качестве модельных материалов при проведении численных расчетов были выбраны для подложки – железо, для напыляемой частицы - никель, вольфрам и алюминий. Теплофизические характеристики материалов представлены в таблица 1.

Таблица 1

Теплофизические характеристики материалов

Материал	$T_{пл}$, K	ρ_o, $кг/м^3$	C, $Дж/кг \cdot K$	L, $Дж/кг \cdot 10^3$
Fe	1810	7870	432,9	276
W	3693	19300	269	185
Ni	1728	8900	364	305
Al	933	2702	903	393

Расчет проводили для следующих условий: диаметр частицы $D_ч = 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ м; скорость v = 100 м/с; начальная температура подложки T_0 = 300 К; частица в расплавленном состоянии и ее температура $T_ч = T_{пл}$. Распределение температуры в подложке в момент полной кристаллизации частицы (t^*) для определения толщины «горячего» слоя (Δh) в заданном интервале температур $T_k - T = \Delta T$ = 30 К получено с помощью компьютерной программы CRISTALL [3,4].

Результаты расчета

Будем считать, что частица (сплет) после деформации и затвердевания принимает форму цилиндра высотой h и диаметром D. Объем «горячего» слоя определяется контактной площадью S и соответствующей глубиной прогрева подложки Δh. В таблице 2 приведены параметры, необходимые для расчета энергии активации атомов подложки: диаметр напыляемых частиц $D_ч$, температура в контакте T_k, толщина горячего слоя Δh, средняя температура слоя $T_{ср}$, объем слоя подложки $V_{г\,сл}$, масса слоя $m_{г\,сл}$, при напылении различных материалов.

Таблица 2

Характеристики системы частица-подложка при кристаллизации сплета

Материал	T_k,К	$T_{ср}$,К	Δh,м $\cdot 10^{-7}$	$V_{г\,сл}$,$м^3 \cdot 10^{19}$	$m_{г\,сл}$, кг $\cdot 10^{-15}$	t^*,$с \cdot 10^{-7}$
W	2799	2784	2,19	1,43	1,35	1,74
Ni	1395	1380	3,10	0,47	1,92	2,67
Al	826	811	5,27	0,08	3,26	5,53

Согласно [2] распределение энергии в подложке Q можно представить в виде $Q = Q_{гсл} + Q_{ост}$, где $Q_{гсл} = m_{гсл} \cdot C_n \cdot (T_{ср} - T_0)$ - энергия «горячего» слоя, $Q_{ост}$ - остаточная энергия, передаваемая в объем подложки, T_0 – начальная температура подложки. Общее число атомов N в «горячем» слое определим по формуле $N = V / v$, где $V = S \cdot \Delta h$ – объем «горячего» слоя, $v = a^3$ - объем занимаемый одним атомом.

По данным таблицы 2 была рассчитана энергия активации атомов подложки Fe при напылении частиц W,Ni, Al. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Энергия активации атомов подложки при напылении выбранных материалов

Материалы	$Q_{гсл}$, Дж$\cdot 10^{-10}$		$Q_{ост}$, Дж$\cdot 10^{-3}$		N,10^{15}	ε_a,Эв
W	9,14	0,93%	5,72	41,09%	1,27	4,48
Ni	7,74	2,37%	1,73	58,23%	2,09	2,3
Al	0,59	1,94%	0,63	93,48%	53,5	0,18

Для анализа полученных результатов рассмотрим (*Рис. 3*), из которого видно, что значение энергии активации атомов Fe подложки при напылении частиц из W и Ni достаточно хорошо коррелирует с температурой плавления материала частицы и с температурой в контакте. На (*Рис. 4*) показано соотношение параметров, определяющих условия взаимодействия в системе частица-подложка для выбранных материалов. В случае напыления Al энергия активации атомов подложки оказывается существенно ниже. Такой результат можно объяснить тем, что процесс кристаллизации сплета алюминия оказывается длительным (*см. рис. 3*), в результате чего основная часть энергии за это время переходит во внутренний объем подложки.

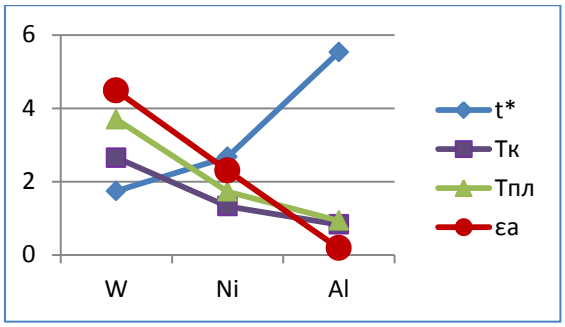


Рис. 3. Теплофизические параметры на границе подложка-частица(W, Ni, Al).

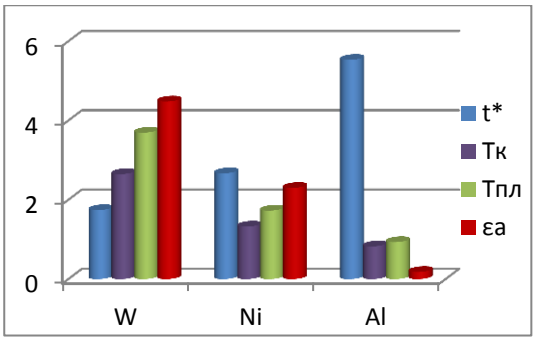


Рис. 4. Соотношение параметров, определяющих условия взаимодействия в системе частица-подложка.

Выводы.

Полученный результат для энергии активации атомов подложки железа в случае напыления никеля ε_a = *2,3 Эв* находится в хорошем согласии с данными Кудинова [1] ε_a = *2,17 Эв,* что свидетельствует о корректности проведенных расчетов. Повышенную активацию атомов в подложке железа при напылении вольфрама можно объяснить более высоким энергетическим вкладом, привносимым напыляемой частицей. Низкая степень активации атомов железа при напылении алюминия связана с особым характером теплового взаимодействия частицы с подложкой, при котором основная часть вносимой энергии успевает перейти в глубину подложки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1) В.В.Кудинов, В.М. Иванов. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. – М.: Машиностроение, 1981, 192 с.

2) Ю.А. Храпковская, Б.С. Зенин. Распределение энергии в системе частица-подложка при формировании газотермических покрытий. Труды IV МНТК «Высокие технологии в современной науке и технике» (ВТСНТ - 2015), Томск. НИ ТПУ. 2015 (В печати).

3) Ю.А. Митюшова, Б.С.Зенин, Сравнительный анализ адгезионных и когезионных связей газотермических покрытий. Труды Xl Всероссийской школы-семинара с международным участием. «Новые материалы – 2011»Томск. НИ ТПУ. 2011. С. 137-142.

4) Ю.А. Храпковская, Б.С. Зенин. Энергетическая активация атомов подложки при формировании газотермического покрытия // Современные материалы, техника и технологии в машиностроении: Сб. материалов международной конференции. - Андижан: 2014. – С.22-25.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМООКСИДНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Хрусталева К.А.
Научный руководитель Воронова Г.А., к.х.н., доцент
Томский политехнический университет, г. Томск, 635050, пр. Ленина, 30
E-mail: k.khrustaleva@gmail.com

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR THE OBTAINING OF ALUMINA OXIDE SYSTEMS BY VACUUM SPRAY METHOD

Khrustaleva K.A.
Scientific Superviser: associate professor, PhD G.A. Voronova
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: k.khrustaleva@gmail.com

Annotation. *A number of samples of alumina and spinel structures were obtained in this work. The phase composition of the obtained samples was investigated by X-ray analysis. Morphology of the resulting powders was analyzed by scanning electron microscopy.*

Введение

Нанопорошки оксида алюминия и систем на его основе нашли применение во многих сферах жизнедеятельности человека, таких как керамика с добавками нанопорошков, сорбентов и катализаторов[1-3]. Структура и свойства данных порошков обуславливают их необычные индивидуальные свойства: механические, физико-химические свойства, проявляющиеся как индивидуально, так и при взаимодействии с другими веществами.

В данной работе предложена методика получения активного оксида алюминия и систем на его основе. Цель работы – разработка методики получения активного оксида алюминия и магний – алюминиевой шпинели ($MgAl_2O_4$), магний алюминиевой шпинели с добавками кобальта и никеля ($Mg_xCo_{1-x}Al_2O_4$ и $Mg_{1-x}Ni_xAl_2O_4$) методом вакуумного распыления и изучение фазового состава и морфологии полученных порошков.

Экспериментальные методики

Получение активного оксида алюминия, магний – алюминиевой шпинели ($MgAl_2O_4$), магний алюминиевой шпинели с добавками кобальта и никеля ($Mg_xCo_{1-x}Al_2O_4$ и $Mg_{1-x}Ni_xAl_2O_4$)проводили методом распылительной сушки с помощь аппарата NanoSprayDryerB-90 (Швейцария)и химическим осаждением (для сравнения). Получившийся продукт подвергали термообработке 4 ч при температурах 550 ^oC, 600 ^oC, 700 ^oC(оксид алюминия), 2 ч при 1500 ^oC($MgAl_2O_4$), 2 ч при 1200 ^oC($Mg_xCo_{1-x}Al_2O_4$ и $Mg_{1-x}Ni_xAl_2O_4$).

Фазовый состав образцов исследовались с помощью рентгеновскогодифрактометраXRD - 7000SShimadzu (Япония). Исследование морфологии полученных образцов проводилось на растровом микроскопе «NeoScopeJCM-6000», просвечивающем микроскопе «JEM-2100F». Определение удельной поверхности образцов проводилось методом тепловой десорбции газов с помощью прибора «Sorbi®-M».

Результаты и их обсуждение

По данным таблицы 1 все полученные образцы представляют собой γ – Al_2O_3. Значительных различий в размере ОКР для образцов, полученных как распылительной сушкой, так и химическим осаждением, не обнаружено. Исходя из рисунка 1 (а, в) видно, что образцы, полученные на распылительной сушке, характеризуются сферической формой. Минимальный размер частиц – 400 нм. Максимальный размер гранул составил около 4 мкм. Гранулы имеют рыхлую поверхность и видно, что они состоят из более малых частиц.

Таблица 1 – Параметры и характеристики образцов Al_2O_3

№ образца	Методполучения	Т отжига, °С	Размер ОКР, нм	Фазовыйсостав
1	Распылительнаясушка	550	9,48	γ – Al_2O_3
2	Химическоеосаждение	550	9,49	
3	Распылительнаясушка	600	9,49	
4	Химическоеосаждение	600	9,49	
5	Распылительнаясушка	700	9,19	
6	Химическоеосаждение	700	9,46	

При химическом осаждении получаются более крупные окристаллизованные частицы неправильной формы (рис.1, б, г), на снимках их поверхность выглядит достаточно плотной, в отличие от образцов полученных на распылительной сушке. Предположительно, наличие зернистой структуры показывает, что частицы состоят из более мелких кристаллитов, что согласуется с данными РФА (ОКР 9нм). Возможно, промежутки между кристаллитами составляют пористую структуру образцов.

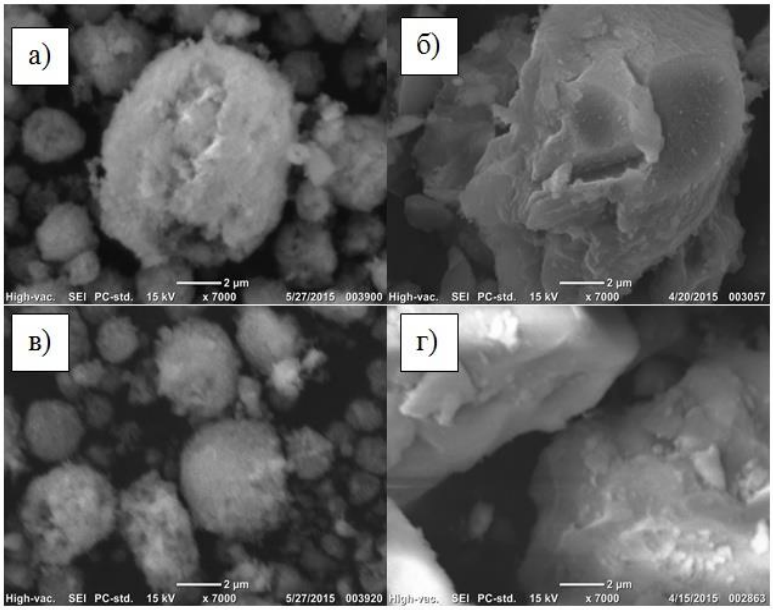


Рисунок 1 - СЭМ-изображения синтезированного порошка оксида алюминия: полученных распылительной сушкой (а, в) и химическим осаждением (б, г); термообработка при 550°С (а,б) и термообработка при 600°С (в,г)

В работе синтезировались шпинельные структуры: $MgAl_2O_4$, $Mg_{1-x}Co_xAl_2O_4$, $Mg_{1-x}Ni_xAl_2O_4$. Фазовый состав полученных образцов и значения их удельной поверхности приведены в таблице 3.Из таблицы 3 видно, что фазовый состав магний алюминиевой шпинели ($MgAl_2O_4$) полученной химическим осаждением однороден и выход продукта составил 100%. Образец же полученный распылительной сушкой содержит незначительную часть MgO не вступившего в реакцию образования окончательного продукта. Прокалка этих образцов осуществлялась при 1500 °С.

Шпинель $Mg_{1-x}Ni_xAl_2O_4$,полученная на распылительной сушке, представляет собой смесь $MgAl_2O_4$ и $NiAl_2O_4$, здесь также присутствуетне вступивший в реакцию Al_2O_3.Данная шпинель, полученная химическим осаждением содержит в себе $Mg_{0.7}Ni_{0.3}Al_2O_4$ и $MgAl_2O_4$. Таким образом, положительный результат достигнут методом химического осаждения. В условиях вакуумного распыления не удалось подобрать условий для получения $Mg_{1-x}Ni_xAl_2O_4$. Фазовый состав шпинелей с добавками кобальта и никеля очень неоднороден. В случае шпинели $Mg_{1-x}Co_xAl_2O_4$, полученной химическим осаждением, образовалось две независимые шпинельные структуры: $MgAl_2O_4$, $CoAl_2O_4$. А в образце, полученном распылительной сушкой помимо двух этих шпинельных структур обнаруживается Al_2O_3.

Таблица 3 - Основные параметры порошков шпинельных структур

№ образцов	Состав	Метод получения	ОКР, нм	Фазовый состав	S, $м^2/г$
7	$MgAl_2O_4$	Химическое осаждение	85,04	**100 % $MgAl_2O_4$**	0,61
8	$MgAl_2O_4$	Распылительнаясушка	15,44 17,29	**97,4 % $MgAl_2O_4$** 2,6 % MgO	0,14
9	$Mg_{1-x}Co_xAl_2O_4$	Химическоеосаждение	31,3 10,78	26,4 % - $MgAl_2O_4$ 27,7% - $CoAl_2O_4$	0,38
10	$Mg_{1-x}Co_xAl_2O_4$	Распылительнаясушка	22,97 13,31 9,05	2,3% - $MgAl_2O_4$ 18,1% - $CoAl_2O_4$ 33,1% - Al_2O_3	0,43
11	$Mg_{1-x}Ni_xAl_2O_4$	Химическоеосаждение	22,01 32,12	55,3% - $MgAl_2O_4$ 13,8 % - **$Mg_{0.7}Ni_{0.3}Al_2O_4$**	3,46
12	$Mg_{1-x}Ni_xAl_2O_4$	Распылительнаясушка	22,97 14,16 9,05	3,1% - $MgAl_2O_4$ 17,3% - $NiAl_2O_4$ 30% - Al_2O_3	2,75

Прокалка данных образцов проводилась при 1200 ^oC. Таким образом, для шпинели $Mg_{1-x}Co_xAl_2O_4$, оба метода не дали положительного результата. Целевой продукт не образовался, либо не удалось подобрать условий для его получения.

Выводы:

1. Полученные образцы порошков оксида алюминия имеют размер частиц менее 100 нм, что позволяет отнести данные порошки к нанопорошкам.
2. С увеличением температуры прокалки оксида алюминия от 550-700 ^oC происходит укрупнение частиц порошка, и как следствие, уменьшение удельной поверхности образцов.
3. Установлено, что метод распылительной сушки пригоден для получения сложных оксидных структур, таких как $MgAl_2O_4$, выход продукта составляет 97,4%.
4. Не удалось подобрать условия для получения $Mg_xCo_{1-x}Al_2O_4$.

Литература

1. Способ получения активного оксида алюминия: патент Рос. Федерации № 2259232; опубл. 27.08.2005, Бюл №3.
2. Способ получения пористого оксида алюминия: патент США №3664970 B01J 23/50, B01J 23/66; опубл. 05.23.1972.
3. Способ получения активного оксида алюминия: патентРос. Федерации № 2473468; заявл. 31.05.2011; опубл. 27.01.2013, Бюл №3.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ОКСИДА МЕДИ, ПОЛУЧЕННОГО ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Циммерман А.И., Шаненкова Ю.Л., Гуков М.И.
Научный руководитель: Сивков А.А., профессор, д.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: alextsimmer@yandex.ru

STUDY OF ULTRADISPERSED COPPER OXIDES OBTAINED BY PLASMA DYNAMIC METHOD

Tsimmerman A.I., Shanenkova Yu.L., Gukov M.I.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Sivkov A.A.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin av., 30, 634050
E-mail: alextsimmer@yandex.ru

Annotation – Copper oxide is widely used in the production of superconductors. One of the promising methods of obtaining nanosized copper oxide (II) is plasmodynamic method. This paper presents the results on obtaining of copper oxide in various atmospheres - oxygen-air, oxygen-nitrogen and pure oxygen. During the studies it was found that the highest percentage of CuO was presented in the synthesized product obtained in the oxygen atmosphere.

В развитие сверхпроводящих материалов наибольшее распространение получили соединения на основе купратов за счет более высокой критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние [1]. В том числе синтез иттрий бариевых купратов, которые наиболее широко используются на сегодняшний день. Для получения данного вида сверхпроводника необходимы оксид иттрия Y_2O_3, углекислый барий $BaCO_3$ и оксид меди CuO [1]. Оксиды меди (II) широко используются как антибактериальные продукты [2], в различных установках, например, печатной электронике, защите древесины, преобразовании солнечной энергии, высокоскоростного транспорта, в катализе [3], также используются для придания медицинским материалам биоцидных свойств [4]. Кроме того, наноструктуры CuO были изучены в качестве нового класса анодных материалов для аккумуляторных литий-ионных батарей и в качестве электродных материалов для суперконденсаторов [5]. Получение нанодисперсного с высокой чистотой продукта (до 95%) оксида меди остается актуальной задачей [6].

Нанодисперсный CuO получают различными способами: высокотемпературным процессом окисления [5], сонохимическим синтезом [5], дуговым распылением Cu в газовой смеси кислорода низкого давления, электрическим взрывом проводников [7], электролизом Cu с использованием переменного тока промышленной частоты [8]. Одним из перспективных методов синтеза нанодисперсных материалов является получение в высокоскоростной импульсной струе плотной электроэрозионной плазмы. Известно, что плазменные методы следующими преимуществами: возможность реализации процесса в течение короткого промежутка времени, высокие достигаемые температуры (~10000 К) и, соответственно, высокие скорости охлаждения ($>10^6$ К/с). В НИ ТПУ разработан метод плазмодинамического синтеза на основе импульсного сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя, с помощью которого возможно получение нанодисперсного CuO [9].

С помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя с медными электродами была произведена серия экспериментов при разных энергетических, геометрических параметрах системы. На ри-

сунке 1 представлены типичные осциллограммы напряжения и тока, полученные при C = 28,8 мФ, $U_{ЗАР}$ = 2 кВ, накопленная энергия W_c = 57,6 кДж, атмосферное давление в камере-реакторе p = 1 атм. Из осциллограмм видно, что процесс длится примерно 600 мкс. Амплитудные значения тока I_m = 124 кА и напряжения U_m = 1,08 кВ. Электрическая мощность, развиваемая ускорителем, находится из выражения: $P(t) = U(t) \cdot i(t)$. Таким образом, максимальная мощность ускорителя составляет 136 кВт. Полная подведенная энергия в данном случае составила 35 кДж.

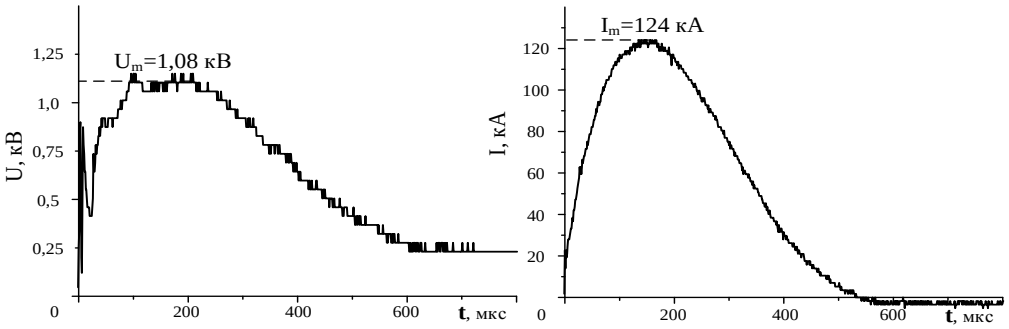


Рис. 1. Типичные осциллограммы напряжения и тока

Для исследования влияния фазового состава синтезированного продукта в ходе эксперимента изменялось давление в камере-реакторе. В таблице 1 представлены параметры экспериментов, в том числе указаны давление в камере реакторе P, зарядная ёмкость C, зарядное напряжение $U_{ЗАР}$, энергия накопителя W_C, время импульса t, амплитудные значения тока I_m, и напряжения U_m и выделившаяся энергия W, а также фазовый состав продуктов синтезированного материала.

Таблица 1

Параметры экспериментов

№	P, Атм	C, мФ	$U_{ЗАР}$, В	W_C, кДж	t, мкс	I_m, кА	U_m, кВ	W, кДж	Фазовый состав, %			
									CuO	Cu_2O	Cu	$Cu(OH)_2 \cdot H_2O$
1	0,5/0,5 O_2/воз.	14,4	2,0	28,8	400	120	0,78	21,5	77,9	6,1	1,0	15,0
2	0,8/0,2 O_2/N_2	14,4	2,0	28,8	390	140	0,92	23,0	77,8	3,4	18,8	-
3	1,0 O_2	27,6	1,3	23,3	760	63	0,80	17,4	93,3	4,9	1,8	-

Из таблицы 1 видно, что продукт, синтезированный в атмосфере кислород-воздух (50%/50%) (опыт №1) имеет следующий фазовый состав: оксид меди (II) CuO, оксид меди (I) Cu_2O, медь Cu и гидратированный гидроксид меди $Cu(OH)_2 \cdot H_2O$. Присутствие меди объясняется тем, что ускорительный канал КМПУ выполнен из меди. Ожидаемый оксид меди представлен в двух видах соединения с разными валентностями. Так как, Cu_2O является менее стабильным материалом в отличие от CuO, следовательно, необходимо уменьшить процентное содержание данной фазы в продукте. Фаза $Cu(OH)_2 \cdot H_2O$ образуется за счёт присутствия в камере-реакторе воздуха. Эксперимент под номером 2 (таблица 1) был произведён в атмосфере O_2/N_2 с процентным содержанием 80% к 20% соответственно. Из таблицы видно, что в синтезированном продукте, полученном в данной атмосфере, отсутствует фаза $Cu(OH)_2 \cdot H_2O$. Однако процентное содержание ожидаемой фазы оксида меди (II) не увеличилось. Для увеличения массового содержания CuO объём камеры-реактора заполнялся чистым кислородом (100%). В результате получено существенное увеличение процентного содержания CuO до ~94%. Таким образом, для получения оксида меди (II) с чистотой до 94% необходимо проводить эксперимент в атмосфере кислорода без дополнительных примесей.

На рисунке 2 представлена рентгеновская дифрактограмма продукта синтеза опыта №3 (таблица 1). Фазовый анализ продукта проведен с помощью программы Powder-Cell и базы структурных данных PDF 4. Из рисунка видно, что полученный материал состоит в основном из оксида меди (II), также присутствуют фазы меди и оксида меди (I).

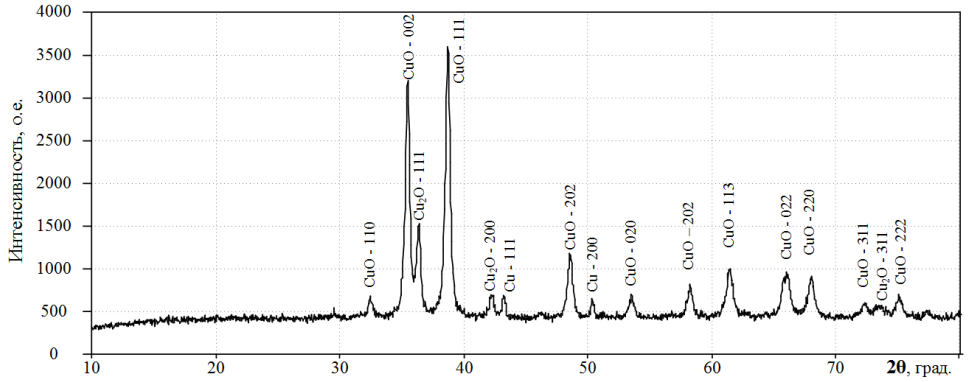


Рис. 2. Рентгеновская дифрактограмма продукта синтеза

Таким образом, в работе показано, что с помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя возможно получение ультрадисперсного оксида меди. Наибольшее массовое содержание (94%) требуемой фазы CuO получается в кислородной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гинзбург В.Л., Андрюшин Е.А. Сверхпроводимость. – М.: Альфа-М, 2006. – 112 с.

2. Ramskova T., Croteaub M.-N., Forbesc V.E., Selck H. Biokinetics of different-shaped copper oxide nanoparticles in the freshwater gastropod, Potamopyrgus antipodarum // Aquatic Toxicology. – 2015. – № 163. – P. 71–80

3. Jing X., Park J.H., Peters T.M., Thorne P.S. Toxicity of copper oxide nanoparticles in lung epithelial cells exposed at the air–liquid interface compared with in vivo assessment // Toxicology in Vitro. – 2015. – Vol. 29. – P. 502–511

4. Гарасько Е.В., Тесакова М.В., Чуловская А.С. и др. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2008. – Т. 51. – № 10. – С. 116–119

5. Gacia P.D., Shrestha L.K., Bairi P., Sanchez-Ballester N.M., Hill J.P., Boczkowska A., Abe H., Ariga K. Low-Temperature Synthesis of Copper oxide (CuO) Nanostructures with Temperature-Controlled Morphological Variations // Ceramics International. – 2015. – Doi:10.1016/j.ceramint.2015.03.323

6. Ananth A., Dharaneedharan S., Heo M.-S., Mok Y.S. Copper oxide nanomaterials: Synthesis, characterization and structure-specific antibacterial performance // Chemical Engineering journal. – 2015. № 262. – P. 179–188

7. Назаренко О.Б., Тихонов Д.В. // Огнеупоры и техническая керамика. – 2006. – № 10. – С. 25–29

8. Коробочкин В.В., Усольцева Н.В., Горлушко Д.А., Балмашнов М.А. // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 3. – С. 3–16

9. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Заявлено 24.09.2013; Опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 6с.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОФИЛЬНЫХ МИКРОДУГОВЫХ БИОПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЗАМЕЩЕННОГО ГИДРОКСИАПАТИТА

Чебодаева В.В. [1], Комарова Е.Г. [2]

Научный руководитель: Шаркеев Ю.П. [1,2], профессор, д.ф.-м.н.;

[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, пр. Академический 2/4, 634021

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: vtina5@mail.ru

PHYSICAL AND CHEMICAL FEATURES OF HYDROPHILIC MICROARC BIOCOATINGS BASED ON SUBSTITUTED HYDROXYAPATITE

Chebodaeva V.V.[1], Komarova E.G.[2]

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Sharkeev Yu.P. [1,2]

[1]National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

[2]Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS,

Russia, Tomsk, 2/4 Academicheskii pr., 634021

E-mail: vtina5@mail.ru

The physical and chemical properties as topography, morphology, chemical composition and wettability of microarc calcium phosphate coatings based on Zn- and Cu- substituted hydroxyapatite on the Ti-40mas.%Nb alloy surface has been investigated. It have been found that calcium phosphate coatings on Ti-40mas.%Nb alloy produced under 200 V have X-ray amorphous state and as consequence high rate of dissolution. The phase composition of the coatings produced under 300 V is presented the following phases: $CaHPO_4$, β-$Ca_2P_2O_7$, $Ca_2Nb_2O_7$, NbO_2, Nb_2O_5, TiO_2. It has been shown that the biocoatings are very hydrophilic.

В медицине широко применяются биокерамические покрытия на основе идентичных составу человеческой кости ортофосфатов кальция, нанесенные на поверхность имплантируемых металлических конструкций. Металлическая подложка обеспечивает механическую прочность всей конструкции, а кальцийфосфатное покрытие (КФ) – хорошую совместимость с живыми тканями. Для достижения антибактериального эффекта в гидроксиапатит (ГА) внедряют атомы Zn, Cu, Mg. В качестве подложки наиболее перспективными являются псевдоупругие сплавы, в частности Ti-Nb и Ti-Nb-Zr, т.к. они характеризуются схожим с живой костью гистерезисным деформационным поведением, что существенно улучшает их биомеханическую совместимость. Для нанесения КФ покрытий перспективно использовать метод микродугового оксидирования (МДО) из-за свойств получаемых покрытий [1]. Цель данной работы – исследование физико-химических свойств микродуговых биопокрытий на основе Zn- и Cu-замещенного ГА на поверхности сплава Ti-40%мас.Nb (Ti-40Nb).

В эксперименте образцы из сплава Ti-40Nb нарезались в виде пластин размером 10×10×1 мм^3. КФ покрытия наносились методом МДО на установке MicroArc–3.0 [1] в электролите на основе водного раствора ортофосфорной кислоты, карбоната кальция и замещенного ГА. Zn- и Cu- замещенный ГА ($Ca_{9.9}Zn_{0.1}(PO_4)_6(OH)_2$ и $Ca_{9.9}Cu_{0.1}(PO_4)_6(OH)_2$) был получен механохимическим синтезом по методике [2].

Параметры нанесения покрытий были следующие: длительность импульсов – 100 мкс, частота следования импульсов – 50 Гц, время нанесения покрытия – 10 мин, рабочее напряжение МДО варьировалось от 200 до 300 В. Шероховатость измеряли на профилометре по параметру *Ra*. Рентгенофазовый анализ выполняли на дифрактометре Brucker D8 Advance в Cu *K*α-излучении. Исследование методом инфракрасной (ИК) спектроскопии проводили на ИК-спектрометре с Фурье преобразованием FTIR Spectrometer BIO RAD FTS 175 в интервале 4000-400 $см^{-1}$. Исследования смачиваемости покрытий проводили на установке Kruss Easy Drop DSA1. Измеряли краевые углы с тестовыми жидкостями (водой и глицерином) по профилю лежащей капли [3].

Результаты исследований методом растровой электронной микроскопии (РЭМ), представленные на рис. 1, показывают, что морфология поверхности КФ покрытий на основе Zn- и Cu-замещенного ГА идентична и представлена сфероидальными образованиями со сквозными порами. Покрытие начинает формироваться при напряжении процесса 200 В, при этом шероховатость КФ покрытий составляет 3 мкм (рис. 1 *а, в*). При повышении электрического напряжения до 300 В сфероидальные образования увеличиваются в размере от 20 до 40 мкм и частично разрушаются. При данном напряжении процесса внутри частично разрушенных «сферолитов» образуются кристаллы пластинчатой формы (рис.1 *б, г*). Шероховатость покрытий на основе Zn- и Cu-замещенного ГА при таком напряжении составляет соответственно 5 и 6 мкм. Увеличение размеров структурных элементов и изменение морфологии поверхности КФ покрытий при повышении электрического напряжения связано с увеличением микроплазменных разрядов и, как следствие, плотности тока процесса МДО.

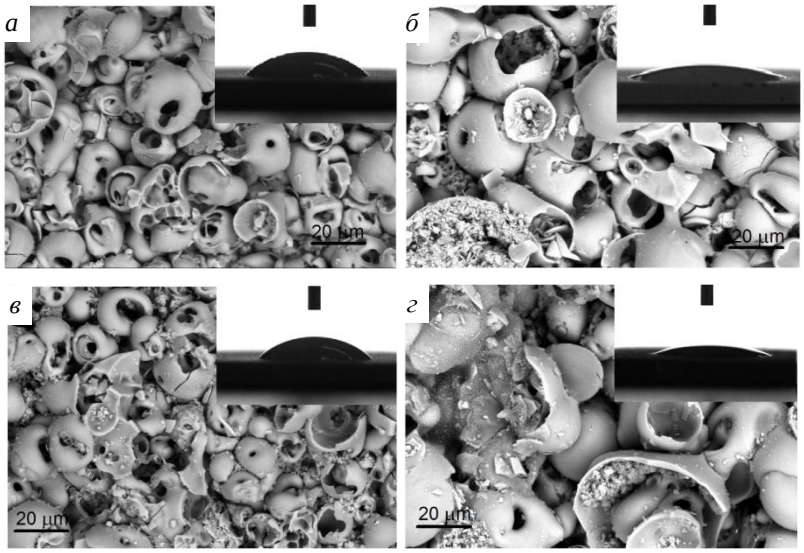


Рис. 1. РЭМ изображения КФ покрытий на основе Zn- (а, б) и Cu-замещенного (в, г) ГА и изображения капель воды на поверхности покрытий, полученных при напряжениях МДО: 200 В (а, в) и 300 В (б, г)

Рентгенофазовый анализ показал, что КФ покрытия на основе Zn- и Cu-замещенного ГА, полученные при напряжении процесса 200 В на поверхности сплава Ti-40Nb, находятся в рентгеноаморфном состоянии (рис. 2 *а*). Повышение напряжения оксидирования до 300 В приводит к кристаллизации КФ покрытия. При этом в покрытии формируются следующие кристаллические фазы: $CaHPO_4$, β-$Ca_2P_2O_7$, $Ca_2Nb_2O_7$, NbO_2, Nb_2O_5, TiO_2 (рис. 2 *б*).

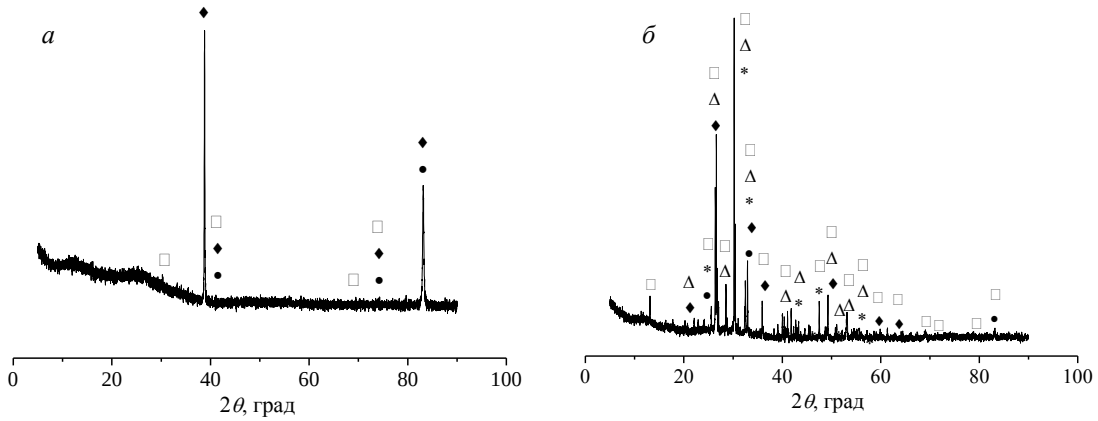


*Рис. 2. Дифрактограммы КФ покрытий на основе замещенного ГА, нанесенных при напряжениях процесса 200 В (а) и 300 В (б): □ – $CaHPO_4$, Δ – β-$Ca_2P_2O_7$, * – $Ca_2Nb_2O_7$,♦ – NbO_2, Nb_2O_5, ● – TiO_2*

Исследование смачиваемости КФ покрытий на основе Zn- и Cu -замещенного ГА с двумя тестовыми жидкостями показало, что значения краевых углов уменьшаются с повышением напряжения процесса от 20 до 12° с водой и от 40 до 25° с глицерином (табл. 1, рис. 1), что указывает на высокую гидрофильность покрытий. При этом свободная поверхностная энергия КФ покрытий имеет высокие значения 74-80 мН/м (табл. 1), что связано с развитым рельефом поверхности и наличием пористости.

ИК-спектры КФ покрытий на основе Zn- и Cu-замещенного ГА, представленные на рис. 3, характеризуются наличием полос поглощения ОН-групп при 3550-3200 $см^{-1}$, 1650-1620 $см^{-1}$ и 660-630 $см^{-1}$, интенсивных полос, принадлежащих антисимметричным и симметричным колебаниям фосфатной связи Р–О, соответственно при 1130-1030 и 960-930 $см^{-1}$, а также полосы, соответствующей трехкратно вырожденным деформационным колебаниям связей О–Р–О в фосфатной группе, при 600-520 $см^{-1}$. Появление полосы поглощения при 2400-2300 $см^{-1}$ может быть связано с поглощением образцом атмосферного углекислого газа CO_2 во время снятия ИК-спектров. Наличие в покрытии сильных полярных химических связей (ОН-группы и фосфаты) обуславливает высокую гидрофильность.

Таблица 1

Краевые углы (θ) и поверхностная энергия (σ) КФ покрытий на основе Zn- и Cu-замещенного ГА

U, В	Zn-замещенный ГА			Cu-замещенный ГА		
	$\theta_{вода}$, град	$\theta_{глиц.}$, град	σ, мН/м	$\theta_{вода}$, град	$\theta_{глиц.}$, град	σ, мН/м
200	3,4	75,1	78,5	2,5	78,6	81,0
250	5,4	71,5	76,9	4,0	74,7	78,6
300	10,0	64,1	74,1	10,0	64,2	74,2

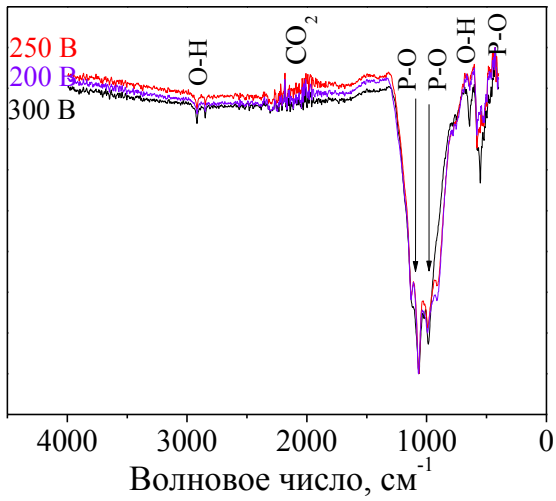


Рис. 3. Типичные ИК спектры КФ покрытий на основе Zn- и Cu-замещенного ГА

Таким образом, микродуговые КФ покрытия на основе Zn- и Cu -замещенного ГА, полученные при напряжении процесса 200 В на поверхности сплава Ti-40Nb, имеют рентеноаморфную структуру, и как следствие высокую скорость биорезорбции. С повышением напряжения оксидирования происходит кристаллизация покрытий и формирование фаз: $CaHPO_4$, β-$Ca_2P_2O_7$, $Ca_2Nb_2O_7$, NbO_2, Nb_2O_5, TiO_2. Кроме того, благодаря развитому рельефу и наличию в составе ОН-групп, фосфатов и оксидов КФ покрытия обладают высокой гидрофильностью.

Авторы признательны профессору М. Эппле и его коллегам из университета Дуйсбург-Эссен, Германия, за помощь при выполнении экспериментов, а также д.х.н., в.н.с. ЛИМР ИХТТМ СО РАН, г.Новосибирск, М.В. Чайкиной за получение замещенного гидроксиапатита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ю.П. Шаркеев, С.Г. Псахье, Е.В. Легостаева, А.Г. Князева, А.Ю. Смолин, А.Ю. Ерошенко и др. Биокомпозиты на основе кальцийфосфтаных покрытий, наноструктурных и ультрамелкозернистых биоинертных металлов, их биосовместимость и биодеградация / отв. ред. Н.З. Ляхов. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. – 596 с.

2. Chaikina M.V., Bulina N.V., A.V. Ishchenko, I.Yu. Prosanov. Mechanochemical Synthesis of SiO_4^{4-}-Substituted Hydroxyapatite, Part I – Kinetics of Interaction between the Components // European Journal of Inorganic Chemistry. 2014, vol. 2014, Issue 28, p. 4803-4809.

3. Комарова Е.Г. , Шаркеев Ю.П. , Чебодаева В.В. Влияние параметров микродугового оксидирования на шероховатость и смачиваемость кальцийфосфатных покрытий // Известия вузов. Физика. – 2014 – Т. 57 – № 10/3. – С. 171-175.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИННОВАЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИМЕЮЩИХ В СОСТАВЕ НАНОПОРОШКИ

Чермошенцева А.С.

Научный руководитель: Покровский А.М., профессор, д.т.н.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,

Россия, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5/1, 105005

E-mail: anechka227@yandex.ru

В данной работе представлены результаты механических испытаний и найдены оптимальные степени наполнения композиционных материалов (КМ) гидрофобными порошками (Таркосил Т-20) в зависимости от массовой концентрации. Получены результаты испытания образцов из КМ с заложенными межслойными дефектами с добавлением в связующее нанодисперсных добавок различной объемной концентрацией от 0,1% до 0,5%.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF INNOVATIVE COMPOSITE MATERIALS WITH NANOPOWDERS IN STRUCTURE

Chermoshentseva A.S.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Pokrovskiy A.M.

Bauman Moscow State Technical University, Russia, Moscow, Baumanskaya 2-ya str., 5/1, 105005

E-mail: anechka227@yandex.ru

This paper presents the results of mechanical tests and found the optimum degree of filling of composite materials (CM) of hydrophobic powder (Tarkosil T-20) depending on mass concentration. The results of the CM test samples with the underlying interlayer defects with the addition of a binder nanosized additives volume concentration varying from 0.1% to 0.5%.

С развитием наноиндустрии появилась возможность упрочнения слоистых композиционных материалов на основе эпоксидных смол за счет введения в матрицу различных видов наноматериалов, таких как, нанотрубоки, наночастицы, нановолокона, что позволяет повысить на 20-30% их физико-механические свойства [1]. В настоящее время исследования о поведении таких материалов в изделиях и конструкциях далеки от своего завершения. В данной работе представлены исследований по изменению механических свойств композиционных материалов (КМ) от степени наполнения гидрофобными порошками (Таркосил Т-20). Получены результаты испытания образцов из КМ с заложенными межслойными дефектами с добавлением в связующее нанодисперсных частиц (диоксид кремния) различной объемной концентрацией от 0,1% до 0,5%.

Для экспериментов были изготовлены образцы на основе стекловолокна сатинового плетения с эпоксидным связующим. В качестве наномодифицирующих добавок в ПКМ были выбраны: нанодисперсный порошок диоксида кремния Таркосил – 20 (Т-20). Модели дефектов, имитирующие отслоения, изготавливаются в образцах путем закладки между слоями с выходом на кромку образца тонкой полоски из тефлоновой пленки толщиной 10 - 100 микрон, покрытую антиадгезионным слоем.

Для исследований были изготовлены по 10 образцов с различной массовой концентрацией: Снап = 0,1%; Снап=0,3%; Снап = 0,5% (всего 30 образцов). Для сравнительного анализа изготовлены контроль-

ные образцы (КО) без нанодобавок с заложенным межслойным дефектом (10 образцов). Данные для образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Данные для образцов – пластина со сквозным дефектом

№	Наим. нано частиц	Концентр. наночастиц в масс. %	L(мм) длина образца	H(мм) толщина образца	l(мм) длина дефекта	h(мм) толщина дефекта	Кол-во слоев образца	Кол-во слоев в дефектной части	Угол укладки волокон
1	Т-20	0,1	230	2	60	0,4	10	2	$(45,-45)_5$
2	Т-20	0,3	230	2	60	0,4	10	2	$(45,-45)_5$
3	Т-20	0,5	230	2	60	0,4	10	2	$(45,-45)_5$
4	КО	-	230	2	60	0,4	10	2	$(45,-45)_5$

Образцы изготовлены из десятислойного препрега промышленная марка стеклоткани – Т-25 (ВМ) ТУ 6-11-380-76 (рис.1). Однонаправленный материал имеет следующие характеристики: стеклопластик - $E_1 = 5{,}4 \cdot 10^4$ МПа, $E_2 = 1{,}2 \cdot 10^4$ МПа, $G_{12} = 0{,}5 \cdot 10^4$ МПа, $\mu = 0{,}28$.

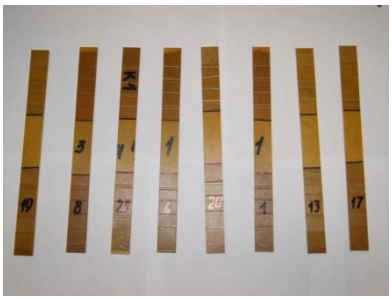


Рис.1. Образцы для испытаний

Для определения предела прочности образцов использовали электромеханическую испытательную машину Instron 5982 (рис. 2). В процессе нагружения выполняется автоматическая фиксация зависимости прикладываемых к образцу сил P от осевого перемещения.



Рис.2. Стенд для испытаний

Выборочные результаты экспериментов представлены в таблице 2: критическая нагрузка дефектного участка (Ркр. дефекта), критическая нагрузка пластины с дефектом (Ркр.пластины) и нагрузка при разрушении пластины (Рмакс. разрушения). На рисунке 3 получены графические зависимости нагружения от перемещений для образцов.

Таблица 2. Результаты экспериментальных работ

Тип образца	Ркр. Пластины (Н)	Ркр. Дефекта (Н)	Рмакс. Разрушения (Н)

Тип образца	Ркр. Пластины (Н)	Ркр. Дефекта (Н)	Рмакс. Разрушения (Н)
КО	486,7	458,3	140
КМ с добавкой Т-20 в масс. % 0,3	601,7	535,25	268
КМ с добавкой Т-20 в масс. % 0,5	576,5	569,25	283,3
КМ с добавкой Т-20 в масс. % 0,1	486,9	391	240

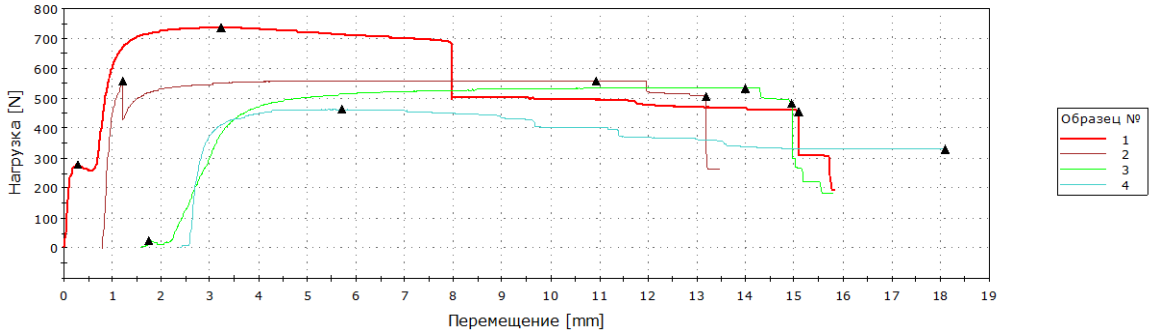


Рис. 2. ***1*** *- Композиционный материал с добавкой Таркосил-20 в масс. % 0,3;* ***2*** *- Композиционный материал с добавкой Таркосил-20 в масс. % 0,5;* ***3*** *- Композиционный материал с добавкой Таркосил-20 в масс. % 0,1;* ***4*** *– Контрольный образец*

Анализ полученных данных показал, что введение порошка Таркосил в КМ с дефектами приводит к изменению прочности смеси на их основе. Наилучший результат Ркр. пластины по сравнению с контрольными образцами был выявлен у образцов с наноматериалами с Т-20 при концентрации 0,3.

Данные исследования будут использованы для решения задач упрочнения межслойных дефектов в слоистых композиционных материалах, появление которых является следствием несовершенства технологии производства и воздействия эксплуатационных нагрузок, за счет добавлении наночастиц в связующее [2-4].

Работа выполнена при финансовой поддержки гранта РФФИ. Проект №15-38-50484 мол_нр "Устойчивость тонкостенных элементов конструкций из слоистых композиционных материалов с учетом межслойных дефектов".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Брусенцева Т., Зобов К., Филиппов А., Базарова Д., Лхасаранов С., Чермошенцева А., Сызранцев В. Введение нанопорошков и механические свойства материалов на основе эпоксидных смол// Наноиндустрия.- 2013.-№ 3(41).- С. 24-31.

2. Бохоева Л.А. Исследование устойчивости пластин с дефектами в нелинейной постановке// Известия высших учебных заведений. Машиностроение. -2008. -№ 2. -С. 22-28.

3. Бохоева Л.А., Балданов А.Б., Рогов В.Е. Прочность кольцевых образцов из слоистых композиционных материалов с межслойными дефектами// Фундаментальные проблемы современного материаловедения.- 2013. -Т. 10, № 1. -С. 87-92.

4. Бохоева Л.А., Пнев А.Г., Чермошенцева А.С. Испытание на прочность кольцевых образцов из слоистых композиционных материалов с межслойными дефектами// Вестник Бурятского государственного университета. -2011.- № 9. -С. 230-236.

СИНТЕЗ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА ДИБОРИДА ХРОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА

Чушенков В. И.

Научные руководители: Крутский Ю.Л., к.т.н, доцент; Дюкова К.Д.

Новосибирский государственный технический университет,

Россия, г.Новосибирск, пр-т Карла Маркса, 20, 630073

E-mail: chushenkov.vladislav@mail.ru

SYNTHESIS OF CHROMIUM DIBORIDE FINE POWDERS USING CARBON NANOFIBERS

Chushenkov V.I.

Scientific Supervisor: Krutskii Y.L., Ph.D.; Dyukova K.D.

Novosibirsk state technical university, Russia, Novosibirsk, Karl Marx str., 20, 630073

E-mail: chushenkov.vladislav@mail.ru

Соединения металлов с бором – бориды – представляют собой очень важный и обширный класс неорганических соединений, отличающихся тугоплавкостью, высокой химической стойкостью в различных агрессивных средах, а также высокими показателями электро- и теплопроводности. Одним из наиболее важных представителей боридов является диборид хрома CrB_2.

В Новосибирском государственном техническом университете на кафедре химии и химической технологии проводят реакции синтеза водорода методом селективного каталитического пиролиза легких углеводородов. Одним из продуктов процесса является нановолокнистый углерод (НВУ), обладающий рядом уникальных свойств, по сравнению с обычным углеродным материалом (сажей). В частности, он имеет высокое значение удельной поверхности (~200 $м^2/г$). Именно НВУ был использован для синтеза CrB_2. Также в реакции синтеза в качестве реагента выступил высокодисперсный порошок карбида бора B_4C с размером частиц менее 1 мкм.

Преимуществом использования НВУ является то, что на выходе получается высокодисперсный порошок диборида хрома, практически не содержащий каких-либо примесей, в этом и заключается актуальность проводимых экспериментов.

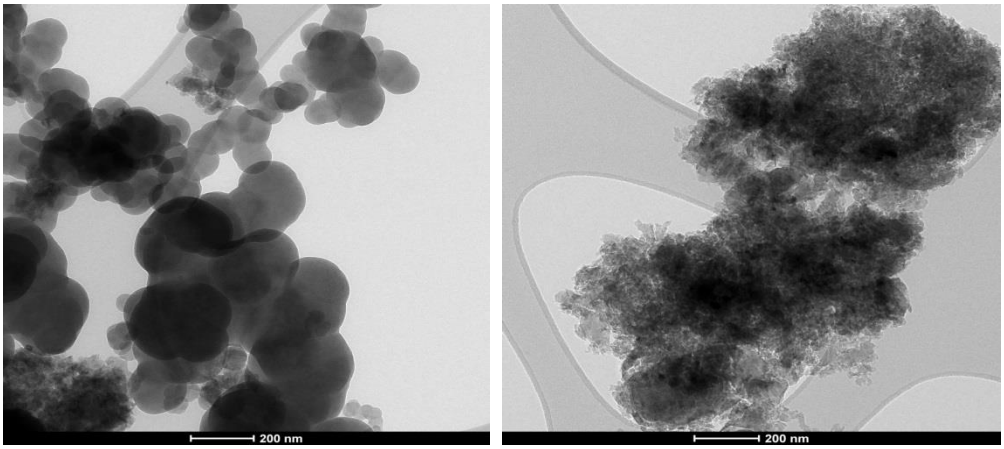


Рис. 1. Снимки просвечивающей электронной микроскопии углеродных материалов (слева – сажа, справа – НВУ)

Шихта для карбидоборного синтеза CrB_2 готовилась в соответствии со стехиометрией для реакции:

$$Cr_2O_3 + B_4C + 2C = 2CrB_2 + 3CO \quad (1)$$

Полученная шихта засыпалась в тигель из стеклоуглерода, далее тигель помещался в кварцевый химический реактор, который, в свою очередь, помещался в индукционную печь тигельного типа. Синтез диборида хрома проходил в среде аргона, он необходим для того, чтобы избежать нежелательного азотирования карбида бора при высоких температурах.

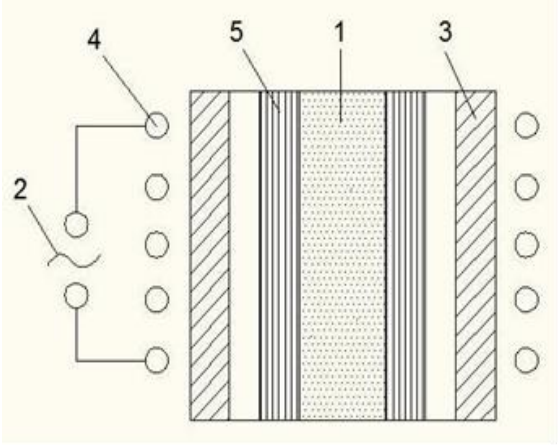


Рис. 2. Схема устройства индуктора с химическим реактором. 1 – нагреваемое тело (шихта), 2 – источник питания, 3 – кварцевый реактор, 4 – индуктор, 5 – промежуточное нагреваемое тело (тигель)

Было проведено три реакции синтеза при температурах 1300°C, 1500°C и 1700°C, время выдержки в печи 20 минут. Из реакции карбидоборного синтеза диборида хрома (1) можно заметить, что в качестве побочного продукта реакции выступает монооксид углерода CO, поэтому синтез CrB_2 сопровождается убылью массы. Экспериментальная убыль массы составила 24,41%; 31,12%; и 36.08% для различных температур соответственно, а в свою очередь расчетная составила 36,2%. Экспериментальная убыль массы при температуре 1700°C очень близка к расчетной, что говорит о практически полном протекании процесса синтеза CrB_2.

Рентгенофазовый анализ показал, что практический чистый однофазный продукт был получен при температуре 1700°C. На дифрактограммах образцов, полученных при температуре ниже 1700°C, наблюдаются пики CrB, Cr_3B_4 и CrB_2. Это говорит о том, что, предположительно, процесс образования диборида хрома проходит через постепенное образование фаз $Cr_2B \rightarrow Cr_5B_3 \rightarrow CrB \rightarrow Cr_3B_4 \rightarrow CrB_2$.

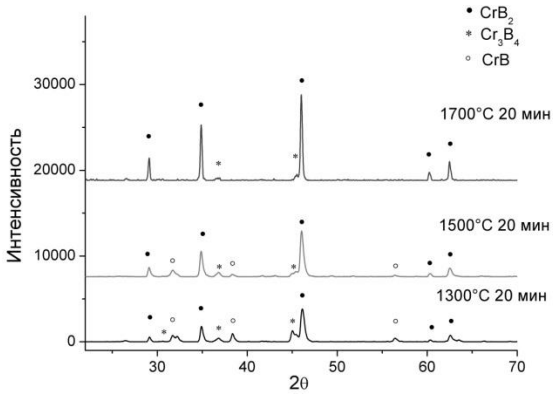


Рис. 3. Дифрактограммы образцов диборида хрома

Так как было установлено, что до конца прореагировал только один образец (при 1700 °С), дальнейшим испытаниям подвергался только он.

Результатами атомно – эмиссионной спектроскопии установлено, что примеси в полученном образце CrB_2 содержатся на уровне 1,5%.

По данным растровой электронной микроскопии установлено, что частицы диборида хрома агрегированы, имеют удлиненную форму с округлыми краями. Диаметр частиц находится на уровне 2 мкм, длина достигает 4 мкм.

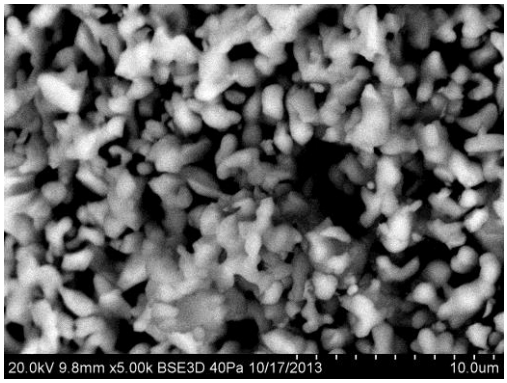


Рис. 4. Снимок сканирующей электронной микроскопии полученного образца диборида хрома

Как было сказано ранее, диборид хрома очень устойчив к окислению в агрессивных средах, в частности, к окислению кислородом, поэтому было решено провести термический анализ полученного образца CrB_2. Стоит отметить, что при окислении всех боридов при температуре ~450°С образуется бороксидная пленка B_2O_3, которая препятствует дальнейшему окислению, это и характеризует высокую коррозионную стойкость диборида хрома. Заметное окисление боридов наблюдается лишь при температуре ~1200°С, когда становится заметной летучесть B_2O_3.

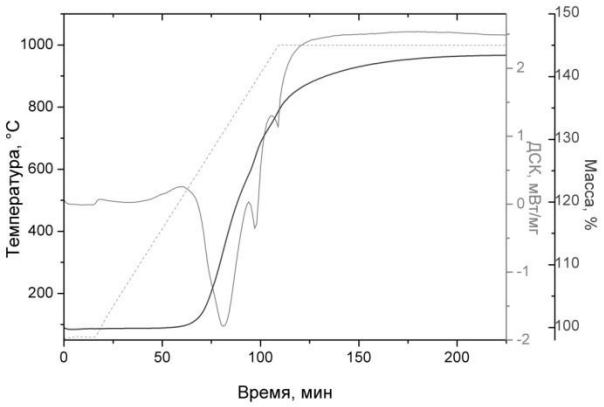


Рис. 5. ТГ – ДСК кривые образца диборида хрома

По результатам термического анализа полученный образец диборида хрома начинает окисляться при температуре 498°С, а при выдержке при температуре 1000°С в течение 3 часов он окисляется на 44%. Процесс окисления характеризуется тремя пиками тепловыделения. Максимальное тепловыделение наблюдается при температуре 719°С, второй и третий пики образуются при температурах 882°С и 999°С.

Таким образом, проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что НВУ является очень хорошим и перспективным материалом для получения высокодисперсного, практически чистого порошка CrB_2 карбидоборным методом.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ВОЛЬФРАМАТА ЦИРКОНИЯ

Шадрин В.С.[1,2], Дедова Е.С.[2,3], Гебер Р.[4]
Научный руководитель: Кульков С.Н.[1,2,3], профессор, д.ф.-м.н.
[1]Томский государственный университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина 36, 634050
[2]Институт физики прочности и материаловедения, Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4, 634055
[3]Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050
[4]Университет Мишкольца, Венгрия, г. Мишкольц, Egyetem út, 3515
E-mail: vshadrin91@gmail.com

METALMATRIXCOMPOSITESWITHNANOSIZEDZIRCONIUMTUNGSTATEPARTICLES

ShadrinV.S.[1,2], DedovaE.S.[2,3], Geber R.[4]
Scientific Advisor: Prof., Dr. Kulkov S.N.[1,2,3]
[1]Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
[2]Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia, Tomsk, Akademicheskiy str., 2/4, 634055
[3]Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
[4]University of Miskolc, Hungary, Miskolc, Egyetem út, 3515
E-mail: vshadrin91@gmail.com

Negative thermal expansion behavior of zirconium tungstate (ZrW_2O_8) allows us to make use of an alternative strengthening mechanism based on thermal expansion mismatch. In the study an effect of ZrW_2O_8 particles on the structure and mechanical properties of aluminum was investigated. Al – ZrW_2O_8 metal matrix composites were produced by cold pressing and sintering the mixtures of commercially pure aluminum and zirconium tungstate. Obtained lattice parameters for aluminum were decreasing with increase of ZrW_2O_8 content, which may be attributed to the presence of internal residual stresses in the material. Uniaxial compressive test and Vickers hardness test showed that the addition of 0.5 wt% of ZrW_2O_8 leads to an about 25% increase in mechanical properties of the composites compared to pure aluminum.

Разработка новых конструкционных материалов, легких с высокими прочностными характеристиками, является одним из основных направлений современного материаловедения. Сплавы на основе алюминия в настоящее время являются одними из наиболее широко используемых конструкционных материалов. Эффективным решением задачи повышения комплекса физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик материала является дисперсное упрочнение. введение частиц, с отрицательным тепловым расширением в металлическую матрицу позволяет усилить дисперсное упрочнения за счет формирования внутренних сжимающих напряжений, вызванных разностью коэффициентов теплового расширения исходных компонентов.

Целью настоящей работы являлось исследование особенностей структуры и фазовых превращений вольфрамата циркония, а также изучение структуры и механических свойств (твердость по Виккерсу, предел прочности на сжатие) металломатричных композитов Al – ZrW_2O_8.

Наноразмерный монофазный порошок вольфрамата циркония был получен гидротермальным методом [1, 2]. Для создания металломатричных композитовAl – ZrW_2O_8использовалипорошокалюминия (т.ч.) и порошок вольфрамата циркония. Концентрация ZrW_2O_8 в исходной порошковой смеси составляло от 0,1 до 10 мас.%. Для изучения свойств материалов производилось прессование образцов с последующим спеканием при температуре 873 K в течение 1 часа. Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализы проводились на рентгеновском дифрактометре с CuKα излучением. Визуально-термический

анализ проводили на высокотемпературном микроскопе Microvis, эксперимент проводился в диапазоне от 300 до 1475 К со скоростью нагрева 20 К в минуту, на воздухе. Механические испытания проводились на микротвердомере ПМТ-3 и испытательной установке Instron 1185.

Согласно данным растровой и просвечивающей электронной микроскопии (РЭМ, ПЭМ), порошокZrW_2O_8 состоит из вытянутых частиц с собственной блочной структурой, рисунки 1, 2. Средний размер единичных вытянутых частиц в поперечном направлении составил 200 нм, размер блоков – 50 нм.



Рис. 1. РЭМ изображение ZrW_2O_8

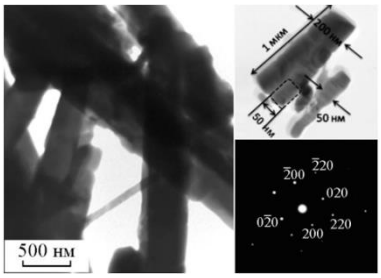


Рис. 2. ПЭМ изображение ZrW_2O_8

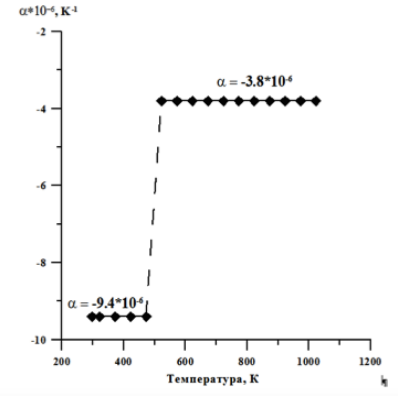


Рис.3. Зависимость КТЛРZrW_2O_8 от температуры

Расчет параметра кубической решетки ZrW_2O_8 (*a*) показал уменьшение величины *a* с повышением температуры от 298 до 1040K, что свидетельствует об отрицательном коэффициенте теплового расширения материала.

Установлено, что значение КТЛР составляет $-9{,}4\cdot10^{-6}$ в интервале от 298 до 470 К, $-3{,}8\cdot10^{-6}$ K^{-1}в диапазоне от 470 до 1040 К, рисунок 3. Изменение значения КТЛР при температуре 470 ± 25 К соответствует фазовому переходу из низкотемпературной (α-)в высокотемпературную (β-) модификацию вольфрамата циркония.

Результаты, полученные с высокотемпературного микроскопа, позволили определить температуры спекания, размягчения и плавления вольфрамата циркония. Полученные результаты представлены на рисунке 4.

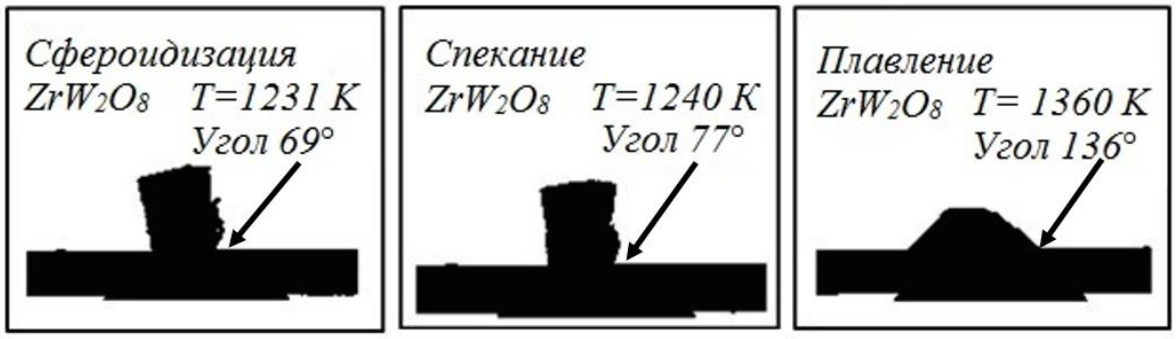


Рис.4.Теневая микроскопия образца вольфрамата циркония при нагреве.

На РЭМ изображениях полированной поверхности Al – ZrW_2O_8 с различным содержанием вольфрамата циркония видно, что структура полученного материала неоднородная – с ростом концентрации

вольфрамата циркония на поверхности наблюдались частицы ZrW_2O_8. Средний размер включений не превышал 1 мкм при максимальной концентрации. Фрагменты рентгенограмм Al – ZrW_2O_8 представлены на рисунке 3. Рентгенофазовый анализ показал присутствие ГЦК алюминия и вольфрамата циркония в кубической сингонии. Параметр решетки алюминия увеличен на 0,2 %, что может быть обусловлено наличием механических напряжений, сформировавшихся вследствие различия КТР компонентов.

Зависимости механических характеристик от содержания добавки представлены на рисункеб. Максимальные значения микротвердости и предела прочности при сжатии (280 МПа и 170 МПа, соответственно) демонстрировал композит, содержащий 0,5 мас. % ZrW_2O_8. Дальнейшее увеличение концентрации вольфрамата циркония способствовало резкому уменьшению величины механических характеристик. Вероятно, снижение механических свойств связано с возрастанием пористости материала.

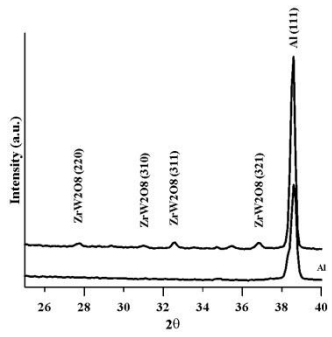


Рис.5. Рентгенограммы чистого Al и композитов Al – ZrW_2O_8

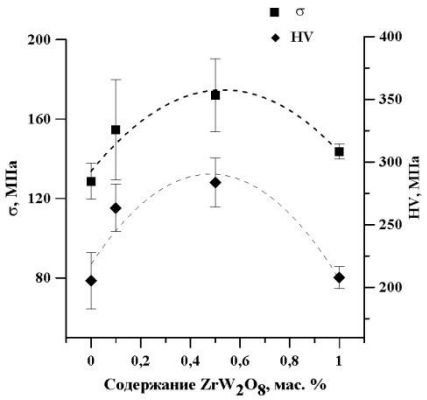


Рис. 6. Зависимость параметра решетки фазы Al от содержания ZrW_2O_8

Таким образом, экспериментально установлено, что введение наноразмерных частиц вольфрамата циркония приводит к повышению механических свойств алюминия, что может быть связано с реализацией механизма упрочнения, основанного на действии внутренних сжимающих напряжений, возникающих в материале вследствие различия коэффициентов теплового расширения алюминия и вольфрамата циркония. Содержание добавки 0,5 мас.% соответствовало максимальным показателям механических характеристик (HV = 280 МПа, σ = 170 МПа). Дальнейшее увеличение концентрации ZrW_2O_8 привело к снижению механических характеристик вследствие возрастания пористости материалов.

Работа выполнена в рамках соглашения с Минобрнауки 14.575.21.0040 (RFMEFI57514X0040).

СПИСОКЛИТЕРАТУРЫ:

1. Gubanov A.I. Some peculiarities of zirconium tungstate synthesis by thermal decomposition of hydrothermal precursors / A.I. Gubanov, E.S. Dedova, P. E. Plyusnin // Thermochimica Acta. – 2014. – 597. –Pp. 19 –26.

2. Dedova E.S. Properties of formation mechanism of the hydrothermally –synthesized ZrW2O8 / E.S. Dedova, S.N. Kulkov, F. Pedrasa // AIP Conf. Proc. – 2014. – 1623. –Pp. 99 –102.

«ВОЛЛАСТОНИТ-КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫЕ» ПОКРЫТИЯ НА ТИТАНЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Шинжина А.А.[б], Седельникова М.Б.[а,б], Комарова Е.Г.[а]

Научный руководитель: Седельникова М.Б., д.т.н., с.н.с. ЛФНБ ИФПМ СО РАН

[а]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634021

[б]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: sh-aiym@mail.ru

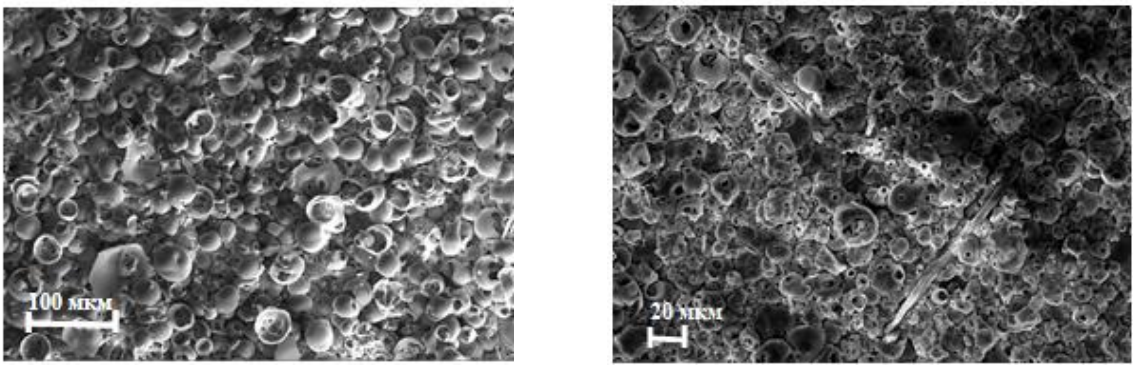
С целью повышения биосовместимости имплантата и его остеоинтеграции с костной тканью, на поверхность имплантатов различными методами наносят кальцийфосфатные покрытия [1, 2]. К настоящему времени разработано множество методов для формирования биосовместимых покрытий [3-5]. В качестве основного компонента биопокрытий, как правило, используют гидроксиапатит ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$), который является неорганической составляющей костного матрикса [3]. Высокую биоактивность проявляют также биокерамика и биоактивные стекла, к которым относятся и соединения типа $CaO\text{-}SiO_2$ [6]. Исследователями ТПУ (г. Томск) получена прочная биокерамика на основе гидроксиапатита и природного минерала волластонита CaO·SiO2 [7].

В данной работе биопокрытия на основе системы волластонит-фосфаты кальция наносили методом микродугового оксидирования (МДО) на поверхность образцов из технически чистого титана ВТ1-0. В состав электролита на основе водного раствора ортофосфорной кислоты вводили гидроксиапатит (ГА), являющийся минеральной основной костной ткани и обладающий высокой биосовместимостью. Для повышения биологической активности покрытия в состав электролита добавляли волластонит. На изделия подавали импульсное напряжение, под действием которого на поверхности образцов возникали локальные микроплазменные разряды и происходил синтез покрытия. Процесс нанесения покрытий методом МДО проводили при следующих параметрах: длительность импульса – 100-500 мкс, частота следования импульсов – 50 Гц, величина импульсного напряжения – 150-300 В, длительность процесса – 5-10 мин. После нанесения покрытия образцы промывали и сушили при температуре 120-150 °С в течение 30 минут.

Морфологию поверхности покрытий исследовали методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) (LEO EVO 50 с приставкой для энергодисперсионного анализа, ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех», г. Томск). Толщину покрытий измеряли с помощью микрометра МК-25. Фазовый состав покрытия определяли методом рентгенофазового анализа с использованием CuK_α-излучения (дифрактометр ДРОН-07, ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех», г. Томск). Рентгеновская съемка осуществлялась с фокусировкой по Брегу-Брентано. Для идентификации кристаллических фаз использовали стандартную картотеку ASTM.

При исследовании покрытий установлено, что основными параметрами процесса МДО, влияющими на свойства покрытий (морфологию поверхности, толщину, шероховатость), являются напряжение оксидирования, длительность процесса и длительность импульсов.

При малых напряжениях оксидирования 130-150 В формируются покрытия с тонким кальций-фосфатным слоем (10-15 мкм).



а) б)

Рис. 1. РЭМ - изображения покрытий на поверхности титана, полученных методом МДО при следующих величинах напряжения МДО и длительности процесса: (а) – 300 В, 5 мин, (б) – 150 В, 10 мин

Присутствует большое количество крупных кристаллов волластонита с размерами в интервале 70-150 мкм. При повышении напряжения процесса МДО до 300 В на поверхности покрытия образуются сферы, полусферы и осколки размерами 20-40 мкм (рис. 1 а). Увеличение длительности процесса до 10 мин, при малых напряжениях процесса 150 В, приводит к формированию пластинчато-осколочной пористой структуры с вросшими в покрытие кристаллами волластонита с размерами 40-90 мкм (рис. 1 б). Подобная картина наблюдается и при повышении длительности импульсов от 100 до 500 мкс при постоянных значениях напряжения и длительности процесса оксидирования, равных соответственно 150 В и 5 мин. Анализ рентгеновских дифрактограмм показывает, что вещество в покрытии находится в рентгеноаморфном состоянии. Рефлексы, относящиеся к титану и к волластониту, наблюдаются лишь в тонких слоях покрытия (рис. 2).

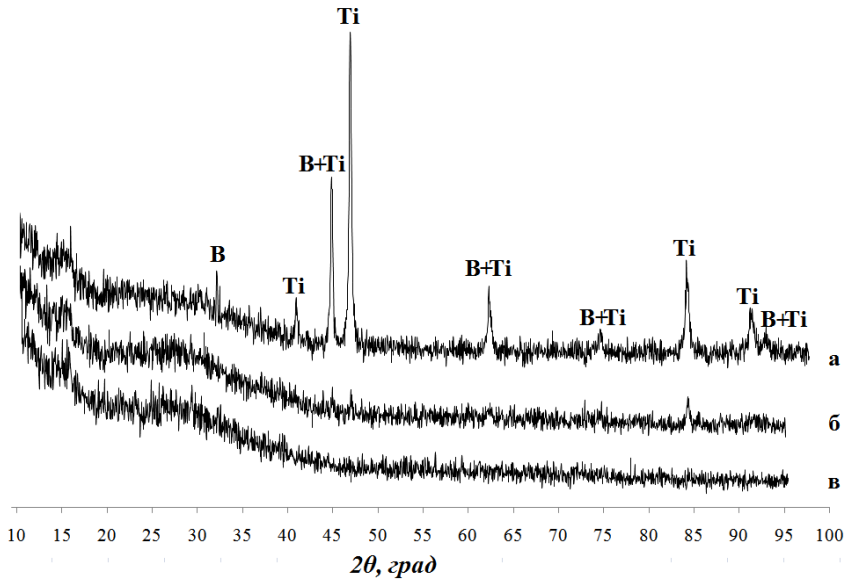


Рис. 2. Рентгенограммы волластонит-кальцийфосфатных покрытий, полученных при длительности процесса оксидирования равной 5 мин и напряжениях: (а) – 150 В, (б) – 200 В, (в) – 300 В; В – волластонит, Ti – титан

Результаты исследований позволили установить, что осаждение кристаллов волластонита при нанесении биопокрытия на поверхность титана методом МДО из раствора ортофосфорной кислоты с гидроксиапатитом и волластонитом происходит наиболее интенсивно в первый период формирования покрытия, одновременно с образованием рентгеноаморфного кальцийфосфатного слоя. В последующий период формируются покрытия, имеющие сфероидальную, либо пластинчатую морфологию в зависимости от параметров процесса оксидирования. Покрытия с пластинчатой микроструктурой имеют толщину 25-30 мкм, шероховатость 2,5…5,0 мкм, и характеризуются лучшими прочностными свойствами, в отличие от покрытий, имеющих сфероидальные структурные элементы.

Таким образом, введение волластонита в электролит на основе водного раствора ортофосфорной кислоты с гидроксиапатитом и варьирование параметров процесса позволяет формировать на поверхности титана методом МДО кальцийфосфатные покрытия с пластинчатой структурой, что может обеспечивать улучшенные прочностные свойства биопокрытий и их повышенную способность к остеоинтеграции.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований СО РАН на 2013-2016 гг., проекта III 23.2.5, РФФИ №15-03-07659.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Danilov A.I., Eroshenko A. Yu., Sharkeev Yu. P., Orlova D.V., Zuyev L.B. Features of deformation and fracture of ultrafine titanium and zirconium alloys // Physical mesomechanics. – 2014. – V. 17. – P. 77-85.

2. Legostaeva E. V., Sharkeev Yu. P., Epple M., Prymak O. Structure and properties of microarc calcium phosphate coatings on the surface of titanium and zirconium alloys // Russian Physics Journal. – 2014. – V. 56. – № 10. – P. 1130-1136.

3. Kim H.J., Jeong Y.H., Choe H.C., Brantley W.A. Hydroxyapatite formation on biomedical Ti-Ta-Zr alloys by magnetron sputtering and electrochemical deposition // Thin Solid Films. – 2014. – V. 572. – P. 119-125.

4. Surmenev R.A., Surmeneva M.A., Ivanova A.A. Significance of calcium phosphate coatings for the enhancement of new bone osteogenesis // A review. Acta Biomaterialia. – 2014. – V. 10. – P. 557-579.

5. Pan Y.K., Chen C.Z., Wang D.G., Lin Z.Q. Preparation and bioactivity of micro-arc oxidized calcium phosphate coatings // J. Materials Chemistry and Physics. – 2013. – V. 141. – P. 842-849.

6. Lee K-Y., Park M., Kim H-M., Lim Y-J., Chun H-J., Kim H., Moon S-H. Ceramic bioactivity: progresses, challenges and perspectives // Biomedical Materials. – 2006. – V. 1. – № 2. – P. 31-37.

7. Shumkova V.V., Pogrebenkov V.M., Karlov A.V., Kozik V.V., Vereshagin V.V. Hydroxyapatite-wollastonite ceramics // Glass and ceramics. – 2000. – V.10. – P. 18-21.

SESSION 3

MATERIALS AND TECHNOLOGIES NEW GENEATIONS

СЕКЦИЯ 3

МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ

STUDY OF STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF COMPOSITE POLYMERIC REBAR UNDER AXIAL TENSION

Moreva T.A., Kudyakov K.L.

Scientific supervisor: Dr., prof. Plevkov V.S.

Tomsk state university of architecture and building, Russia, Tomsk, Solyanaya Pl., 2, 634003

E-mail: t.a.moreva@mail.ru

Current stage of scientific and technological development raised new requirements for building and construction materials: corrosion resistance, electrical, magnetic and radio inertness. These specific requirements are applied to construction of buildings and structures of the energy, aerospace, medical and road-building industries. In this case, ordinary steel reinforcement for concrete structures does not meet the above-mentioned requirements [1].

Possible way to solve this problem is to use non-metallic composite rebar as reinforcement of concrete structures. Fiber reinforced plastic bars have a low specific weight, high strength, high corrosion resistance, dielectric properties, magnetic inertness and radio transparency. However, these materials have some disadvantages, which severely restrict fields of their application: a relatively high deformability, low fire resistance. Therefore, the aspects of designing, calculation and application of concrete structures reinforced with non-metallic composite materials are highly relevant [1 - 6].

Composite rebar represent a fibers from glass, basalt, carbon or aramid, which are impregnated by thermoplastic polymeric binder. This polymeric binder protects fibers from aggressive operating environments. For the adhesion of surface of the composite reinforcement to the concrete on the rebar are formed special ribs or sand-epoxy coating. The type of fibrous reinforcement material, kind of the polymeric binder and technology of its production provides characteristics of the composite. Thus, physical and mechanical properties of composite rods depend on the manufacturer.

We conducted experimental research of composite rods by tense load to determine strength and deformation properties of glass and carbon composite rebar, which fabricated by HC “Composite” (Moscow, Russia). Parameters of experimental samples are shown in table 1.

Special samples from glass and carbon fibers rods were made for the tests (Fig. 1. a, b).

Table 1

Parameters of experimental samples

Name of samples	Length of sample, mm		Outer diameter, mm	Rated diameter, mm	Number of samples, pieces	Type of surface for adhesion
GFRP (Glass fiber reinforced polymer)	640		5,6	6	6	ribbed
CFRP (Carbon fiber reinforced polymer)	640		5,8	6	6	sand-epoxy coating

a)

b)

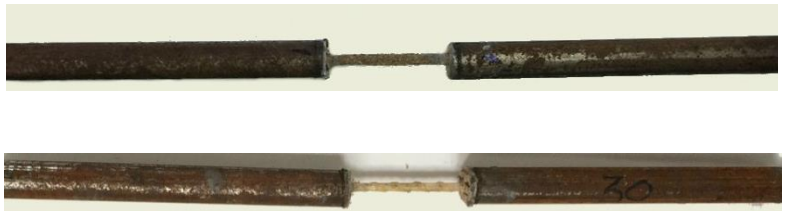


Fig. 1. General view of the carbon and glass samples of rods before the test on axial tension

Tests were carried out on a tensile testing machine MR-500 with the possibility of automatic control of samples deformation and extensometer Epsilon, that was fixed on the rebar's surface in the center of work area. (Fig. 2, a). As a result, we received the deformation characteristics and schemes of their destruction in working area (Fig. 2. b, c).

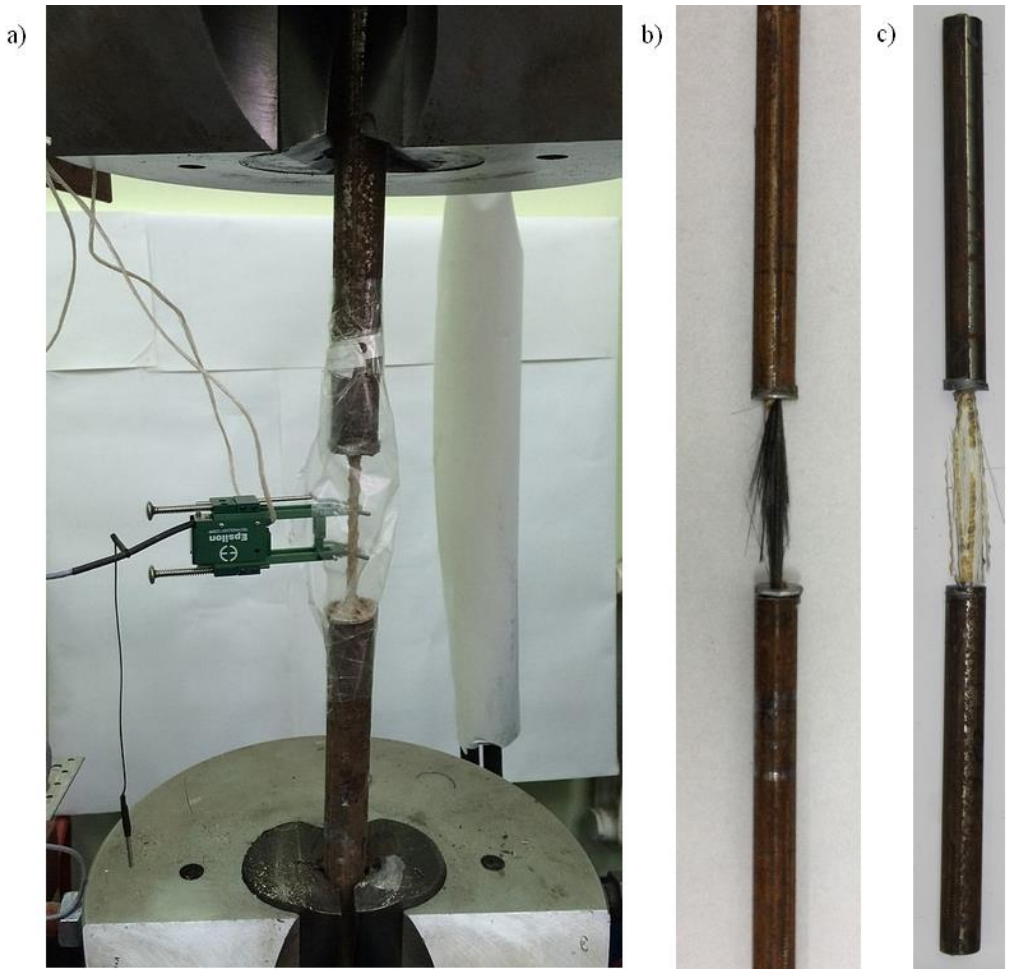


Fig. 2. General view of the test samples on tensile in testing machine MR-500 with installed extensometer (a); specific schemes of samples destruction CFRP (b) and GFRP (c).

Research results of composite rebar's strength and deformation under axial tension are shown in Figure 3.

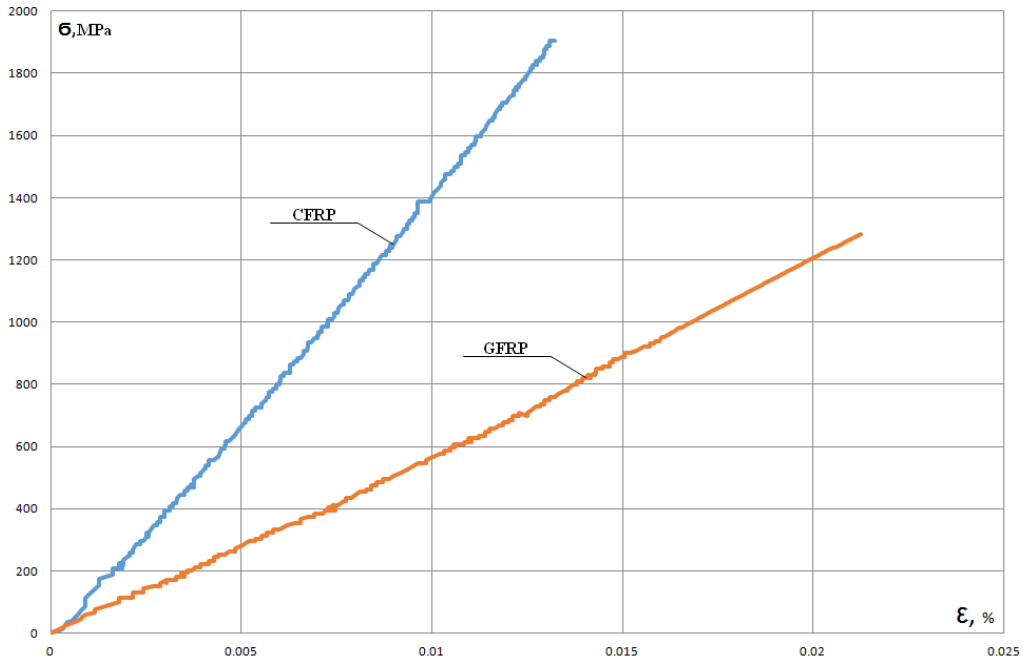


Fig. 3. Graphs of composite rebar deformations

Analysis of the research results and [2 - 6] revealed that the composite rods used in arming of bended elements in the whole loading range works as elastic material and deformation of material describes Hooke's law. The composite rods are characterized by a high tensile strength and reduced samples compared to steel rebar.

These studies were carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the grant project.

REFERENCES

[1] Stepanova V F, Stepanov A J, Zhirkov E P 2013 Armatura kompozitnaya polimernaya [Polymer composite rebar] (Moscow: ASV) p 200

[2] Varma M B, Pujari R S 2011 Flexural Strength of Concrete Beam Reinforced with GFRP Rebar International Journal of Earth Sciences and Engineering 4 pp 994-996

[3] Alkhrdaji T, Wideman M , Belarbi A, Nanni A 2001 Shear Strength of GFRP RC Beams and Slabs Composites in Construction (Porto, Portugal) pp 409-414

[4] Sungwoo S, Daewon S, Byumseok H 2009 Performance of concrete beams reinforced with GFRP bars Journal of Asian Architecture and Building Engineering 8 pp 197-204

[5] Kudyakov, K.L. Strength and deformability of concrete beams reinforced by non-metallic fiber and composite rebar / K.L. Kudyakov, V.S. Plevkov, A.V. Nevsky // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 71. pp. 1 – 6. doi:10.1088/1757-899X/71/1/012030

[6] Kudyakov K L, Nevskii A V, Kudyakov V A 2014 Influence of alkaline solution effects- on physical and mechanical properties of composite rebar based on glass and carbon fiber 10th International conference: "Prospects of fundamental sciences development" (Tomsk: NI TPU) pp 788-790

MEASUREMENT OF ULTRASONIC VELOCITY FOR STRAIN EVALUATION OF TENSILE STRESSED LOW CARBON STEEL SPECIMENS

Shah R.T., Burkov M.V., Byakov A.V.
Scientific adviser: Panin S.V., PhD, professor.
National research Tomsk polytechnic university
634030, Russia, Tomsk, Lenina ave 30
E-mail: shah.ronak.456@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИИ ОБРАЗЦОВ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ИСПЫТЫВАЕМЫХ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Шах Р.Т., Бурков М.В., Бяков А.В.
Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н., профессор.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634030, Россия, Томск, пр. Ленина 30
E-mail: shah.ronak.456@gmail.com

Introduction

Non-destructive testing is an important part of quality control on any stage of the lifecycle of the industrial products. By definition non-destructive testing is the testing of materials for surface or internal flaws or metallurgical condition, without interfering in any way with the integrity of the material or its suitability for service. The technique can be applied on a sampling basis for individual investigation or may be used for 100% checking of material in a production quality control system. Also various NDT methods have been developed, each one having advantages and limitations making it more or less appropriate for a given application. With the variety of NDT methods available, it is important to select the method that will provide the successful results. A combination of different NDT tests may be applied to provide assurance that the material or component is fit for use.

The inspection during operation is a more complex task because the vehicle should be stopped, sometimes it should be disassembled, which lead to financial losses. Wherein the NDT diagnostics with defined gap of time shows that the damages occur in small amount of tested objects while time and funds for inspection of the rest were wasted. However the inspection intervals cannot be expanded because the structures where the damages have been already nucleated can experience the catastrophic failure which is inappropriate for different application: aerospace, petrochemical, etc.

Recent years the NDT scientific and engineering community is being increasingly interested in research and development of the Structural Health Monitoring (SHM) systems [1]. Structural health monitoring is a in-situ non-destructive sensing and evaluation method that uses a variety of sensors attached to, or fixed on structure to monitor the structural response, to analyze the structural characteristics for the purpose of estimating damage/deterioration and evaluating the consequences there of on the structure in terms of response, capacity, and service-life.

Various types of data (either continuously or periodically) from the sensors are collected, analyzed and stored for future analysis and reference. The data can be used to identify damage at its onset, to assess strength and integrity, and therefore the performance and safety of the structure [2]

The SHM can be used to expand the inspection intervals if the system doesn’t register the significant changes exceeding the defined threshold. There are different SHM principles proposed by different research groups, e.g.

the strain sensing using optical fiber [3]. The obtained value is compared with the baseline of non-damaged structure thus revealing the damage. These systems should register the data during whole operation time (e.g. during aircraft take-off, flight, landing and taxiing). Another SHM approach [4] utilizes the network of ultrasonic transducers embedded in the structure being applied for direct detection of discrete damage (BVIDs and delamination for CFRP, cracks in metal alloys, etc.). Online monitoring for such systems is unnecessary moreover it can be distorted due to noise and vibration, so the initial data is obtained after defined lifetime intervals. These systems [5] are used for operational load monitoring and can expand the inspection periods.

All SHM approaches require the development of complex algorithms and software for data processing and continuation of operation decision-making. The basis for the software is a deformation mechanics of different materials. To test the designed system and software the joint consideration of experimental data and computer modelling is required.

The present paper deals with the investigation of the velocity of ultrasonic waves during the tensile testing. The experiment was carried out to assess the change of the velocity of Rayleigh waves during loading of the specimen at different stages: elastic deformation, plasticity and fracture.

Materials and research technique

The specimens for tensile testing were manufactured from low carbon steel plate according to the dimensions presented on Fig. 1. The surface of the specimen was polished to the mirror state quality for good acoustic coupling. Two semicircular notches were used as stress concentrators to localize the strain and fracture in the middle area to be characterized during whole tensile testing using ultrasonic velocity measurement equipment.

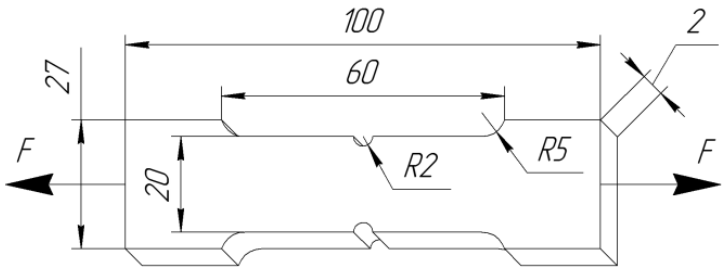


Fig.1. Specimen dimensions

The device used for ultrasonic velocity measurement is an ASTR that utilizes the ultrasonic recirculation method. The device is used for non-destructive evaluation for residual stress determination of different metals and alloys. The functioning principle is the following: the close circuit of the device transmits pulses to generate surface acoustic waves (Rayleigh waves) using piezoelectric actuator in the combined transmitting-sensing transducer (Fig. 2), then the waves travel through the gage section of the steel specimen to the receiving piezoelectric sensor located on the opposite side of the transducer and they are converted to an electrical signal. Then the signal is analyzed and compared to the reference. If the amplitude of the sensed signal is higher than the defined threshold the device generates the next pulse and so on providing so called auto circulation. Since the distance between the actuator and the sensor is fixed the auto circulation frequency will characterize the velocity of propagation of ultrasonic waves in the specimen. The device uses the 2.5 MHz frequency for generating the Ray-

leigh surface waves in order to characterize the elastic and plastic deformation of the tensile stressed steel specimens by registering the changes of the ultrasonic propagation velocity during whole testing.

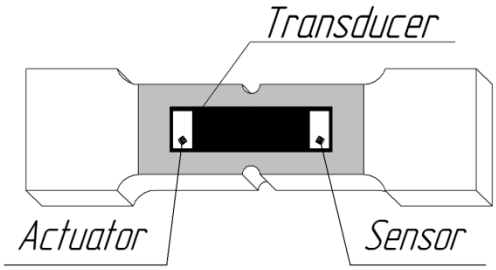


Fig. 2. Arrangement of the transducer

Specimens were tested under static uniaxial tension at Instron 5582 universal electro-mechanical testing machine with maximum loads up to 100 kN. The testing was performed with the constant strain rate with the speed of 0.3 mm/min under normal conditions. One of the most affecting factors during the test is the acoustic coupling between transducer and specimen so the mineral industrial oil was used as the immersion medium during the ultrasonic velocity data acquisition. Also for reliable measurements of velocity, it is necessary to ensure that the surface of the steel specimen must be smooth so the polishing was performed by using abrasive paper with grit size of P600, P1000, P2000 and finally with diamond polishing paste.

All recordings of velocity and elongation were performed using computer based software. The specimens were loaded until fracture thus the dependences of stress on strain and ultrasonic velocity on strain were recorded.

Results and conclusion

After the experiment the set of data was obtained and the results are represented by graphs of stress vs strain compared to the dependence of Rayleigh waves velocity vs strain (Fig. 3). It is seen that the stress-strain curve (1) is nonlinear and it is difficult to mark the elastic region due to stress concentration caused by edge notches. But the detailed examination of the initial of the static tension test can give us an approximate value of pure elastic region as ~340 MPa (0.7 % of strain) after which the plastic deformation starts to occur. The second stage of the curve is highly nonlinear, there is small necking region near fracture point where the stress decreases. The points where the ultrasonic data were recorded are easily identified as “teeth” on stress-strain curve. Because the universal testing machine was controlled by extension when the loading was stopped for data acquisition there is small stress relaxation occurred.

The ultrasonic velocity value in each point was averaged by 50 measurements. Thus the graph of average velocity vs strain (2) was obtained. The graph has two stages: the first is nonlinear starting from small decrease of velocity continues with the “jump” of ultrasonic velocity from the lowest value; the second stage is linear with moderate slope and lasts until fracture. The boundary between the two stages corresponds to the elastic limit point defined in the previous section (~0.7-1 % of strain).

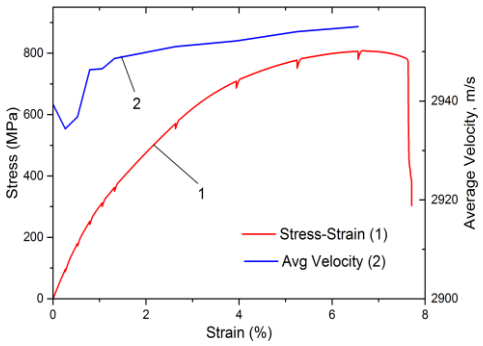


Fig. 3. Combined graph of stress-strain (1) and average ultrasonic velocity (2)

It can be concluded that the ultrasonic wave velocity depends on the stress: the velocity is different at different stages of elastic and plastic deformation. During the elastic region the velocity is flow down due to internal stress (strength of material) field on slow rate of dislocations, when the elongations of material is increasing the velocity is also increasing, and as result determine the relation between the velocity of ultrasonic waves and mechanical characteristic of materials.

This experiment of static tension of notched specimen was performed to obtain preliminary results of possibilities of ultrasonic technique to be applied for non-destructive evaluation of steel. Because the most of the structure are loaded mainly cyclically during operation the cyclic tests of specimens should be conducted. Based on the future results the investigated ultrasonic technique can be developed as structural health monitoring system.

References

1. P.J. Schubel, R.J. Crossley, E.K.G. Boateng, J.R. Hutchinson Review of structural health and cure monitoring techniques for large wind turbine blades // Renew Energ 51 (2013) 113-123.
2. Bridges Structural Health Monitoring and Deterioration Detection Synthesis of Knowledge Technology Final Report by Yangtao Dong , Helen liu, at Alaska university transportation report \dec 2010-INE\AUTC#10.06
3. S Minakuchi, Y Okabe, T Mizutani and N Takeda Barely visible impact damage detection for composite sandwich structures by optical-fiber-based distributed strain measurement // Smart Mater. Struct. 18 (2009) 9pp
4. Qiu Lei, Yuan Shenfang, Wang Qiang, Sun Yajie, Yang Weiwei Design and Experiment of PZT Network-based Structural Health // Chinese J Aeronautics 22 (2009) 505-512.
5. Pengfei Wang, Toshiyuki Takagi, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki Early fatigue damage detecting sensors – A review and prospects// Sensors and Actuators, 2013, V.198, P.46- 60

DESIGNING OF COMPOSITE BINDER FOR COMPACTING CEMENT STONE STRUCTURE

Yushin A.M., Fediuk R.S., Ilinckii.Yu.Yu.

Far Eastern Federal University

Russia, Vladivostok, Russian Island, Ayax, 20, 690000

E-mail: roman44@yandex.ru

Modern science of construction aims to develop the concrete with high strength and low gas-, water- and vapor permeability [1,2,3,4]. To obtain such concrete needs to ensure a denser monolithic structure. This requirement is achieved if certain methods and rules are used:

very low water-cement ratio [5,6];

activation of the binder [7,8];

increased demands on the quality of the aggregates [9];

the use of modifying additives providing obtaining a dense structure concrete [10];

a particularly thorough mixing and compaction of the concrete mix [11];

To achieve this goal have been developed composite binders obtained by co-grinding in vario-planetary mill cement, hyperplasticizer, fly ash and limestone.

The obtained composite powder had a specific surface area equal to 600 m^2/kg (determinations were performed on meter surface PSH-11), 0.15-500 micron particle size, the average particle diameter is shifted to 0.65-11.2 mm density 930 kg/m^3. Compared with conventional composite cement binder has a low density of normal cement paste at the level of 18.0-20.0% (despite the fact that for cement CEM I 42.5N it is 26.5%).

For composite binders substantially reduced compared with the conventional cement hydration degree alite as early and prolonged hardening, it can be attributed to the small release neoplasms hydrate. Thus, the degree of hydration of the binder in the alite monomineral aged 7 days and 28 days uncured 28.5 and 34%, which is significantly lower than from fine monomineral without modifier cement (respectively 57.7 and 58.6%).

Were composed 7 compositions. In each of them was added hyperplasticizer PANTARHIT PC160 Plv (FM) in an amount of 0.3% (table 1, 2).

Co-grinding of cement with hyperplasticizer, ash and limestone can increase the activity of the binder to 70.2 MPa. Increase in strength due to improved co-grinding cement stone structure.

Despite the reduced of the degree of hydration, composite binders have special advantages in comparison with cement, as the pace of hardening, and on physical and mechanical characteristics. Thus, the strength of the cement stone on the composition of the composite number 7 (47.2 MPa) at the age of 3 days uncured 2 times the strength of the control samples, and at a later date - 1.4-1.6 times.

This is due to the fact that the mill ground active mineral components that contribute to an earlier binding portlandite, intensify the process of hydration of clinker minerals. At the same time, the larger particles act as nucleation sites and act as microfiller reducing shrinkage deformation improve the performance characteristics of the composite. A characteristic feature of the structure of cement stone mill ground with additives is significantly smaller number of microcracks.

Like all pozzolanic materials, fly ash reacts with calcium hydroxide $Ca(OH)_2$, vacated by hydration of portland cement to form cementitious compounds. Very high purity, fineness and thorough mixing of the components contributes to a more effective and rapid response. With proper dispersion of thousands of reactive spheri-

cal microparticles surround each micrograins cement, grout sealing, filling voids strong hydration products and improving adhesion to aggregates.

Structure of cement stone on the composite binder is denser compared with conventional portland cement, it is a very dense packing of the grains in the total weight of neoplasms. Joint milling components not only leads to an increase in the ultimate compressive strength, but is also increasing the speed of curing specimens for composite binders.

Table 1

The experimental compositions of binder

№ compositions	*Cement, %*	*Fly ash TPPs, %*		*Limestone, %*
		Vladivostok	*Artem*	
1 (BLW-100)	*100*	*-*	*-*	*-*
2	*30*	*-*	*50*	*20*
3	*35*	*45*	*-*	*20*
4	*40*	*-*	*45*	*15*
5	*45*	*45*	*-*	*10*
6	*50*	*-*	*40*	*10*
7	*55*	*40*	*-*	*5*

Table 2

Determination results of compressive strength (MPa) cementitious samples

Age of the sample, d.	*№ compositions*						
	1 (BLW -100)	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
3	*60.3*	*30.2*	*34.2*	*36.6*	*39.2*	*45.1*	*47.2*
7	*81.0*	*40.1*	*43.1*	*48.2*	*50.1*	*54.9*	*54.1*
28	*103.2*	*50.4*	*53.2*	*56.6*	*59.2*	*65.8*	*70.2*

In order to determine the optimum particle size was made joint grinding cement, hyperplastisizer, ash and limestone (ratio of number 7 from table 1) specific to different surfaces: 500, 550, 600, 700, 800, 900 m^2/kg (table 3).

Table 3

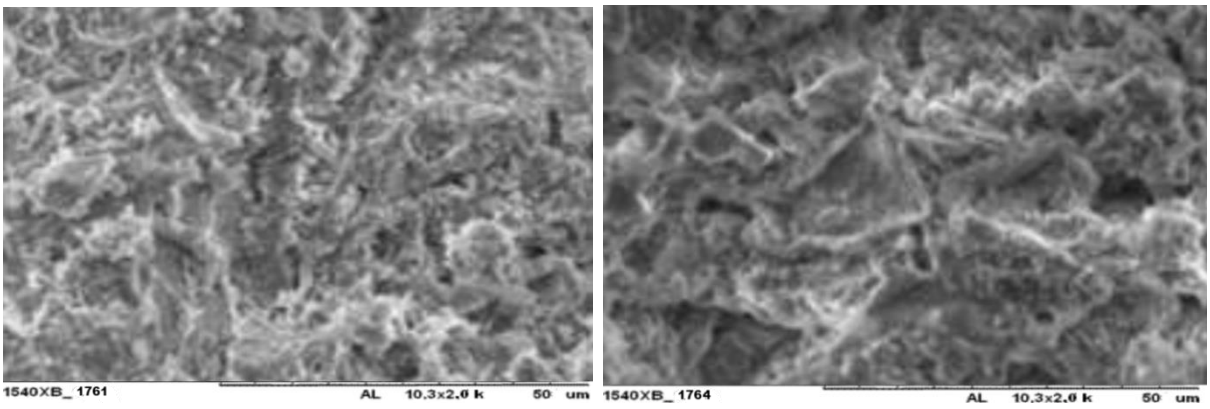
Determination results of compressive strength (MPa) cementitious samples

Age of the sample, d.	*Specific surface area of the composite binder, m^2/kg*					
	500	*550*	*600*	*700*	*800*	*900*
3	*46.1*	*47.4*	*47.2*	*46.0*	*45.6*	*45.5*
7	*50.3*	*54.2*	*54.1*	*49.1*	*48.6*	*48.4*
28	*68.1*	*77.3*	*70.2*	*65.8*	*55.0*	*65.0*

Was revealed that the optimum specific surface area of binder is 550-600 m^2/kg. Increased activity in excess of these values has a negative impact on the structure formation. Using a binder with increased activity significantly speeds up the process of setting - setting the end of the mixture ends after 35-40 min., while the developing temperature 95-97°C. Fast setting prevents raw uniformly distributed spherical particles in the macrostructure of cement stone. Electron microscopy revealed the presence of inhomogeneity of the macrostructure and irregularly shaped cells.

The microstructure of the composite binder in building materials has a significant influence on their durability, strength and other characteristic properties of performing high priority in the work products and designs during their operation. Composite binders can significantly reduce the amount of cement due to the use of silica component without reducing the mechanical and technological parameters. Application of the additive can not only save the cement, but also contributes to enhanced tumor growth in the volume of the cement matrix.

Study of the microstructure was performed on samples after 28 days with different contents of constituent components. Comparison of conventional cement stone on CEM I 42.5 N with cement stone on the composite binding showed that the structure of cement stone on the basis of the composite binder is more dense, earthy, there is a significant number of tumors (Fig. 1).



a) *b)*

Fig. 1. The microstructure of cement paste: a) - on the CEM I 42.5 N,
b) - on composite binders (composition №7)

Analysis of the microstructure revealed that the structure of cement stone on the basis of the composite binder is more dense compared with ordinary Portland cement and is a high-density packaging grain ash, limestone and clinker in the total mass of tumors, which is determined by the presence of a binder between the grains of very thin films of water and preferential formation in constrained volume low basis hydrosilicates calcium and other neoplasms.

Hydration products binders have high adhesion beans silica component, which has a significant amount of structural defects, which also contributes to the growth of a preliminary mechanical activation in the preparation of the composite binder, which allows us to strengthen and improve the processes of hydration of clinker minerals, and leads to the formation of more tumors by increasing the active nucleation sites on the particle surface.

1. Chadwick A. V., Düvel A., Heitjans P., Pickup D. M., Ramos S., Sayle D.C., Sayle T. X. T. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 80 012005, 2015

2. Polat R., Demirbofa R., Khushefati W. H. // Construction and Building Materials 81 pp. 268-275, 2015.

3. Raheek I Ibrahim, Wong Z. H. and Mohammad A. W. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 80 012007, 2015

4. Baeza F. J., Galao O., Zornoza E., Garcés P. // Materials 6 (3) pp. 841-855, 2013.

5. Al-Rahman L. A., Raja R. I. // Attenuation of Noise By Using Absorption Materials and Barriers: A Review 2 (7) pp. 1207-1217, 2012.

6. Zulkifli R., Zulkarnain Nor. M. J. M. // American Journal of Applied Sciences 7 (2) pp. 260-264, 2010.

7. Bagherzadeh R., Pakravan H. R., Sadeghi A.-H., Latifi M. Merati A. A. // Journal of Engineered Fibers and Fabrics 7 (4) pp.13-21, 2012.

8. Gowri R., Angeline Mary M. // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) 4(7) pp. 3045-3048, 2013.

9. Hameed R., Turatsinze A., Duprat F., Sellier A. // Journal of Engineering and Applied Sciences 4(5) pp. 67-72,2009.

10. Ikponmwosa E. E., Salau M. A. // Journal of Sustainable Development 4 (1) pp. 230-239, 2011.

11. Lau K.-T., Zhou L.-M., Tse P.-C., Yuan L.-B. // Applied Composite Materials 9 (4) 221-247, 2002.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1. УСТОЙЧИВАЯ ЭНЕРГЕТИКА
SESSION 1. POWER INDUSTRY 3

Абрамова А.В., Бычкова А.А.
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НАГРЕВАНИЯ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ 4

Андреев И.В., Павлов С.А.
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА 7

Анисимов Т. С.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ 10

Антонов Д. В., Волков Р. С., Стрижак П.А.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ КАПЕЛЬ ВОДЫ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ПОТОКЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВ 13

Вагапов Г.В., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В.
МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 кВ 16

Биятто Е.В., Привалихина К.К.
МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ 19

Булдаков Е.С.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ОТ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ СПОСОБА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ИХ ПИТАНИЯ 22

Бычкова А.А., Абрамова А.В.
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА НАГРЕВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ТИПИЧНЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ 25

Вершинина К.Ю.
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ 28

Волков А.В., Попов А.А., Белкина Е.Н.
АНАЛИЗ КОММУТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ В СИЛОВЫХ КЛЮЧАХ ИНВЕРТОРА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА 31

Воробьева Д.Ю., Глушкова А.И.
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ 34

Гергелижиу П.С., Щербакова К.Ю.,
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ КОТЛА БЛОКА 500 МВТ ПРИ СЖИГАНИИ НАЗАРОВСКОГО УГЛЯ 37

Гергелижиу П.С
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В НТВ-ТОПКЕ С УЧЕТОМ ДИАПАЗОНА ИЗМЕНЕНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ 40

Глушкова А.И., Воробьева Д.Ю.,
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТАРИФОВ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ 43

Глушков Д.О.
ЗАЖИГАНИЕ ТВЕРДОГО КОНДЕНСИРОВАННОГО ВЕЩЕСТВА ЛОКАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ НЕИДЕАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТАКТА 46

Гончар Л. А., Шарманова Г. Ю.
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ 49

Губанова А.Р.
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ 52

Егоров Д. Э., Чернышов М. О., Буянкин П. Д.
АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ ФИЛЬТРОВ 55

Ефремов И.М.
РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБОВ ГАШЕНИЯ ПОЛЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА 58

Илясова А.С., Долгов С.В.
СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ С ПОРИСТЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ ЗОНЫ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ 61

Кабак А.Л.
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ. 65

Кавун Д.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА 69

Калимбеков Р.Н.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 72

Карманова А.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТОМСКОЙ ГРЭС-2 КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ 75

Клушина Д.О.
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ТЕПЛОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ НУЖД ОТОПЛЕНИЯ И ГВС 78

Коврижкина К. А.
МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ В СОСТАВЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УГЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШИВЭ-ОВОО 82

Коврижкина К. А.
РАЗРАБОТКА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ТИПА ТОМСКОЙ ТЭЦ-3 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОНСТРУИРОВАНИЯ 85

Корзилова И.Е., Визгавлюст Н.В.,
ПРОЕКТ ПАРОВОГО КОТЛА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ЗАМЕНЫ УСТАРЕВШЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ 88

Кудряшова Л.Д., Соболева А.В., Хаустов С.А.
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ ГОРЕНИЯ 91

Курмангалиев Р.Х., Можевитин Д.В.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ЗАЖИГАНИЯ СМЕСЕВОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ОДИНОЧНЫМИ НАГРЕТЫМИ ЧАСТИЦАМИ 94

Минько С.М., Ташлыков А.А., Минько М.А.
ВОЗДУШНО-АККУМУЛИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ 98

Мордвин Д.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ К НЕФТЕПРОДУКТАМ 103

Мордвин Д.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ СОРБЦИЕЙ ЗОЛОЙ УНОСА 106

Морозова В.А
ОДН – ЗА ЧТО ПЛАТИТ НАСЕЛЕНИЕ? 109

Ни А.Э.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ЛУЧИСТОГО НАГРЕВА ОДНОЙ ИЗ ГРАНИЦ 112

Новгородцев А.А., Левин А.А., Литвиненко Н.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ТРУБ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ 115

Нунумете Р.А.
МЕТОДИКА ВЫБОРА МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА АМБОН 118

Ожанов М.А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА И ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОЙ РЕЗИНЫ 121

Орлова Е.Г., Феоктистов Д.В., Батищева К.А.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТЕКАНИЯ КАПЛИ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ НА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 124

Павлов С. А.
ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ГОРЕЛКАМ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА 127

Палухин Н.Е., Лобаненко Г.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИНХРОННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ 130

Пашковский Р.В. Бреус С.С.
ПАРОГЕНЕРАТОРНАЯ УСТАНОВКА С ОБОРОТНЫМ ЦИКЛОНОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ 135

Петрусёв А.С.
АВТОНОМНАЯ СОЛНЕЧНАЯ УСТАНОВКА 138

Пискунов М.В., Щербинина А.А.
ИСПАРЕНИЕ И «ВЗРЫВНОЕ» ПАРООБРАЗОВАНИЕ КАПЛИ ЖИДКОСТИ С ТВЕРДЫМ НЕПРОЗРАЧНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ В ВЫСОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ 141

Помазова А.В.
АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛИ 20 ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ НОРМАЛИЗАЦИИ 144

Пономарев К.О., Феоктистов Д.В., Орлова Е.Г.
ДИНАМИКА СМАЧИВАНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ
ЛИНИИ ТРЕХФАЗНОГО КОНТАКТА 147

Портнов Д.А., Казанов А.М., Polsongkram M.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПИРОЛИЗА
НА ВЫХОД ГАЗОВ ИЗ ТОРФА 150

Портнов Д.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИЗБЫТОЧНОГО
ДАВЛЕНИЯ ВО ВХОДНОМ СЕЧЕНИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА 153

Румянцев Е.С., Смирнов Н.Н., Лапатеев Д.А.
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ДЛЯ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ
ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛООТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ
С СОЛНЕЧНЫМИ ПАНЕЛЯМИ В ОКНАХ 156

Сёмушкин В.П., Воронцова Е.С.
ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БУРОГО УГЛЯ ТАЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ
ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДЫ В ТОПКЕ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО КОТЛА 160

Сёмушкин В.П., Юдин В.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ..... 164

Слюсарский К.В., Короких А.Г.
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ
ГАЗИФИКАЦИИ УГОЛЬНОГО КОКСА..... 167

Субботин Д.В., Казанов А.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОНВЕРСИИ В ТОРФЯНОМ СЛОЕ 170

Султонов Ш. М.
ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ
ТАДЖИКСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА РАВЕНСТВА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ
ПРИРОСТОВ..... 173

Тихомиров Е.О., Сенько В.В.
АППРОКСИМАЦИЯ ГРАНИЦ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ УРАВНЕНИЙ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ..... 176

Уфа Р.А.,
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ 179

Часовников Н.В.
ТЕПЛОВЫЕ ДИЛАТАЦИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТОК КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ..... 183

Шарманова Г. Ю., Гончар Л. А.
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ 186

Шестакова В.В
КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ДВЕРИ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ..... 189

Шмойлов А.В., Корнев В.А.
ЗАЩИТА ЛИНИИ НА ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ПОТЕНЦИАЛЕ ПРОВОДОВ 192

Щербакова К.Ю., Бреус С.С., Пашковский Р.В.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ
ШУБАРКОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ 197

Юдин В.А.
ОСНОВЫ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
ТРУБ ПАРОВЫХ КОТЛОВ 200

Юдин В.А.
СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕНТГЕНОМЕТРИЧЕСКИХ И МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СОСТАВА АУСТЕНИТНОЙ
ЖАРОПРОЧНОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ 203

Salah Ahmed Abdel Maksoud Selim
STUDY OF THE EFFECT OF ROTOR MAGNETIC SYSTEM CONFIGURATION
ON TORQUE RIPPLE OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS
WITH FRACTIONAL SLOT WINDINGS 208

Khomutov E.O.
NUMERICAL STADIES OF HEAT TRANSFER IN GAS HEATER INSTALLATION 212

Korzilova I.E., Vizgavlyust N.V., Vorobyeva L.V.
COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELS KINETIC SCHEME OF THE NUMERICAL CALCULATIONS
OF NITROGEN OXIDE AT PULVERIZED SOLID FUEL 215

Leonova V.K., Klimova G.N.
POWER BALANCE OF THE SIBERIAN FEDIRAL DISTRICT:
DYNAMICS AND PROSPECTS 218

Leonova V.K., Klimova G.N.
POWER BALANCE RESEARCH: FORECAST BASED ON THE STRATEGIK
INDICATORS OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF SIBERIA UNTIL 2020 222

Maksimova E.I., Buvakov K.V., Novoseltsev P.Y.
VIRTUAL PROTOTIPING IN POWER PLANTS DESIGN 226

Nedyak M. S., Kahn A. Y., Kuzmin A. V.
THE EFFECTIVE TEMPERATURE OF WWPR FUEL IN THE ASSESSMENT
OF SAFETY ASSURANCE 229

Tarazanov A. S., Andreev I. V., Savchenko E.K.
OPTIMISING RESEARCHES OF THE CONSTRUCTIVE SCHEME OF THE CAMERA
OF BURNING BY MEANS OF MATHEMATICAL MODELLING 232

Tsybikov B.B., Lukin M.G., Tyuteva P.V.
COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR THE ENERGY EFFICIENCY DETERMINATION OF
INDUCTION MOTORS 235

СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ
SESSION 2. ELECTRONIC ENGINEERING 239

Асочаков А.С., Старостин А.Л.
ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
MATLAB 240

Бабчук С.В.
МЕТОД БЫСТРОГО ОТОГРЕВА КРИОЗОНДА В АППАРАТЕ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ФИБРИЛЛЯЦИЙ
ПРЕДСЕРДИЙ 243

Бебия А.Г., Серегин А.Е., Бороненко М.П.
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МИКРОПИРОМЕТРИИ
НАНОСЕКУНДНОГО РАЗРЕШЕНИЯ 246

Буй Дык Бьен, Иванова А. Г., Мартемьянов В. М.
ПУСКОВОЙ РЕЖИМ МИКРОДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА 249

Василевская Е.С.
РАЗРАБОТКА ОПТОВОЛОКОННОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ 252

Васнев Н.А., Тригуб М.В.
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА НАКАЧКИ CuBr-ЛАЗЕРА 255

Вторушин С.Е., Коледа А.Н., Барбин Е.С.
МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ 258

Зуева Д.Ю., Ковешникова А.А.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ 3D ФОРМЫ СЕРДЦА ПО ТОМОГРАФИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ 261

Ли Линь, Губарев Ф.А., Кленовский М.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА
НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ 264

Литвинова С.А., Аристов А.А.
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СЛУХОВОГО АППАРАТА
НА ОСНОВЕ МЕТОДА ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ..... 267

Ломакина А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ
ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СКОРОСТИ «ВИЗИР» 270

Михайлова К.К., Нам И.Ф., Жук В.В.,
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ГЕПАТОТРОПНЫХ
МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫХ КОНТРАСТНЫХ ПРЕПАРАТОВ 273

Мишанов Р.О.
ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
МИКРОСХЕМ КМОП-ТИПА..... 277

Мухомедшин А.А., Сивков Н.С.
РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АППАРАТА ЧЕРЕЗКОСТНОГО
ОСТЕОСИНТЕЗА 280

Носова Е.В., Аристов А.А., Нефедова Н.С.
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ 283

Панфилов Д.С.
ВЛИЯНИЕ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ И ФОРМЫ ПРИВОДНОГО РЕМНЯ НА ПРОЦЕСС
БАЛАНСИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ НА ЗАРЕЗОНАНСНОМ БАЛАНСИРОВОЧНОМ СТАНКЕ
МАЯТНИКОВОГО ТИПА 286

Рязанова В. Н.
ВОЛЬТМЕТР НА БАЗЕ ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ PINBOARD II 289

Старостин А.Л., Асочаков А.С.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ПРИХОДА ЭХО-ИМПУЛЬСА ДЛЯ МЕТОДА ДВУХЧАСТОТНОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ 292

Сухарников К.В., Шестак А.П., Рычков М.М.
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕТАТРОНА НА ОСНОВЕ ШИННОЙ ТОПОЛОГИИ..... 295

Тимченко К.А., Новосельцева А.П., Аристов А.А.,
РАЗРАБОТКА ФАНТОМА ГОЛОВЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ ЧЕРЕПНО-
МОЗГОВЫХ ТРАВМ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ 299

Фазлыйяхматов М. Г.
РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНИРУЮЩЕГО ПРИБОРА
НА ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЁТКАХ 302

Фасхутдинов Р.М.
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ
РОТОРОВ-МАХОВИКОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ
В МЕТОДЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ 305

Филиппова Е.О., Сыпченко В.С.
ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА
В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ БУЛЛЕЗНОЙ КЕРАТОПАТИИ 308

Худоногова Л.И.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕРВАЛЬНОГО ГОЛОСОВАНИЯ ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ
РЕЖИМОВ СНА И БОДРСТВОВАНИЯ УЗЛОВ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ 311

СЕКЦИЯ 3. МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ
SESSION 3. MATERIALS AND TECHNOLOGIES NEW GENEATIONS 314

Агеева Е.В., Сазонова А.В., Осьминина А.С.
МИКРОСТРУКТУРА И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН 315

Бабихина М.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ ПО ГЛУБИНЕ
ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Э110 ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ
ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ И НАВОДОРОЖИВАНИЯ 318

Байгонакова Г.А., Марченко Е.С., Гюнтер В.Э.
ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ПАРАМЕТРЫ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ
И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ TINI (MO,V) 321

Бебия А.Г.
МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ КАК МЕТОД ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЛИНОПТИЛОЛИТА 324

Бузимов А.Ю., Pappert S., Eckl W.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМОФОСФАТНЫХ
ЦЕОЛИТОВ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ 327

Буяков А.С., Васильева Е.О.
ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ ZrO2(Mg)-MgO 330

Винокуров П.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ОКСИДА ГРАФЕНА, ВОССТАНОВЛЕННЫХ
С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА LIGHTSCRIBE 333

Григорьев М.В., Котельников Н.Л.
ПОЛУЧЕНИЕ, СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ
СИСТЕМЫ Al2O3 – ZrO2 – TiC 336

Гуков М.И., Шаненков И.И., Циммерман А.И.
ВЛИЯНИЕ ТИПА ПРЕКУРСОРА НА РАЗМЕР ЧАСТИЦ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ,
ПОЛУЧАЕМОГО ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ 340

Демидова С.А., Куаха К.
ПРОЦЕССЫ ЗОЛЕ- И ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ В КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРАХ
НА ОСНОВЕ ТЕТРАЭТОКСИСИЛАНА 343

Егорушкин А.В., Енджиевская И.Г., Егорушкин В.О., Василовская Н.Г.
КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ 346

Ёрматов А.А.
МАГНИТНАЯ ЖИДКОСТЬ: ПРОРЫВ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИЕ 349

Ефремов А.В., Ноговицына М.В.
ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБРАБОТКИ В ПЛАЗМЕ Ar/SF6 НА СВОЙСТВА ЧАСТИЧНО
ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА 353

Исакин И.А., Зыков И.Ю.
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛИ 10Р6М5 ПОСЛЕ
ПОВЕРХНОСТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ 356

Квашина Т.С.
СИНТЕЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК 360

Клочков Н.С.
МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЙСВИНЦОВИСТОЙ БРОНЗЫ,
ЛЕГИРОВАННОЙ НИКИЛЕМ 364

Колесова Т.В.
ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ МЕТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ПАСТЫ
ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ФАРФОРА 367

Колесова Т.В.
ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТЕКЛОФАЗЫ НА ТЕМПЕРАТУРУ ВЖИГАНИЯ МЕТАЛЛИЗАЦИОННОЙ
ПАСТЫ ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ФАРФОРА 370

Косолапов А.А.
ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИКИ ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ
ИЗ ГРАНУЛЯТА НА ОРГАНИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ 373

Кошовкина В.С., Мельников Е.В., Москвина В.А.
ВЛИЯНИЕ ОТЖИГОВ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 06МБФ
ПОСЛЕ КРУЧЕНИЯ НА НАКОВАЛЬНЯХ БРИДЖМЕНА 376

Кравцов А.А., Блинов А.В., Крандиевский С.О.
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК TiO2,
ДОПИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА 379

Криницын М.Г., Прибытков Г.А., Коростелева Е.Н.
ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИТОВ «TiC–Ti» МЕТОДОМ СВС
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ 382

Куренбин Т.А.
ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВАКУУМНОЙ
ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ 385

Левков Р.В., Дедова Е.С., Жуков И.А.
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КЕРАМИКИ AL2O3, СИНТЕЗИРОВАННОЙ ИЗ ПОРОШКА
ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ 389

Ленивцева О. Г., Самойленко В.В., Чучкова Л. В.
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ TIC-TIB-TI ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ
ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ 392

Львов О.В., Касацкий Н.Г., Радишевская Н.И.
СИНТЕЗ МИКРОННЫХ ПОРОШКОВ АЛЛЮМОШПИНЕЛЕЙ МЕТОДОМ СВС 395

Матц О. Э., Кучумова И. Д.
ВНЕВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА ГАФНИЯ НА ТИТАН 398

Мельников Е.В., Кошовкина В.С., Москвина В.А.
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 01Х17Н13М3 401

Миллер В.С., Безрукова В.А., Тютюнькова М.К. Лапушкина Е.Ю.
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ 404

Москвина В.А., Майер Г.Г., Мельников Е.В.
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ КРУЧЕНИЯ ПОД КВАЗИГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ 407

Нгуен Суан Тьук, Панин С.В., Корниенко Л.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СВМПЭ - ПА 410

Папченко А.В., Ваулина О.Ю., Тогина Д.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННОПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЬ 65Х13 414

Пшеничный А.Д., Саблина Т.Ю., Севостьянова И.Н., Савченко Н.Л.
ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ И ОКСИДА АЛЮМИНИЯ 418

Рыгин А.В.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НИТРИД-, КАРБИДКРЕМНИЕВОЙ КЕРАМИКИ (Si_3N_4-SiC) 421

Советов В.А., Ендживская И.Г., Василовская Н.Г.
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВСПУЧИВАНИЯ ВЕРМИКУЛИТА 424

Тарновский Р.В.
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОСТАВА СТЕКЛА НА УГОЛ СМАЧИВАНИЯ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ 427

Толстокулаков А.М., Дампилон Б.В.
СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО И ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА 430

Тютюнькова М.К., Безрукова В.А., Лапушкина Е.Ю., Миллер В.С.
МИКРОСТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ ПЛАЗМЕННЫХ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ НАГРЕВА 433

Упеникова А.О.
СПЕКАНИЕ ВОЛЬФРАМОВЫХ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА 436

Усольцева Н.В.
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МЕЗОПОРИСТЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ 439

Храпковская Ю.А.
АКТИВАЦИЯ АТОМОВ ПОДЛОЖКИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ НАПЫЛЕННЫХ ЧАСТИЦ С ОСНОВОЙ В ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ ПОКРЫТИИ 442

Хрусталева К.А.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМООКСИДНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО РАСПЫЛЕНИЯ 445

Циммерман А.И., Шаненкова Ю.Л., Гуков М.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ОКСИДА МЕДИ, ПОЛУЧЕННОГО ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ 448

Чебодаева В.В., Комарова Е.Г.
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОФИЛЬНЫХ МИКРОДУГОВЫХ БИОПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЗАМЕЩЕННОГО ГИДРОКСИАПАТИТА 451

Чермошенцева А.С.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИННОВАЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИМЕЮЩИХ В СОСТАВЕ НАНОПОРОШКИ 455

Чушенков В. И.
СИНТЕЗ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА ДИБОРИДА ХРОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА 458

Шадрин В.С., Дедова Е.С., Гебер Р.
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ВОЛЬФРАМАТА ЦИРКОНИЯ 461

Шинжина А.А.б, Седельникова М.Б.а ,б, Комарова Е.Г.а
«ВОЛЛАСТОНИТ-КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫЕ» ПОКРЫТИЯ НА ТИТАНЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ 464

Moreva T.A., Kudyakov K.L.
STUDY OF STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF COMPOSITE POLYMERIC REBAR UNDER AXIAL TENSION 468

Shah R.T., Burkov M.V., Byakov A.V.
MEASUREMENT OF ULTRASONIC VELOCITY FOR STRAIN EVALUATION OF TENSILE STRESSED LOW CARBON STEEL SPECIMENS 471

Yushin A.M., Fediuk R.S., Ilinckii.Yu.Yu.
DESIGNING OF COMPOSITE BINDER FOR COMPACTING CEMENT STONE STRUCTURE 475

ОГЛАВЛЕНИЕ 478

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ТРУДОВ
XXI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

В двух томах

Том 1

Компьютерная верстка *Т.М. Плахова*

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. 56,88. Уч.-изд. л. 51,44
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

UKAS QUALITY MANAGEMENT 015

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел/факс: +7 (3822) 56-35-35, www.tpu.ru