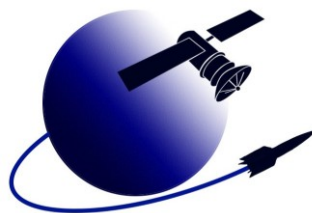
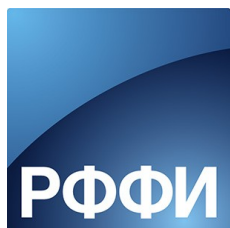


IV Всероссийский молодежный Форум  
с международным участием

# ИНЖЕНЕРИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА

сборник научных трудов

ТОМСК - 2016



## **ИНЖЕНЕРИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА**

Сборник научных трудов  
IV Всероссийского молодежного Форума  
с международным участием

**12–14 апреля 2016 г.**

Томск 2016

УДК 629.78.002.5  
ББК 39.66  
К71

**Инженерия для освоения космоса** : сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 327 с.

ISBN 978-5-4387-0647-2

Сборник посвящен теоретическим и практическим аспектам инженерии для освоения космоса. Представлен широкий круг исследований молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников на русском, английском и немецком языках по следующим темам: космические аппараты и приборы, материалы и технологии в аэрокосмической отрасли, современные технологии и методы контроля в авиационной и космической отраслях, информационные и телекоммуникационные технологии, использование космических технологий для биомедицинской инженерии и мониторинга природной среды.

**УДК 629.78.002.5**  
**ББК 39.66**

*Редакционная коллегия*

В.Н. Бориков, доктор технических наук, профессор ТПУ;  
В.М. Мартемьянов, кандидат технических наук, доцент ТПУ;  
М.М. Рычков, кандидат технических наук, зав. лабораторией ТПУ;  
Т.Г. Костюченко, кандидат технических наук, доцент ТПУ;  
А.С. Фадеев, кандидат технических наук, доцент ТПУ;  
Д.Н. Огородников, кандидат технических наук, доцент ТПУ;  
В.С. Иванова, кандидат технических наук, доцент ТПУ;  
Е.К. Прохорец, кандидат педагогических наук, доцент ТПУ;  
А.Г. Долгих, ассистент ТПУ;  
Е.В. Зорина, специалист по УМР УНЦ ТПУ;  
А.А. Игнатовская, ассистент ТПУ.

*Сборник издан при финансовой поддержке РФФИ  
Грант 16-38-10073 мол\_г*

ISBN 978-5-4387-0647-2

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2016

**СОДЕРЖАНИЕ**

**СЕКЦИЯ №1**

**КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ПРИБОРЫ**

<i>Алексеев А.Н., Донцов Ю.В.</i> Специфические требования к бортовому технологическому оборудованию и материалам аддитивных технологий космического назначения	10
<i>Баландин Е.А., Яковлев А.В., Внуков А.А., Баландина Т.Н.</i> Довыведение космического аппарата на геостационарную орбиту с высокой эллиптической орбиты	14
<i>Буй Дык Бьен</i> Реализация дискретного ПИД-регулятора на 8-разрядных микроконтроллерах ATMEL AVR	17
<i>Быков В.В.</i> Системы электропитания космических аппаратов. История и перспективы развития	21
<i>Гормаков А.Н., Жарких Е.В.</i> Учебная практика (Часть 1) для студентов направления 12.03.01 - Приборостроение	29
<i>Долгих А.Г., Самодуров И.Н.</i> Зависимость потребляемой мощности моментного двигателя с ленточной намоткой от числа пар полюсов магнитной системы	34
<i>Доржиева С.Б., Кухарев А.С., Стасевский В.И.</i> Организация работы со школьниками	38
<i>Дубровский Е.Ю., Добышев Е.В.</i> Перспективные направления развития процесса проектирования единой сети электрических интерфейсов	42
<i>Зарницын А.Ю., Звонцова К.К.</i> Исследование динамических свойств вертикального канала активной силокомпенсирующей системы	45
<i>Ивков С.В., Леонович Г.И., Гуртов А.С., Миненко С.И., Сёмкин Н.Д., Воронов К.Е., Латухина Н.В.</i> Автоматическая аппаратура для проведения научных исследований новейших технологий и материалов в условиях космического пространства для маломассогабаритных космических аппаратов (на примере ОТ МКА «АИСТ-2Д»)	49
<i>Кожевников П.В., Игнатовская А.А.</i> Датчики углового положения шарового ротора гироскопа	56
<i>Пасько В.А., Завьялова О.Ю.</i> Устройство компенсации момента трогания в управляющих двигателях-маховиках	60

<i>Пенкина Т.Ю., Курбатов Е.М.</i> Построение модели коммутатора для управления синхронным двигателем с электромагнитной редукцией	63
<i>Плеханов М.С.</i> Модель асинхронного электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором в режиме минимального скольжения	66
<i>Самодуров И.Н.</i> Зависимость массы моментного двигателя от числа витков ленточной намотки	70
<i>Тарлецкий И.С., Зимин И.И., Валов М.В., Яковлев А.В.</i> Принципы построения малого космического аппарата связи «Гонец-М1» на базе перспективной платформы «ЭКСПРЕСС-500»	74
<i>Татарников Е.В.</i> Проектирование стабилизатора видеокамеры	78
<i>Фролов Р.А., Бекасова А.Г.</i> Пружинный механизм для раскрытия подвижных узлов космического аппарата	82
<i>Яковлев А.С.</i> Автоматизированное формирование уравнений кинематики раскрытия крыльев солнечных батарей космических аппаратов	85

## СЕКЦИЯ №2

### МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

---

<i>Бир А.П.</i> Повышение КПД реактивного двигателя	90
<i>Вицке Р.Э., Яхин А.А.</i> Перспективные полимерные композиты конструкционного назначения	95
<i>Ивкина О.П.</i> Математическое моделирование фрикционного нагрева при вращательном движении	99
<i>Пронина А.Е.</i> Влияние нанодисперсного наполнителя на механические свойства эпоксидных композитов после облучения электронами	102
<i>Спирина Е.А., Лапышев А.А.</i> Пропитка полимерного наполнителя эпоксидным связующим, активизированным ультразвуковыми колебаниями	106

<i>Хайруллин Р.Р.</i> Влияние исходного структурного состояния технического титана BT1-0 на изменение микроструктуры и микротвердости его поверхностного слоя в процессе ультразвуковой обработки	109
<i>Шамиева А.Р., Лопатин И.В., Петрикова Е.А., Тересов А.Д., Толкачев О.С., Шугуров В.В.</i> Разработка комбинированного метода упрочнение поверхности алюминия	113

**СЕКЦИЯ №3**  
**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ**  
**В АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛЯХ**

---

<i>Абуеллаиль А.А., Обач И.И., Сорокин П.В.</i> Исследование электрических характеристик источников термоЭДС	116
<i>Ананьева Е.С.</i> Приспособления для вибрационных испытаний изделий на воздействие механических факторов	121
<i>Гореликов Е.Ю., Орлов С.А., Брагин О.А., Прокопьев Ю.М., Прокопьев В.Ю., Задорожный А.М.</i> Оборудование и методика ударного нагружения бортовой аппаратуры космических аппаратов	124
<i>Затонов И.А.</i> Применение программного пакета Elcut для подбора параметров магнитного поля бетатрона	130
<i>Ильясов Б.Б.</i> Борьба с кондуктивными помехами в системе термостатирования скважинного прибора	135
<i>Ло Ван Хао</i> Определение параметров ориентации на основе МЭМС акселерометра и магнетометра	139
<i>Павлов А.М., Арефьев А.Д., Зегжда И.С., Бурлуцкий С.Г., Фетисова Н.А.</i> Универсальная измерительная система аэродинамических и аэроупругих характеристик для летных исследований	143
<i>Пань Я.</i> Оптимизация параметров численного моделирования процедуры активного теплового контроля влагосодержания в сотовых панелях самолетов	147
<i>Панычев С.А., Гузик В.Ф., Самойленко А.П., Панычев А.И.</i> Комплексирование аппаратно-программных средств контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата	150

<i>Пожарский Т.С.</i> Особенности конструкции автоматического прибора системы ориентации и навигации горнопроходческого комбайна	153
<i>Разумова А.А., Чулков А.О.</i> Определение дефектов в сотовой панели с помощью термоволнового контроля при различных источниках нагрева	158
<i>Хайдукова В.М.</i> Методы определения источников вибрации конструкции двигателя-маховика	162
<i>Шашев Д.В., Вторушин С.Е.</i> Влияние ударного воздействия на микроэлектромеханический акселерометр	165

#### СЕКЦИЯ №4

#### ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

<i>Аракчаа С.У., Шевырёв С.Л.</i> Мониторинг неблагоприятных природных процессов Республики Тува (лесные пожары, опустынивание) по дистанционным космическим данным	169
<i>Ахунова Е.В., Коблов Н.Н.</i> Диспетчеризация производственных процессов на приборостроительном предприятии	172
<i>Аюшеев М.С., Костюченко Т.Г.</i> Проектирование литниковых систем для отливки корпусов приборов космического назначения	176
<i>Карпенко М.А.</i> Классификация данных дистанционного зондирования Земли с использованием робастных оценок	179
<i>Козлов А.А., Коблов Н.Н.</i> Методика хранения графической информации в XML-формате для САПР проводного монтажа	183
<i>Костина М.А.</i> Многоканальная акустическая система контроля паллет	187
<i>Кремлёв И.А.</i> Моделирование электромеханической части привода антенны космического аппарата	190
<i>Лапутенко А.В., Громов М.Л.</i> Реализация и тестирование системы сигнализации на базе микроконтроллера STM32F407VG с использованием автоматной модели с таймаутами	193
<i>Майков С.А.</i> Сравнение методов визуализации физической модели в SIMULINK	196

<i>Михайлов Б.О.</i> Внедрение перспективного интерфейса SpaceWire в новые разработки бортовой аппаратуры НГУ	199
<i>Рунтов К.И., Беспалов А.С., Шевырёв С.Л.</i> Автоматизированный анализ территорий оттаивания криолитозоны с использованием алгоритма кластеризации K-means при проектном дешифрировании дистанционного изображения Земли	201
<i>Савенко И.И., Скирневский И.П., Мартынов Я.А.</i> Метод автоматизации процесса управления бортовым ретрансляционным комплексом спутника связи	204
<i>Стасевский В.И.</i> Линейное перемещение объектов томографического контроля посредством винтовой передачи	209
<i>Худоногова Л.И.</i> Алгоритм выбора активного подмножества узлов в беспроводной сенсорной сети на основе агрегирования предпочтений	212
<i>Черватюк В. Д., Коблов Н. Н.</i> Организация работ подразделений предприятия с электронной технической документацией	215
<i>Шангина Е.А., Шангина Н.А.</i> Применение технологии управления проектами в системах управления жизненным циклом изделий	218
<i>Шевырёва М.Ж., Шевырёв С.Л.</i> Мониторинг проявлений углеводородов осадочных бассейнов Татарского пролива по данным орбитальных съемок	222

## СЕКЦИЯ №5

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ И МОНИТОРИНГА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

---

<i>Андрееш Е.Б., Богданов И.А., Барилова Е.Р., Тур А.А., Эльхутов С.Н.</i> Блок измерения температуры деталей кривошипно-шатунного механизма	226
<i>Асочаков А.С., Шульгина Ю.В., Шульгин Е.М.</i> Аппаратная обработка данных с фазированной решетки	229
<i>Битуева С.И., Щаденко С.В., Толмачев И.В.</i> Использование трехмерной реконструкции для планирования и сопровождения хирургических операций	232
<i>Булгакова О.В., Асочаков А.С., Шульгина Ю.В.</i> Использования фазированных антенных решеток при обследовании внутренних органов	236



<i>Гатауллин А.А., Киселева Е.Ю.</i> Устройство для анализа бронхофонографических данных человека	240
<i>Казаева А.А., Болотина И.О.</i> Применение космических технологий для визуализации биологических объектов	242
<i>Киселева В.А., Брагина А.Д., Торгаев С.Н., Евтушенко Г.С.</i> Программа обработки биомедицинских сигналов	246
<i>Королук Е.С., Бразовский К.С.</i> Разработка требований к программному обеспечению в критически важных системах	249
<i>Кучер А.В., Чжен Н.В., Фокин А.В.</i> Система управления стабилметрической платформой	253
<i>Литвинова С.А., Аристов А.А.</i> Системы получения сдвиговых деформаций для исследования агрегации эритроцитов в микрообъемах	258
<i>Новосельцева А.П., Мусоров И.С., Торгаев С.Н., Аристов А.А.</i> Система управления оптоэлектронным измерительным преобразователем	262
<i>Солдатов В.С., Бояхчян А.А., Оверчук К.В., Уваров А.А., Лежнина И.А.</i> Разработка устройства для мониторинга аритмии и внезапной сердечной смерти	266
<i>Спиридонова А.К., Жук В.В., Нам И.Ф.</i> Портативная ингаляционная система для дозированной доставки инсулина	269
<i>Тимченко К.А., Новосельцева А.П., Аристов А.А.</i> Исследование методик съема значений оптических плотностей тканей с поверхности головы	272
<i>Шадрин Д.В., Арышева Г.В.</i> Роботизированная рука с дистанционным управлением	278

**СЕКЦИЯ №7**  
**SPACE ENGINEERING**  
**(СЕКЦИЯ ДЛЯ ДОКЛАДОВ НА АНГЛИЙСКОМ**  
**И НЕМЕЦКОМ ЯЗЫКАХ)**

---

<i>Assipkina L.A.</i> Weltraummüll als Ergebnis menschlicher Tätigkeit	282
<i>Ayusheev M.S., Kostyuchenko T.G.</i> Design of a Parametrical Flywheel with Use of New Technologies	285
<i>Boyakhchyan A.A., Soldatov V.S., Uvarov A.A., Overchuk K.V., Lezhnina I.A.</i> Device for Continuously Monitoring of Health of Cosmonauts	289

<i>Damdinov B.O.</i> Colonization of Planets by Humanity: Myth or Really?	292
<i>Isaeva D.V., Ivanova V.S</i> To the Question of Distance Learning in Aerospace Industry	296
<i>Kaftasyev S.M.</i> Ensuring Accuracy of Gyroscopic Systems. Modern Methods and Approaches	301
<i>Kataeva O.I.</i> Die zielstrebige Entwicklung der kosmischen Anlagen in Russland	304
<i>Razumova A.A.</i> Die Bestimmung der Defekte in den Verbundwerkstoffen mithilfe der Thermowellenkontrolle	307
<i>Severin A.V.</i> Probleme der Nucleosynthese. Wo ist Lithium?	310
<i>Schatalow E.W.</i> Cykloidenverzahnung mit dazwischenliegenden Rollkörpern	313
<i>Warkentin Darya</i> Seltene Metalle in der Raumfahrttechnik	316
<i>Zatonov I.A.</i> Space Radiation's Impact on the Health of Astronaut and Methods of Protection from it	320
<i>Zorina E.V.</i> Control Device of Human being Spatial Position Based on Micromechanical Inertial Module	323

---

# СЕКЦИЯ №1

## КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ПРИБОРЫ

---

### СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К БОРТОВОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБОРУДОВАНИЮ И МАТЕРИАЛАМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Алексеев А.Н., Донцов Ю.В.

Научный руководитель: Ляпков А.А., доцент, к.х.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: tganton@tpu.ru

### SPECIFIC REQUIREMENTS FOR ON-BOARD PROCESS EQUIPMENT AND MATERIALS ADDITIVE TECHNOLOGIES FOR SPACE APPLICATIONS

Alexeev A.N., Donzov U.V.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Lyapkov A.A.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: tganton@tpu.ru

*Развитие техники освоения космического пространства выявило пределы подхода, при котором все необходимые в космосе предметы доставляются с Земли в готовом виде. Возникла проблема – земные технологии не пригодны для производства изделий на борту космических аппаратов и в открытом космосе. Это привело к необходимости начала работ по созданию технологий (космического производства), делающих возможным изготовление деталей, конструкций, инструментов, приспособлений и т.п. непосредственно на борту космического аппарата (КА), а в будущем на внешней поверхности КА и в открытом космическом пространстве. В данной статье раскрываются специфические требования, которые космическое производство предъявляет к оборудованию и материалам, которые будут использованы для осуществления технологических процессов, проводимых на борту космических аппаратов, включая Международную Космическую Станцию.*

*Development of technology of space exploration has revealed the limits of approach, in which all the necessary objects in space from Earth are delivered ready to use. There was a problem—Earth technologies are not suitable for the manufacture of products on board spacecraft and in outer space. This led to the need to begin work on the creation of technologies (space industry), make possible the manufacture of parts, designs, tools, appliances, etc. directly on Board of spacecraft and in the future, on the outer surface of the spacecraft and in outer space. This article elaborates on the specific requirements that space to production equipment and materials that will be used for the implementation of the technological processes, conducted aboard the spacecraft, including the international space station.*

Непрерывно растущее значение для науки и техники освоения космического пространства привело к необходимости начала работ по созданию технологий, делающих возможным создание деталей, конструкций, инструментов, приспособлений и т.п. непосредственно на борту космического аппарата (КА) и, в будущем, на внешней поверхности КА и в открытом космическом пространстве – космическое производство (КП).

Типичный пример, обосновывающий потребность в космическом производстве - создание крупногабаритных конструкций. Очевидно, что в случае изготовления такой конструкции на Земле во время вывода на орбиту она подвергнется воздействию сил стартовых перегрузок, которые на порядки превысят силы, которые та же конструкция будет воспринимать, выполняя свои полезные функции в космическом пространстве. Таким образом, стартовые перегрузки вынуждают серьезно перетяжелить габаритные конструкции, а вывод крупногабаритных конструкций целиком делают невозможным.

Для обхода этого ограничения в 70-е годы прошлого века фирмой Grumann (США) была предложена машина, которая в случае своей реализации смогла бы изготавливать длинномерные фермы для

КА непосредственно на орбите, используя доставленный с Земли ленточный препрег на основе высокопрочных угленитей и радиационно-стойкого термопластичного связующего (полиэфирсульфона).

Работающие вне обитаемых отсеков КА пултрузионные, намоточные и иные крупногабаритные машины являются важнейшим применением методов космического производства, но для создания их требуются НИОКР, объектами которых будут бортовые установки КП, работающие, в том числе и в обитаемых отсеках КА.

Начало НИОКР по бортовым установкам КП было положено фирмой Made In Space, Inc., создавшей и испытавшей на орбите Zero-G Printer [2].

Данный принтер продемонстрировал печать на борту МКС калиброванным прутком АБС-пластика с разрешением 200мкм. На рисунке 2 представлен общий вид данного принтера, в частности виден модуль управления, вынесенный в отдельный блок. Печать Zero-G Printer на борту МКС осуществлял в изолирующем боксе.

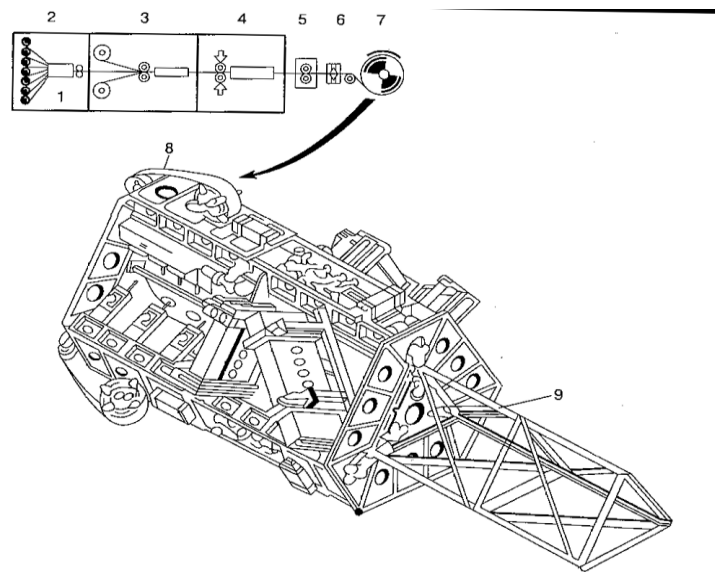


Рис. 1. Пултрузионная машина (фирма Grumann, США) для формования в космосе изделий из материалов на основе углеродных волокон и полиэфирсульфона [1, стр.276] 1 – углеродные волокна, 2 – изготовление армирующей ленты, 3 – покрытие и пропитка полимером, 4 – отвердевание (стеклование связующего), 5 – вальцевание, 6 – контрольное устройство, 7 – намотка бобины, 8 – препрег, 9- готовое изделие

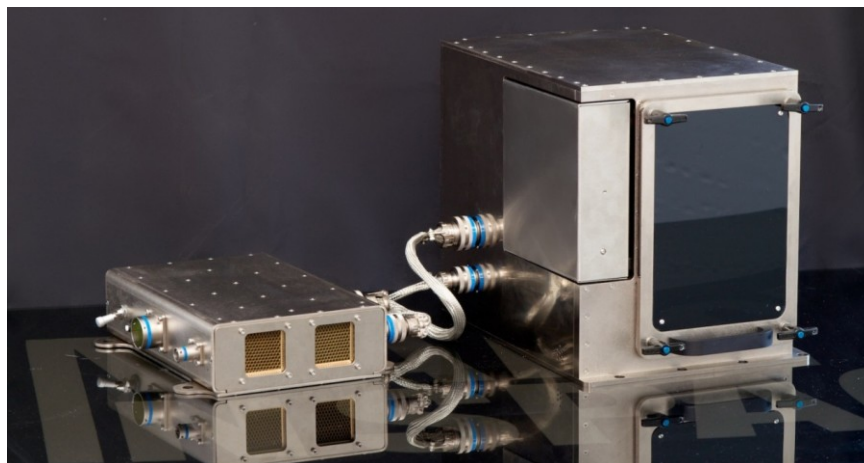


Рис. 2.

Пример, применения КП такого рода – оперативное изготовление инструментов, потребность в которых невозможно предвидеть заранее (за несколько месяцев). В настоящее время для получения такого инструмента приходится ждать следующий «Прогресс».

Рассмотрим специфические требования к этому актуальному классу бортовых установок. Эти требования разделим на две группы – обязательные и факультативные.

**Обязательные требования к бортовым технологическим установкам космического производства.**

Важнейшее свойство установки, работающей в ограниченном обитаемом объеме КА – безопасность, которая складывается из специфических пожарных и химических требований.

Пожарная безопасность связана с особой опасностью открытого пламени в условиях невесомости, быстрым и труднопредсказуемым распространением огня, трудностями эвакуации и огнетушения.

Химическая безопасность. Условия обитаемого КА накладывают жёсткие ограничения на содержание и выделение вредных или опасных химических веществ. Отсутствие аварийного сброса из обитаемого объёма КА заставляет исключать даже малейшую возможность попадания таких веществ в обитаемый объём.

Прочность и вибростойкость установки диктуется, в основном, нагрузками на этапе выведения.

Габариты оборудования и расходных материалов определяются габаритами транспортного КА типа «Прогресс» и люка его стыковочного узла. На данном этапе это ограничение не представляется важным для создаваемых установок.

Надёжность. Любой ремонт на орбите многократно сложнее и дороже наземного.

Радиационная стойкость. В настоящее время можно предположить, что большая часть установок КП будет испытываться на низких орбитах, под защитой магнитного поля Земли, что несколько снижает требования.

Исключение разлёта частиц [3]. В условиях Земли просыпанный порошок или гранулы полимера неприятны, но обычно не опасны. В условиях невесомости они могут быть опасны и для людей, и для оборудования КА.

Энергоёмкость (теплоотвод). Поскольку в космическом пространстве отсутствуют материальные потоки, которым можно эффективно передавать тепло, приходится использовать малопродуктивный способ теплоотвода – рассеивание излучением. В связи с этим теплоотвод определяет возможную длительность работы установки, накладывая ограничения на её мощность. На данный момент актуальны установки КП, с максимальной длительной мощностью порядка сотен Ватт. На практике это ограничение является одним из самых серьёзных для технологических процессов КП, проводимых в обитаемых отсеках КА, и сильно сужает круг доступных для бортовой технологии материалов и техпроцессов.

**Факультативные требования к бортовым технологическим установкам космического производства.**

Минимизация шума и вибраций, производимых установкой. В замкнутом пространстве обитаемых КА, в течение длительного времени, воздействие шума на человека усугубляется. Необходимы специальные меры по борьбе с шумом, например, тихходные вентиляторы и открытопористые звукопоглощающие материалы.

Расширенный температурный диапазон позволит производить испытание установки не только в обитаемых отсеках, но и вне их. Это приблизит к созданию установок КП, работающих в открытом космосе.

Минимальные отходы и неиспользуемый вес. В связи с дороговизной доставки необходимо стремиться к максимально полному использованию сырья в КП. В связи с этим нежелательно использовать антиадгезионные подложки, растворители и т.п.

Герметичная рабочая камера. Позволяет отказаться от изолирующих боксов и т.п. громоздких и дорогих решений.

**Требования к материалам для космического производства.**

Высокая удельная прочность и жёсткость (экономия выводимого веса).

Низкое тепловыделение в процессе переработки в изделия.

Низкий выход летучих веществ в процессе хранения, изготовления изделия и из готового изделия.

Отсутствие запаха в готовых изделиях или очень слабый запах.



*Рис. 3. Пример армированного арамидной нитью образца, напечатанного экструзионным методом*

**Выводы и их практическое приложение.**

Анализ вышеперечисленных требований позволил начать работы по подготовке к эскизному проектированию бортовой установки КП со следующими входными данными:

- Метод изготовления изделий – аддитивное экструзионное производство (3D-печать) с использованием шнекового экструдера.
- Материал готовых изделий – термопластичный непрерывноармированный высокопрочной нитью композит.
- Способ дозирования термопластичного связующего – подачей круглого калиброванного прутка.
- Герметичная рабочая камера - корпус несущего типа с функциями шумоизоляции, электромагнитного экранирования и системой поддержания состава атмосферы.
- Дублированная система управления повышенной надёжности.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы - Санкт-Петербург: Профессия, 2006. - 624с.
2. Zero-Gravity 3D Printer [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.madeinspace.us/projects/3dp/>, свободный.
3. Российский сегмент МКС. Справочник пользователя. Корпоративный сайт / Ракетно-космическая корпорация «Энергия» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.energia.ru/ru/iss/researches/iss\\_rs\\_guide.pdf](http://www.energia.ru/ru/iss/researches/iss_rs_guide.pdf), свободный.

**ДОВЫВЕДЕНИЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ГЕОСТАЦИОНАРНУЮ ОРБИТУ  
С ВЫСОКОЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТЫ**

Баландин Е.А., Яковлев А.В., Внуков А.А., Баландина Т.Н.  
АО «Информационные спутниковые системы» им. М.Ф. Решетнёва»  
Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Ленина, д.52, 662972  
E-mail: balaniva@sibmail.ru

**SPACECRAFT INSERTION INTO THE GEOSTATIONARY ORBIT FROM HIGHLY  
ELLIPTICAL ORBIT**

Balandin E.A., Yakovlev A.V., Vnukov A.A., Balandina T.N.  
Joint-Stock Company «Academician M.F. Reshetnev «Information Satellite Systems»  
Russia, Krasnoyarsk region, Zheleznogorsk, Lenin str., 52, 662972  
E-mail: balaniva@sibmail.ru

*Актуальность работы определяется возросшей конкуренцией на мировом рынке разработки спутников, что требует снижения издержек на разработку и запуск космических аппаратов. Очевидным способом уменьшения затрат является снижение стартовой массы космического аппарата, позволяющее применять для запуска космического аппарата на геостационарную орбиту более дешевые ракетно-носители среднего класса, либо запускать одной ракетой-носителем несколько космических аппаратов. Альтернативным решением этой проблемы является выведение космического аппарата с помощью электрореактивных двигателей. Данный способ обладает преимуществом по количеству топлива относительно метода выведения на химических двухкомпонентных реактивных двигателях. Целью исследования является оценка эффективности выведения космического аппарата на геостационарную орбиту с высокой эллиптической орбиты с помощью электрореактивных двигателей.*

*Relevance of the work is determined by the increased competition in the global market development of satellites, which requires the reduction of costs for the development and spacecraft launching. The obvious way to cut costs is to reduce the launching mass of the spacecraft, what allows us to apply to spacecraft launching into geostationary orbit cheaper launch vehicles of the middle class, or to launch several space vehicles with one launch vehicle. An alternative solution to this problem is the method of insertion by the electric propulsion thrusters. The method of spacecraft insertion by the electric thrusters has the advantage of amount of fuel the method of insertion by chemical two-component thrusters. The aim of research is to assess the effectivity of insertion the spacecraft on geostationary orbit by the method of spacecraft insertion by the electric thrusters from highly elliptical orbit.*

Применение электрореактивной двигательной установки (ЭРДУ) позволяет увеличить массу космического аппарата (КА), выводимого на целевую орбиту. Увеличение массы КА обеспечивается за счет сокращения требуемого запаса рабочего тела на довыведение КА за счет высокого удельного импульса тяги, в 5-10 раз превышающего удельный импульс тяги традиционных жидкостных реактивных двигателей. Однако довыведение с переходной орбиты (ПО) с помощью ЭРДУ характеризуется большей длительностью, обусловленной малым секундным расходом рабочего тела в двигателе [1].

Традиционно для довыведения зарубежных КА используют АДУ с двухкомпонентным химическим двигателем на монометилгидразине и смеси оксидов азота, что не является эффективным решением с точки зрения стартовой массы КА: в зависимости от РН и точки старта, масса топлива для довыведения на геостационарную орбиту (ГСО) может составлять до 50% от стартовой массы КА [1].

Первое штатное довыведение отечественных спутников при помощи ЭРДУ, разработанных инженерами АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» было осуществлено в 2014 году («Экспресс-АМ5») и в 2015 году («Экспресс-АМ6») с переходной орбиты, характеризующейся высоким перигеем и малым эксцентриситетом [2].

В данной работе рассматривается схема выведения, состоящая из трёх этапов:

- изменение наклона орбиты до значения  $0^\circ$ ;
- подъём высоты перигея переходной орбиты до высоты ГСО;
- опускание высоты апогея переходной орбиты до высоты ГСО.

Необходимые затраты характеристической скорости на изменение наклона орбиты прямо пропорциональны скорости в узловых точках переходной орбиты. Следовательно, для минимизации затрат рабочего тела на изменение наклона орбиты, необходимо, чтобы в одном из узлов переходной орбиты находился апогей. В этом случае, возможно, совместить выдачу импульса на изменение наклона орбиты с выдачей импульса на увеличение большой полуоси орбиты.

Затраты характеристической скорости на изменение наклона орбиты вычисляются по формуле [3]:

$$\Delta V_{\alpha} = 2V_a \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2)$$

где  $V_a$  – скорость в апогее переходной орбиты, км/с;

$\alpha$  – наклонение переходной орбиты.

Исходя из формулы (1) видно, что чем меньше скорость в апогее ПО, тем меньше затраты характеристической скорости на изменение наклона. Известно, что с увеличением высоты апогея, скорость в апогее уменьшается. Отсюда следует, что чем выше апогей ПО, тем меньше затраты характеристической скорости на изменение наклона орбиты. Но с увеличением высоты апогея вклад затрат на опускание апогея в суммарных затратах рабочего тела растет. Поэтому поиск оптимальной высоты апогея сводится к итерационному численному методу.

Масса рабочего тела, необходимого для выработки суммарного импульса, соответствующего необходимому приращению характеристической скорости, может быть определена по формуле Циолковского [4]:

$$\Delta V = I_{y\partial} \cdot \ln \frac{M_H}{M_K} \quad (2)$$

где  $\Delta V$  – необходимое приращение характеристической скорости, м/с;

$I_{y\partial}$  – удельный импульс двигателя, м/с;

$M_H$  – начальная масса КА после отделения от РН, кг;

$M_K$  – масса КА на ГСО, кг.

Преобразовав формулу (2), можно получить выражение для определения массы рабочего тела  $M_{PT}$  в зависимости от требуемой массы КА на ГСО:

$$M_{PT} = M_K \cdot \left( e^{\frac{\Delta V}{I_{y\partial}}} - 1 \right) \quad (3)$$

Поскольку значения  $\Delta V$  получены для случая мгновенной выдачи импульса в точках максимальной эффективности, при расчётах массы рабочего тела необходимо использовать повышающий коэффициент, моделирующий реальные условия работы ЭРДУ. Согласно опыту АО ИСС, на этапе проектных оценок этот коэффициент целесообразно принять равным 1,3.

В качестве исходных данных для оценки затрат массы рабочего тела (определяющих время довыведения КА на ГСО) были выбраны следующие значения массы КА на ГСО: 2000 кг – как средняя масса КА среднего класса; 3500 кг – как средняя масса КА тяжёлого класса. Используя формулы, изложенные в [3-4], были проведены расчеты, результаты которых приведены ниже.

Анализ возможных переходных орбит КА массой на ГСО 2000 кг (графики 1–3 на рис. 1) показывает, что с точки зрения сокращения времени довыведения для орбит с наклоном больше 28,5° необходимо использовать орбиты с высотой апогея не ниже 80000 км. Для орбит с наклоном меньше



28,5° для сокращения периода довыведения целесообразно формировать апогей на высоте примерно 61000 км.

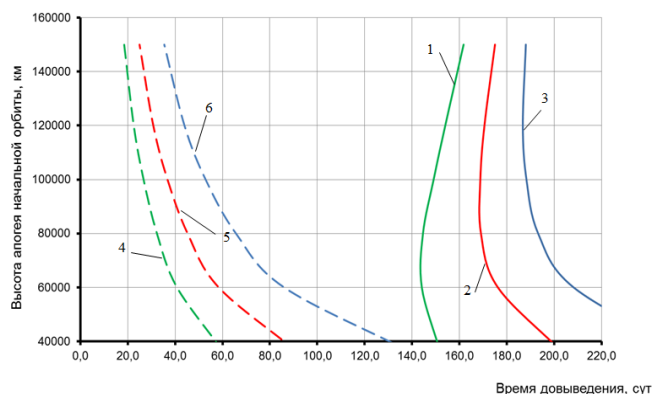


Рис. 1. Зависимость времени довыведения на ГСО от высоты апогея начальной орбиты для КА массой 2000 на ГСО: 1-3 – общее время довыведения для начальных орбит наклоном 6°; 28.5°; 51.5° соответственно; 4-6 – время достижения орбиты с перигеем 10000 км и наклоном 0° для начальных орбит наклоном 6°; 28.5°; 51.5° соответственно

Графики 4-6 на рис. 1 иллюстрируют зависимость времени прохождения внутреннего радиационного пояса Земли от высоты апогея.

В ходе расчетов в качестве электрореактивного двигателя рассматривался стационарный плазменный двигатель СПД-140 (производство ОКБ «Факел», г. Калининград) с удельным импульсом, равным 1680 с [5].

Результаты расчётов массы рабочего тела и длительности довыведения для различных масс КА на ГСО и различных наклонов для ПО с высотами апогеев 36000 км, 71000 км, 120000 км приведены в таблице 1.

Из таблицы 1, видно, что длительность довыведения с ПО с апогеями 71000 км и 120000 км при наклонении более 28.5° меньше чем с ПО с апогеем 36000 км в среднем на 21%. А для орбит с наклонением меньше 28.5° наименьшей длительностью довыведения обладает ПО с апогеем 71000 км.

Таблица 1. Результаты расчетов

		ПО (200×36000) км		ПО (200×71000) км		ПО (200×120000) км	
		M <sub>рт</sub> , кг	t <sub>общ</sub> , сут	M <sub>рт</sub> , кг	t <sub>общ</sub> , сут	M <sub>рт</sub> , кг	t <sub>общ</sub> , сут
МКА на ГСО 2000 кг	i=0°	243.9	138.4	235.5	136.6	229.8	150
	i=6°	273.5	151.9	250.3	144.6	239.9	154
	i=28.5°	385.7	203.5	306.5	169.1	278.5	170.6
	i=51.5°	498.9	235.5	361.9	193.2	316.3	186.8
МКА на ГСО 3500 кг	i=0°	426.9	242.2	412.1	240	402.0	262
	i=6°	478.6	265.9	438.1	253.1	419.9	269.5
	i=28.5°	675.0	356.1	536.4	295.9	487.4	298.5
	i=51.5°	873.1	447.1	633.4	338.2	553.5	326.9

Примечания:  
 1. M<sub>рт</sub> – масса рабочего тела необходимая для довыведения КА на ГСО, кг;  
 2. t<sub>общ</sub> – общее время довыведения КА на ГСО, сут.

В то же время затраты характеристической скорости для выведения КА с геопереходной орбиты на ГСО разгонным блоком «Бриз-М» (РН «Протон», космодром Байконур) составляют 3.93 км/с, а для выведения КА на ПО с апогеями 71000 км и 120000 км и изменения наклона ПО с 51.5° до 0° на ПО –3.56 км/с и 3.44 км/с соответственно. Для ПО с апогеем 36000 км и наклоном 0° – 4.17 км/с.

Массы выводимые на данные ПО РН «Протон» с космодрома Байконур:

- примерно 5600 кг на 200 км × 36000 км,  $i=0^\circ$ ;
- примерно 6800 кг на 200 км × 71000 км,  $i=0^\circ$ ;
- примерно 7500 кг на 200 км × 120000 км,  $i=0^\circ$ ;

Данные результаты доказывают возможность применения рассмотренных переходных орбит, и выбор той или иной переходной орбиты для довыведения зависит от соотношения между стоимостью килограмма ксенона и среднесуточной прибылью, получаемой заказчиком КА от эксплуатации спутника на целевой орбите. Уменьшение затрат ксенона связано с увеличением времени достижения КА ГСО.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Внуков А.А., Рвачёва Е.И. Предпосылки и перспективы создания полностью электрореактивных космических аппаратов для работы на геостационарной орбите // Вестник СибГАУ. 2014. № 4 (56). С. 140-146.
2. Булынин Ю.Л., Попов В.В., Яковлев А.В. Результаты баллистического обеспечения запуска на геостационарную орбиту спутника «Эксперсс-АМ5» // 19-ая международная научная конференция «Системный анализ, управление и навигация»: тез. докл. М.: Изд-во МАИ, 2014.
3. Мирер С.А. Механика космического полета. Орбитальное движение: учеб. Пособие для студентов. ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2013. Режим доступа: <http://www.keldysh.ru/kur/move.pdf> (дата обращения 10.06.2015).
4. Левантовский В.И., Механика космического полета в элементарном изложении, 3-е изд., дополненное и переработанное. – М.: Наука, 1980. – 512 с.
5. Продукция ОКБ «Факел». Двигатель СПД–140. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fakel-russia.com> (дата обращения 20.07.2015).

#### **РЕАЛИЗАЦИЯ ДИСКРЕТНОГО ПИД – РЕГУЛЯТОРА НА 8-РАЗРЯДНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ ATMEL AVR**

Буй Дык Бьен

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](mailto:bientomsk@mail.ru)

#### **IMPLEMENTATION OF DISCRETE PID CONTROLLER USING ATMEL AVR 8-BIT MICROCONTROLLER**

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D., Martemyanov V.M.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [bientomsk@mail.ru](mailto:bientomsk@mail.ru)

*Бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ) широко распространены в различных приложениях, где важны широкий диапазон изменения угловой скорости, отсутствие узлов, которые требуют частое обслуживание, высокая долговечность и надежность. Управление данными двигателями и регулирование их скоростей вращения являются важнейшей научной и инженерной задачей,*

решения которой можно достичь при помощи микроконтроллера. На практике оказывается, что при проектировании различных устройств автоматики неоднократно сталкивается задача обеспечения заданной угловой скорости вала двигателя, которая не зависит от действующей нагрузки. В работе представлены теоретический подход и результаты применения дискретного ПИД – регулятора для регулирования угловой скорости бесконтактного двигателя постоянного тока с применением 8-разрядными микроконтроллерами Atmel AVR. На основе полученных данных построены графические зависимости.

*Brushless direct current (BLDC) motors are widely distributed in a variety of applications where a wide range of changes in angular velocity is important, the absence of nodes that requires frequent maintenance, is high durability and reliability. BLDC motor control and regulation of their speeds are essential scientific and engineering tasks which can be accomplished by using a microcontroller. In practice the fact is that the task of providing a predetermined angular velocity of the motor shafts, which is independent of the actual load, repeatedly meets in the design of various control devices. The article presents the theoretical approach and the results of application of discrete PID – controller for regulation the rotation speed of brushless direct current motor using Atmel AVR 8-bit microcontroller. Characteristic curves are built on basic of the received data.*

В настоящее время предъявляются повышенные требования к степени автоматизации технологических и подобных процессов, по этой причине проявляется тенденция на повышение использования микроконтроллеров.

AVR - это 8–разрядный RISC микроконтроллер, который имеет Гарвардский процессор, порты вывода/ввода, память данных, память программ и различные схемы интерфейсов [1]. Одним из наиболее распространенных законов автоматического регулирования является пропорциональный, с воздействием по интегралу и первой производной – ПИД. Эта популярность объясняется в простоте построения, невысокой стоимости, понятность функционирования и приспособленность для решения множества практических задач.

В общем случае ПИД – регулятор выражается следующей формулой [2]:

$$u(t) = K_p \varepsilon(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt + K_p T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (1)$$

где  $u(t)$  – управляющее воздействие,  $\varepsilon(t)$  – отклонение,  $K_p$  – коэффициент пропорциональности,  $T_i$  – постоянная интегрирования,  $T_d$  – постоянная дифференцирования.

Для технического воплощения, в связи с тем, что микроконтроллер, являющийся основой регулятора, оперирует с цифровыми сигналами, уравнение (1) необходимо представлять в дискретном виде, при этом применяются замены интегралов и производных их дискретными аналогами.

Из-за короткого интервала времени определения значения отклонения, дифференциальная составляющая ПИД – регулятора можно представить в виде [3]:

$$\frac{d\varepsilon(t)}{dt} \approx \frac{\varepsilon(n) - \varepsilon(n-1)}{T} \quad \text{при } t = nT,$$

где  $n$  – дискретный шаг времени  $t$ .

При определении интегральной составляющей применяется приближительное вычисление интеграла по формуле прямоугольников. У каждого прямоугольника есть ширина, равная интервалу времени определения значения отклонения и высота – значение ошибки, т. е. [3]:

$$\int_0^t \varepsilon(t) dt \approx T \cdot \sum_{k=0}^n \varepsilon(k)$$

В общем случае дискретный ПИД – регулятор имеет вид [3]:

$$u(n) = K_p \varepsilon(n) + K_i \cdot T \cdot \sum_{k=0}^n \varepsilon(k) + K_d \frac{[\varepsilon(n) - \varepsilon(n-1)]}{T} \quad \text{при } K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad K_d = K_p T_d$$

По формуле, приведенной выше, была разработана программная реализация системы управления БДПТ (рис. 1), предназначенная для использования в контроллерах AVR [4].

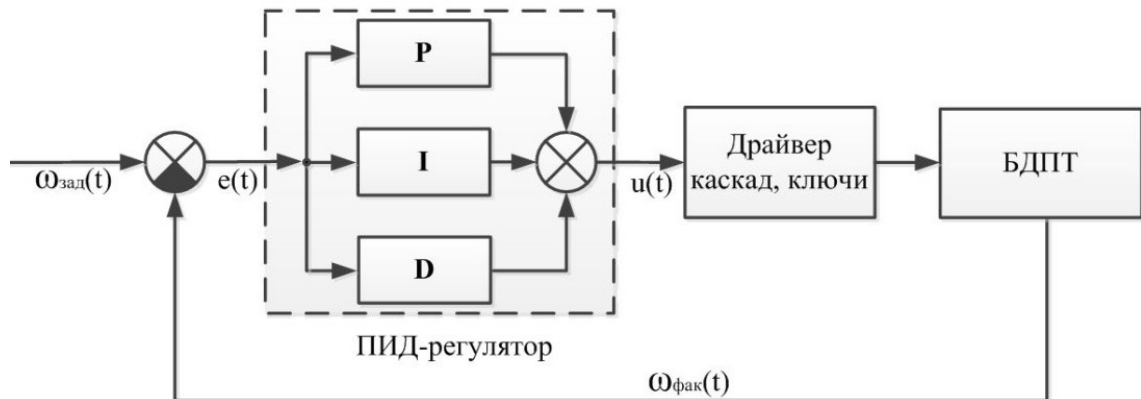


Рис. 1. Структурная схема системы управления БДПТ с ПИД-регулятором

Для проверки работоспособности программы регулирования скорости вращения БДПТ использовался микроконтроллер Atmega16L. В качестве среды разработки программного обеспечения для данного микроконтроллера использован Codevision AVR 2.50.

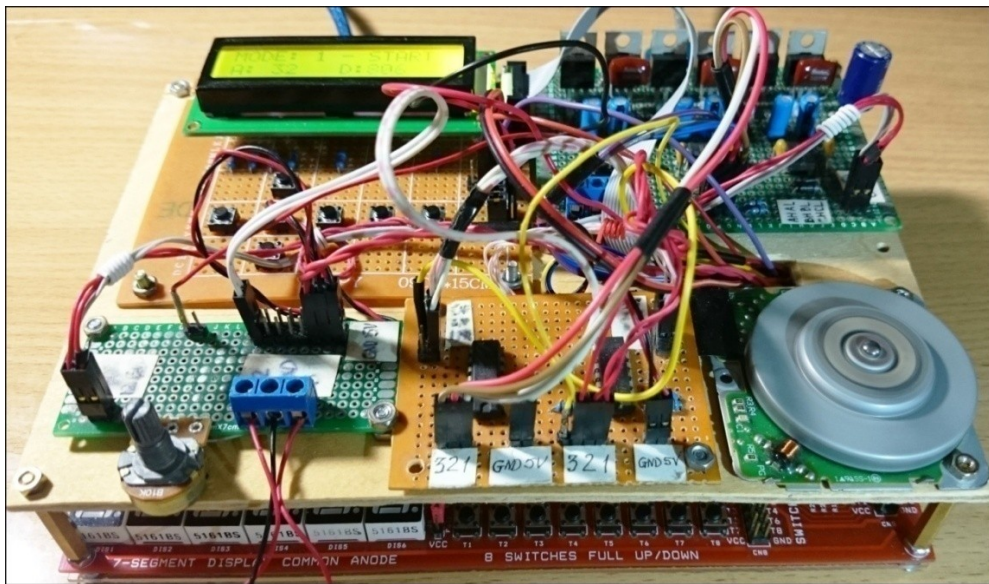


Рис. 2. Макет системы управления БДПТ

В реализованной схеме (рис. 2), сигнал обратной связи формулируется датчиком Холла и имеет частоту 10 импульсов в одном обороте. Количество импульсов определяется при использовании функции внешнего прерывания микроконтроллера Atmega16L. Требуемая скорость задается с помощью коммутаторов. Отклонение угловой скорости определяется через каждый 25 мс, выходная величина регулятора является скважностью ШИМ сигнала, которая генерируется таймером «1».

Экспериментальные исследования проведены на изготовленном макете при различных коэффициентах ПИД – регулятора, подобранных ручной настройкой и результаты были представлены на рисунке 3.

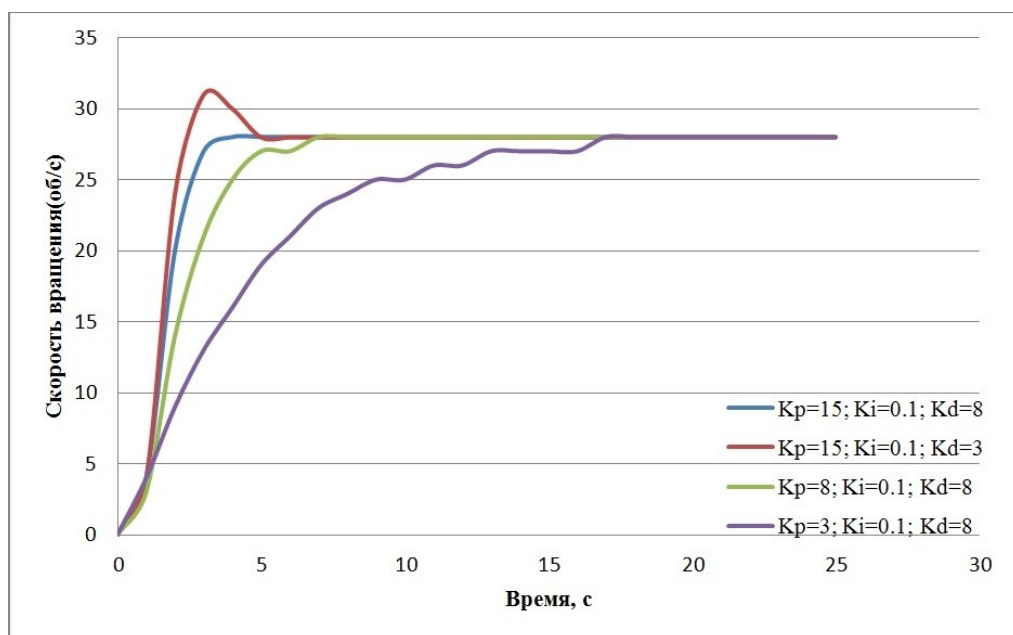


Рис. 3. Режим разгона БДПТ при различных коэффициентах ПИД – регулятора

На основе полученных результатов, можно прийти к выводу, что дискретный ПИД – регулятор эффективно реализован на базе 8-разрядных микроконтроллеров AVR и дает возможность обеспечения заданной скорости вращения вала бесконтактного двигателя постоянного тока. Кроме того, использование дискретного ПИД – регулятора позволяет выбирать характер переходного процесса угловой скорости при включении двигателя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев К.Б., Палагута К.А. Микроконтроллерное управление электроприводом: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2008. – 298с.
2. Дядик В.Ф. Теория автоматического управления: учебное пособие/ В.Ф. Дядик, С.А. Байдали, Н.С. Креницын; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 196 с.
3. AVR221: Discrete PID controller. Application Note. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.atmel.com/images/doc2558.pdf>.
4. 8-bit AVR microcontroller with 16k bytes in-system programmable flash Atmega16/Atmega16L. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.atmel.com/images/doc2466.pdf>.

**СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.  
ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Быков В.В.

Научный руководитель: Дмитриев В.С., профессор, д.т.н.  
Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полюс»  
Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 "в", 634050  
E-mail: vasilii\_bykov@mail.ru

**ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM OF SATELLITES.  
HISTORY AND FUTURE DEVELOPMENT**

Bykov V.V.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Dmitriev V.S.  
JSC «Scientific & Industrial Centre «Polyus»  
Russia, Tomsk, Kirova str., 56v, 634050  
E-mail: vasilii\_bykov@mail.ru

*В статье приводится краткая классификация систем электропитания космических аппаратов по поколениям, отличающимся основными техническими характеристиками каждого из ее компонентов. Показано современное состояние техники, необходимые пути совершенствования и перспективы развития данного направления. Особое внимание уделено энергопреобразующей аппаратуре на примере продукции «НППЦ» Полюс» (комплексы автоматики и стабилизации напряжения КАС). Приведены сравнительные массогабаритные и мощностные характеристики различных КАС. Описанные подходы позволили создать ряд КАС не уступающий лучшим мировым образцам аппаратуры данного типа.*

*The article classified generations of electrical power supply systems of satellites that differ by main technical parameters of each of its components. The article shows the current state and the necessary ways of improving and prospects of development of this direction. Special attention is given to energy conversion equipment on the example of the production "SIC" Polyus" (complex automation and voltage regulation or power condition unit PCU). Showing the comparative parameters of weight, size and power of different PCU. The described approaches have allowed creating a series of PCU not conceding to the best samples of equipment given type.*

**Введение**

Из всех известных видов энергии электрическая энергия наиболее универсальна. По сравнению с другими видами энергии, она имеет ряд преимуществ:

- электрическая энергия легко преобразуется в другие виды энергии;
- КПД электрических установок значительно выше КПД установок, работающих на других видах энергии;
- электрическую энергию легко передавать по проводам к потребителю;
- электрическая энергия легко распределяется между потребителями.

Обеспечение автономного полёта космического аппарата (КА) немислимо без применения электрической энергии. Электрическая энергия вырабатывается системой электропитания и используется для приведения в действие всех приборов, оборудования и механизмов.

Система электропитания (СЭП) относится к числу важнейших систем, обеспечивающих работоспособность космических аппаратов.

Прогресс в космической технике и совершенство бортовых СЭП – два понятия, неотделимые друг от друга. Вся история развития ИСЗ сопровождалась поисками и внедрением новых источников энергии, разработкой всё более совершенных структур построения систем электропитания, поиску оптимальных методов регулирования и управления источниками тока и всё это - при постоянно возрастающих требованиях к качеству напряжения питания бортовой аппаратуры и сроку службы. Достаточно привести пример роста энерговооруженности больших ИСЗ на высоких орбитах: если для уровня разработок 1980 - 1990 гг. (КА «Молния», «Горизонт») этот показатель составлял менее 1 кВт на 1 т массы спутника, то в разработках 2000 г. («Экспресс-АМ») он превысил 2 кВт/т, а в проектируемых аппаратах на базе платформы

«Экспресс-2000» он должен приблизиться к значению 5 кВт/т при одновременном повышении срока службы с 3 до 12-15 лет [1]. И основным способом повышения энерговооруженности ИСЗ является совершенствование бортовых СЭП.

Основными требованиями, предъявляемыми к СЭП, являются:

- необходимый запас энергии для выполнения всей программы полёта;
- надёжная работа, в том числе, при нештатных ситуациях;
- способность работать в любом положении в пространстве и в условиях невесомости;
- стабильность выходных параметров;
- высокая устойчивость к изменениям потребляемой мощности и помехам, возникающим при работе бортовой аппаратуры;
- минимальная масса и габариты.

Электрическая энергия, необходимая для выполнения программы полёта, должна вырабатываться непосредственно на борту космического аппарата. Надёжность системы электропитания обеспечивается как высокой надёжностью всех элементов, входящих в состав СЭП, так и их резервированием или дублированием.

Невесомость, возникающая в процессе движения КА вокруг Земли, оказывает существенное влияние на жидкости и газы, заставляя использовать источники, не содержащие жидкости в свободном состоянии. Это обеспечивает также работоспособность аппаратуры при изменении положения в пространстве при наземной подготовке КА.

Как правило, системы электроснабжения КА являются системами постоянного тока. Это определено тем, что большинство первичных и вторичных источников, которые могут использоваться в космическом пространстве, являются источниками постоянного тока. В настоящее время для электропитания отдельных приборов КА, которые требуют однофазного или многофазного переменного тока, применяются специальные электронные преобразователи.

Первичный источник (рис. 1) преобразует какую-либо энергию (химическую, световую и т.д.) в электрическую и должен обеспечить работу потребителей во время полёта. При необходимости согласования характеристик первичного источника питания с сетью используют преобразователи, обеспечивающие стабильность напряжения в сети при изменении напряжения на источнике.

Потребление электрической энергии в процессе штатной работы космического аппарата неравномерно. Для парирования пиков нагрузки и спадов мощности первичного источника на практике используют вторичные (буферные) источники.

Буферный источник характеризуется тем, что суммарная производимая им энергия равна нулю. Он заряжается во время малой нагрузки от сети и отдаёт энергию в сеть во время пиковой нагрузки. Обычно в качестве буферного источника используют аккумуляторные батареи (АБ), а также конденсаторы. При необходимости согласования характеристик АБ с первичным источником и с сетью также используют преобразователи (рис. 1).

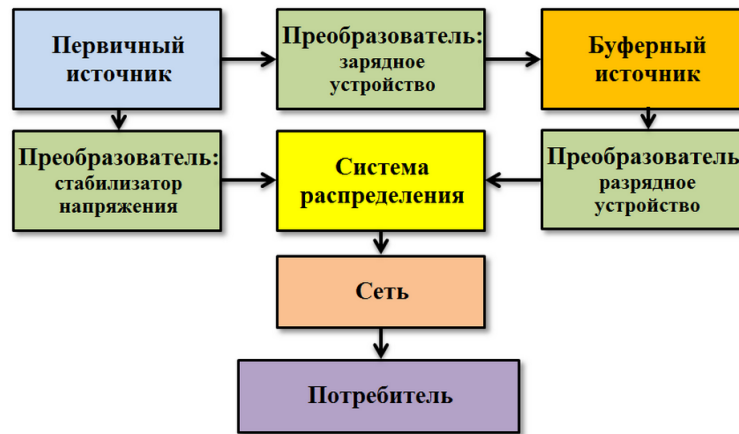


Рис. 1. Типовая структура системы электроснабжения КА

В первом случае это зарядное устройство, во втором –разрядное устройство со стабилизацией выходного напряжения в сети при изменении напряжения аккумулятора.

Система распределения подключает потребителя к соответствующему источнику, обеспечивает резервирование и отключение автоматически или по разовым командам, выдаваемым с наземного комплекса управления, если потребитель неисправен.

Доставка электроэнергии потребителю происходит через электрическую сеть, которая должна быть минимальна по массе, но в то же время иметь малые потери электроэнергии и обеспечивать надёжное соединение потребителя и источника. Так как на КА используется низковольтная аппаратура, то бортовая кабельная сеть по причине протекания в ней относительно больших токов имеет значительную массу.

СЭП КА по времени их разработки и внедрения можно условно разделить на несколько поколений, имеющих существенные различия основных характеристик.

#### **Системы электропитания первого поколения**

В 50-60-е годы прошлого столетия проводилась разработка КА на малый срок эксплуатации (до 15 суток). В системах электропитания таких КА в качестве первичного источника энергии применялись химические источники тока (ХИТ), как правило, на основе серебряно-цинковых (СЦ) аккумуляторов [2].

СЦ-аккумуляторы обладают замечательным свойством: у них очень малое (порядка 0,05 Ом) внутреннее сопротивление и, как следствие, стабильная (пологая) вольтамперная характеристика (ВАХ) в широком диапазоне токовых нагрузок. Это свойство позволило использовать СЦ-аккумуляторы наряду с основной функцией в качестве стабилизаторов выходного напряжения СЭП.

Как результат, СЭП первого поколения отличается простотой и высокой надёжностью. Она, как правило, состоит из блока ХИТ и коммутационной аппаратуры для подключения потребителей. Срок активного существования КА определяется суммарной начальной ёмкостью блока ХИТ. Для обеспечения надёжности СЭП в её составе применяются резервные батареи, которые подключаются вместо основных при их глубоком разряде по сигналу датчика минимального напряжения.

#### **Системы электропитания второго поколения**

В конце 1960-х годов появилась необходимость создания КА со сроками работы 30 суток и более. На таких КА применять в составе СЭП в качестве первичного источника тока блоки ХИТ было нецелесообразно, так как в этом случае пришлось бы резко увеличивать количество блоков ХИТ для обеспечения питания БА в течение относительно длительного срока эксплуатации, а значит, и вес СЭП.



Для обеспечения электрической энергией систем КА при длительных сроках эксплуатации в составе СЭП в качестве первичного источника энергии применяются батареи солнечные (БС).

Преобразование энергии Солнца в электрическую энергию осуществляется с помощью полупроводниковых преобразователей. В качестве генерирующих фотопреобразователей (ФП) в составе солнечных батарей применялись кремниевые ФП.

Батареи солнечные КА представляют собой сложные электромеханические устройства, обеспечивающие электрическое соединение ФП, их размещение на единой несущей основе, прочность и устойчивость всей конструкции, возможность раскрытия и ориентации в условиях космоса.

На теневых участках орбиты и при недостатке мощности БС на световых участках орбиты в составе СЭП используются вторичные источники энергии. Заряд вторичных источников энергии осуществляется от БС на освещённых участках орбиты. В составе данных СЭП используется простая контрольно-регулирующая аппаратура, отключающая заряд аккумуляторных батарей от БС по напряжению.

### **Системы электропитания третьего поколения**

Система электропитания современных космических аппаратов значительно отличается от систем электропитания первого и второго поколений, разработанных и успешно эксплуатируемых с начала 1960-х годов. Существенное влияние на изменение облика СЭП оказало требование по увеличению срока активного существования вновь разрабатываемых КА до трёх и более лет.

Действительно, для СЭП со сроком активного существования более одного года в качестве буферных аккумуляторных батарей не могут быть использованы СЦ-аккумуляторные батареи из-за их малого циклического ресурса работы. Поэтому в СЭП КА с длительными сроками эксплуатации применяют другие типы аккумуляторных батарей на базе никель-кадмиевых герметичных аккумуляторов или никель-водородных аккумуляторов. Напряжение данных типов аккумуляторных батарей изменяется в широких пределах в процессе их заряда и разряда. Батареи требуют индивидуальных средств контроля и управления зарядом и разрядом, имеют значительное тепловыделение и саморазряд.

Большинство специалистов по СЭП отдали предпочтение никель-водородным аккумуляторным батареям. Основными преимуществами НВАБ являются герметичность, простота и надёжность в эксплуатации, высокий ресурс и срок службы при относительно высоких удельных характеристиках. К числу недостатков следует отнести относительно высокий саморазряд - до 5 % в сутки.

В процессе длительной эксплуатации в условиях космического пространства также изменяются и параметры фотопреобразователей БС в результате их постепенной деградации от воздействия факторов космического пространства. Это также предъявляет совершенно иные требования в части выбора как проектных параметров БС, так и логики управления режимом её работы в составе СЭП КА.

Коэффициент полезного действия (КПД) существующих систем электропитания весьма низкий, прежде всего, из-за низкого КПД фотопреобразователей БС. Коэффициент полезного действия монокристаллических кремниевых ФП не превышает 15,5 % ( $211 \text{ Вт/м}^2$ ) [3]. Относительно малое значение удельной мощности ФП объясняется тем, что кремниевые ФП эффективно преобразуют солнечную энергию в электрическую только в узком диапазоне спектра солнечного света.

Для повышения эффективности использования энергии солнечных батарей широко применяются приводы солнечных батарей, которые позволяют изменять положение нормали к плоскости ФЭП на Солнце.

Системы электропитания третьего поколения КА обязательно содержат в своём составе комплекс автоматики и стабилизации напряжения (КАС) или иной аналогичный электронный прибор [4].

Поскольку напряжение и ток БС постоянно изменяются в зависимости от освещённости панелей БС, режимов работы АБ и потребляемой БА мощности, то стабилизация напряжения на выходных шинах СЭП - сложная техническая задача.

На рис. 2 представлена фотография комплекса автоматики и стабилизации напряжения КА «Ресурс-ДК1» (один стабилизатор напряжения и автоматики и пять зарядно-разрядных устройств).



*Рис. 2. Многоблочный комплекс автоматики и стабилизации напряжения*

Широкое применение в КАС нашли стабилизаторы напряжения, а также зарядные и разрядные устройства, работающие в режиме широтноимпульсной модуляции (ШИМ) силовых ключевых транзисторов. Для обеспечения отбора максимальной мощности БС используется экстремальный регулятор мощности, который автоматически изменяет напряжение в рабочей точке ВАХ и обеспечивает максимальный отбор мощности от БС.

Основными принципами работы и управления СЭП третьего поколения являются:

- автономное функционирование при штатной работе по внутренней логике;
- стабилизация выходного напряжения СЭП;
- обеспечение защиты АБ от перезаряда и переразряда;
- обеспечение включения, отключения, проверок при проведении испытаний и подготовке КА к штатной работе.

При этом организация согласованной работы БС и АБ, автономное функционирование СЭП, стабилизация напряжения на выходных соединителях СЭП, информационный обмен с бортовой вычислительной системой осуществляется КАС.

#### **Системы электропитания четвертого поколения. Перспективы развития СЭП**

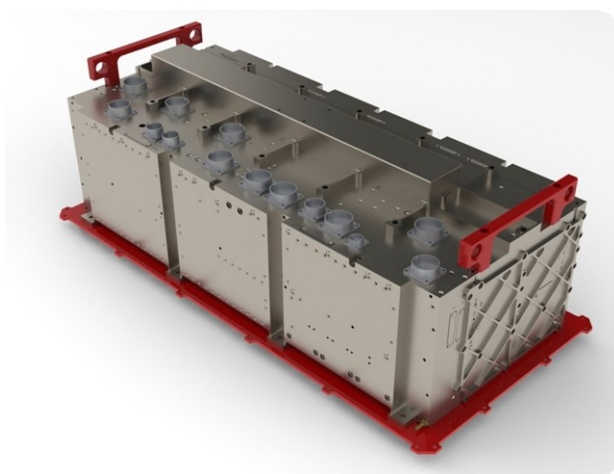
СЭП КА продолжают непрерывно совершенствоваться и, при сохранении структуры построения СЭП относительно третьего поколения, в настоящее время происходит внедрение фактически следующего поколения систем, характеризующихся переходом к внегермоконтейнерному исполнению КА, повышением напряжения питания полезной нагрузки, применением новых типов солнечных и аккумуляторных батарей, а, соответственно, и комплексов автоматики и стабилизации напряжения.

Отказ от гермоконтейнера позволяет снизить массу КА, но накладывает требование работоспособности всей бортовой аппаратуры в условиях открытого космоса, ужесточает требования по механическим воздействиям, электромагнитной совместимости и стойкости аппаратуры к факторам космического пространства, а также кардинально меняет условия отведения тепла, т.к. исчезает конвективный теплоотвод.

Кремниевые ФП постепенно заменяются многопереходными (гетероструктурными) арсенид-галлиевыми ФП. Коэффициент полезного действия указанных ФП составляет 25-30%. Повышение удельных характеристик трёхкаскадных арсенид-галлиевых ФП достигается путём использования в ФП трёх типов материалов (германий-мышьяк-арсенид). Конструктивно ФП состоит из трёх тончайших (5-6 мкм) слоёв, нанесённых на германиевую подложку с использованием нанотехнологии и прозрачных для определённого диапазона изменения длины волны световой энергии. Каждый слой преобразует солнечную энергию в электрическую в определённом для него диапазоне спектра света. Использование гетероструктуры в ФП позволяет в два раза уменьшить требуемую площадь БС. Единственным недостатком БС на базе арсенид-галлиевых ФП является их высокая себестоимость (в три раза дороже по сравнению с кремниевыми ФП той же площади). Однако, учитывая уменьшение требуемой площади БС в два раза в случае использования арсенид-галлиевых ФП, их применение на КА экономически оправдано.

Никель-водородные аккумуляторные батареи вытесняются литий-ионными аккумуляторными батареями (ЛИАБ). Последние привлекательны тем, что имеют высокие удельные характеристики, а, следовательно, малые габариты и массу. Энергетическая плотность ЛИАБ достигает практически до 400 Вт·ч/л или 180-200 Вт·ч/кг. ЛИАБ имеют достаточно пологие вольтамперные характеристики как при заряде, так и при разряде. Недостатком ЛИАБ является то, что они очень чувствительны к перезарядам и переразрядам, из-за чего они должны иметь специальную автоматику для контроля и ограничения уровней заряда и разряда [5].

В связи с перечисленными выше изменениями, комплексы автоматики и стабилизации напряжения также претерпевают кардинальные изменения. Внедряются экстремальное регулирование мощности Ga-As БС, управление процессами заряда, разряда и балансировки ЛИАБ. Активно ведутся работы по применению в КАС новых схемотехнических решений высокочастотного преобразования электрической энергии резонансными и квазирезонансными конверторами с синхронным выпрямлением [6]. Так, например, трансформаторная гальваническая развязка между солнечными и аккумуляторными батареями и нагрузкой на базе силовых инверторных модулей с бестоковой коммутацией позволяет исключить силовые коммутаторы в цепях БС и АБ, а уровни их напряжений согласовывать обмотками трансформаторов. Этим обеспечивается высокая степень унификации СЭП, возможность её адаптации к различным модификациям КА, повышается качество выходного напряжения и уменьшается масса КАС.



*Рис. 3. Моноблочный комплекс автоматики и стабилизации напряжения*

Среди конструктивных усовершенствований можно отметить переход сначала на моноблочную конструкцию, что позволило существенно снизить массу КАС (рис. 3), а затем и внедрение принципов модульного построения КАС (рис. 4) с отказом от общего корпуса для максимально простой трансформации КАС в широком диапазоне входных мощностей под нужды конкретного заказчика.

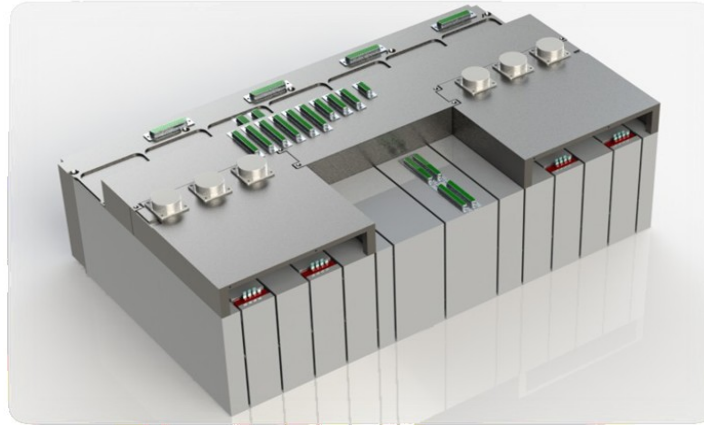


Рис. 4. Модульно-трансформируемое построение комплекса автоматики и стабилизации напряжения

Сравнительные массогабаритные и мощностные характеристики отдельных КАС и наиболее близкого мощному современному КАС зарубежного аналога – PCU (Power Condition Unit) производства Thales Alenia Space приведены в таблице.

Таблица. Сравнительные характеристики КАС

	Мощность, кВт						Масса, кг	P <sub>сн</sub> /М, Вт/кг	P <sub>Σ</sub> /М, Вт/кг	Габаритные размеры по телу, д-ш-в
	заряд	разряд	СН27	СН100	Регулятор БС	Полная установленная (без регулятора БС)				
<b>КАС Глонасс (2-е поколение)</b>	0,9	1,6	1,6	-	2,5	4,1	<b>52,5</b>	<b>30</b>	<b>78</b>	4 блока по 560x560x120
<b>КАС Глонасс (3-е поколение)</b>	1,0	2,1	2,1	-	-	5,2	<b>22</b>	<b>95</b>	<b>237</b>	600x280x200
<b>КАС Глонасс (4-е поколение)</b>	2,5	4,1	1,3	4,2	11,6	12,1	<b>33</b>	<b>167</b>	<b>367</b>	740x300x225
<b>КАС модульно-трансформируемый</b>	5	11	-	11	11,6	27,0	<b>35</b>	<b>314</b>	<b>771</b>	680x400x230
<b>PCU Yamal 401</b>	1,91	12,5	-	13		26,9	<b>51</b>	<b>245</b>	<b>527</b>	672x620x200

Конструкция отдельных модулей выполняется таким образом, чтобы на этапе производства максимально полно использовать технологию поверхностного монтажа элементов, а затем, на этапах проверки и настройки модулей, применять установки с летающими пробниками. Происходит разработка и внедрение сборок силовых SMD-компонентов на керамических подложках с медными шинами для обеспечения минимальных длин связей и эффективного теплоотвода. Также внедряются силовые печатные платы непосредственно на металлических основаниях. Кроме того, в НПЦ «Полнос» ведутся работы по

нанесению медной фольги на магниевые основания, что обеспечит дополнительное снижение массы конструктива прибора.

Помимо указанных направлений совершенствования СЭП, необходимо особо остановиться на огромном значении вычислительной техники, позволившей колоссально расширить и углубить научные исследования, что привело к развитию вычислительных методов, появлению методологии математического моделирования как новой, более высокой ступени теоретического изучения явлений. Сущность этой методологии состоит в замене исходного объекта его «образом» - математической моделью – и в дальнейшем изучении модели с помощью реализуемых на компьютере вычислительно-логических алгоритмов. Этот «третий метод» познания, конструирования, проектирования сочетает в себе многие достоинства, как теории, так и эксперимента [7]. Работа не с самим объектом (явлением, процессом), а с его моделью даёт возможность безболезненно, относительно быстро и без существенных затрат исследовать его свойства и поведение в любых мыслимых ситуациях (преимущества теории). В то же самое время вычислительные (компьютерные, симуляционные, имитационные) эксперименты с моделями объектов позволяют подробно и глубоко изучать объекты в достаточной полноте, недоступной чисто теоретическим подходам (преимущества эксперимента).

Таким образом, грамотный выбор систем проектирования и моделирования изделия позволяет проводить оптимизацию его конструкции уже на этапе предварительной компоновки при помощи моделирования механических, тепловых и прочих воздействий [8, 9]. Кроме того, возможно моделирование работы электрических схем, вплоть до прохождения сигналов по проводникам печатных плат. Другими словами, развитие техники позволяет проводить моделирование практически всех мыслимых ситуаций, что, несомненно, сказывается на конечном результате и приводит к разработке новых, более совершенных, приборов и конструкций КА.

### **Заключение**

Высочайший уровень предъявляемых требований к надежности, сроку эксплуатации, массогабаритным и прочим характеристикам СЭП, заставляет участников данного высокоспециализированного рынка, для удержания и укрепления своих позиций, вести новые перспективные разработки и предлагать наиболее оптимальные оригинальные решения, как схемотехнические, так и конструктивные, и технологические для каждого из компонентов СЭП. Данные решения необходимо подкреплять результатами проведённых анализов и испытаний. Несомненно, что для принятия таких решений необходимо максимально полное использование средств современных САПР.

С учетом сказанного, специалистами НПЦ «Полюс» непрерывно ведется разработка новых типов КАС не уступающих лучшим мировым образцам по массогабаритным характеристикам и предназначенных для работы в широком диапазоне выходных мощностей.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кудряшов В.Н. Становление и развитие бортовых систем электропитания информационных искусственных спутников Земли // Автономная энергетика: технический прогресс и экономика. –2009. – №26. –С. 18.
2. Кирилин А.Н. Космическое аппаратостроение: научно-технические исследования и практические разработки ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» / А.Н. Кирилин, Г.П. Аншаков, Р.Н. Ахметов, А.Д. Сторож. – Самара: Издательский дом «АГНИ», 2011. –С. 225-263.

3. Солнечные батареи. Характеристики солнечных батарей. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.saturn.kuban.ru/solar\\_battery\\_spec.html](http://www.saturn.kuban.ru/solar_battery_spec.html)
4. Солдатенко В.Г. Аппаратура регулирования и контроля системы электропитания космического аппарата «Канопус-Вулкан» / В.Г. Солдатенко, В.О. Эльман, В.В. Быков, Д.В. Сергеев // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. тр. –Новосибирск: Наука, 2007. –С. 17-23.
5. Качин Л.А. Блок электроники для литий-ионной аккумуляторной батареи космического аппарата «Глонасс» / Л.А. Качин, В.В. Быков, В.О. Нагорный, П.О. Нагорный, М.Ю. Фалько // Электронные и электромеханические системы и устройства: Тез. докл. науч. техн. конф. молодых специалистов (10-11 апреля 2008 г.) ОАО «НПЦ «Полус». –Томск, 2008. –С. 3-4.
6. Кудряшов В.С. Система электропитания космического аппарата / В.С. Кудряшов, В.О. Эльман, М.В. Нестеришин, К.Г. Гордеев и др. Патент РФ №2396666. Заявитель ОАО «ИСС». Дата подачи заявки на изобретение 29 июня 2009 года.
7. Алексеев В.П., Карабан В.М. Математическое моделирование процессов термостойчивости в конструкциях РЭС. –Томск: ТУСУР, 2007. –С. 6-8.
8. Быков В.В., Борилов В.Н. Диагностика прочности конструкции приборов космического назначения на ранних стадиях проектирования // Контроль. Диагностика. – 2013 – №. 13. – С. 261-264.
9. Быков В.В. Обеспечение тепловых режимов силовой аппаратуры космических аппаратов // Космическое приборостроение: сборник научных трудов II Всероссийского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Космическое приборостроение» /Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С. 41-43.

**УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА (ЧАСТЬ 1) ДЛЯ СТУДЕНТОВ  
НАПРАВЛЕНИЯ 12.03.01 - ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

Гормаков А.Н.<sup>1</sup>, Жарких Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup> Областное государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
«Томский экономико-промышленный колледж»  
Россия, г. Томск, ул. Пушкина, 63, стр. 28, 634006  
E-mail: gormakov@tpu.ru

**TEACHING PRACTICE (PART 1) FOR STUDENTS  
DIRECTIONS 12-03-01 - INSTRUMENTMAKING**

Gormakov A.N.<sup>1</sup>, Zharkih E.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: gormakov@tpu.ru

<sup>2</sup> Regional state budgetary professional educational institution "Tomsk Economics and Industrial College"  
Russia, Tomsk, Pushkin str., 63, buil. 28, 634050

*Рассматривается роль и место учебной практики (часть 1) для студентов направления 12.03.01 – Приборостроение. Профессиональная подготовка выпускников средних школ и гимназий в разных регионах России, ближнего и дальнего зарубежья, поступивших на обучение в ТПУ, очень разнообразна. Отмечается, что профессиональными навыками и умениями в области формообразования деталей приборов и машин обладает не более десяти процентов студентов первого курса. Такое положение вещей в техническом университете не способствует формированию компетенций, необходимых будущим разработчикам новых приборов. Для устранения этого недостатка в учебные планы первого года обучения введена учебная практика (ч. 1). На практику отведено 4 недели в июне-июле. Практика проводится в производственных мастерских Томского экономико-промышленного колледжа под руководством*

заслуженных мастеров производственного обучения. В результате практики студенты приобретают практический опыт выполнения слесарных, токарных и фрезерных работ. На базе ТПУ студенты знакомятся с технологиями быстрого прототипирования с использованием принтеров Picaso 3D Designer.

*The role and place of practical training (part 1) for students of direction 12.03.01 – Instrument Making is observed. Vocational training of secondary and grammar schools graduates in different regions of Russia and foreign countries, entered in TPU is very diverse. It is noted that the skills and abilities in the field of forming parts of devices and machines have no more than ten per cent of first-year students. This state of affairs at the Technical University is not conducive to the formation of competencies required future developers of new devices. Training Practice (Part 1) was introduced to remedy this shortcoming in the curricula of the first year. It is given to 4 weeks for practice in June-July. The practice is carried out in the workshops of Tomsk Economics and Industrial College under the guidance of distinguished trainers. As a result of the practice students gain hands-on experience in metalworking, turning and milling operations. On the TPU basis students get acquainted with the technology of rapid prototyping with the use Picaso 3D Designer printers.*

Учебная практика (часть 1) на первом курсе введена в учебные планы направления 12.03.01 – Приборостроение Томского политехнического университета с 2014 г. приема.

Многие годы в период обучения в бакалавриате студенты проходили две практики: учебную на втором курсе и производственную, на третьем курсе.

В процессе перехода направления 12.03.01 - Приборостроение ТПУ на подготовку в рамках всемирной инициативы CDIO на первом и втором курсах с 2013 года приема был введен творческий проект. Выполнение творческого проекта имеет целью развить у студентов интерес к творческой, проектной деятельности. Студенты объединяются в группы от трех до шести человек. В начале семестра, на первых встречах группа принимает решение об объекте проектирования. Причем, перед студентами стоит задача в течение 3-4 месяцев семестра довести свою идею до практической реализации – действующего макета устройства.

Практика трех прошедших лет показала, что слабым звеном большинства современных студентов является отсутствие навыков выполнения простейших обработочных операций: слесарной обработки, токарной и фрезерной обработки и др. Профессиональная подготовка в школах России, и стран СНГ имеет разную направленность. Профессиональные навыки по методам формообразования деталей приборов имеет небольшой процент выпускников школ. По этой причине при создании действующих макетов у студентов возникают проблемы, в решении которых приходится проводить дополнительные практические занятия по методам и приемам обработки материалов.

Введение учебной практики после первого курса по методам формообразования деталей является актуальной при подготовке будущих разработчиков новых поколений приборов.

В 2015 г. для студентов направления 12.03.01 – Приборостроение ТПУ была организована учебная практика (часть 1) на базе производственных мастерских Томского экономико-промышленного колледжа. ТЭПК более 50 лет осуществляет подготовку квалифицированных рабочих по профессиям слесаря, токаря фрезеровщика, контролера, слесаря КИПиА, радиомонтажника. Учебная практика направлена на приобретение навыков слесарных работ и работ на металлообрабатывающем оборудовании под руководством мастеров производственного обучения.

Студенты были разделены на три группы. Каждая группа по очереди прошла подготовку по слесарной, токарной и фрезерной обработке.

В результате учебной практики студенты **получили практический опыт:**

- ✓ выполнения слесарных работ;
- ✓ работы на фрезерных станках;
- ✓ работы на токарных станках;

**умеют:**

- ✓ выполнять слесарную обработку деталей по 12-14 квалитетам;
- ✓ использовать слесарный инструмент и приспособления, обнаруживать и устранять дефекты;
- ✓ выполнять размерную слесарную обработку деталей по 11-12 квалитетам;
- ✓ сверлить отверстия;
- ✓ нарезать наружную резьбу;
- ✓ выполнять пригоночные операции (шабрение и притирку);
- ✓ использовать необходимый инструмент и приспособления для выполнения
- ✓ пригоночных операций;
- ✓ читать чертежи;
- ✓ обеспечивать безопасную работу;
- ✓ обрабатывать простые детали на универсальных фрезерных станках с применением режущего инструмента и универсальных приспособлений;
- ✓ выполнять установку деталей в тисках различной конструкции;
- ✓ фрезеровать детали средней сложности и инструмента по 11-14 квалитетам на одноступенчатых горизонтальных фрезерных станках с применением режущего инструмента и универсальных приспособлений;
- ✓ обрабатывать простые детали на универсальных токарных станках с применением режущего инструмента и универсальных приспособлений;
- ✓ нарезать метрическую резьбу;
- ✓ контролировать параметры обработанных деталей;
- ✓ выполнять уборку стружки;

**знают:**

- ✓ технику безопасности работы на станках;
- ✓ виды режущего инструмента, его назначение и условия применения;
- ✓ устройство и правила подналадки горизонтальных фрезерных станков и токарных станков;
- ✓ правила и технологию контроля качества обработанных деталей.

Распределение учебных часов по разделам:

- ✓ Раздел 1. Слесарные работы – 40 часов;
- ✓ Раздел 2. Фрезерные работы – 40 часов;
- ✓ Раздел 3. Токарные работы – 40 часов.

**Тематический план учебной практики**

**Слесарные работы:**

✓ Требования безопасности к производственному оборудованию и производственному процессу. Основные опасные и вредные производственные факторы, возникающие при работе в мастерских. Причины травматизма. Виды травм. Пожарная безопасность. Причины пожаров, меры предупреждения. Правила поведения при пожаре.





✓ **Разметка.** Подготовка деталей и заготовок к разметке. Разметка осевых линий, кернение. Разметка контуров деталей с отсчетом размеров от кромки заготовки и от осевых линий. Разметка контуров деталей по шаблонам. Заточка и заправка разметочного инструмента.

✓ **Рубка металла.** Рубка листовой стали по уровню губок тисков, по разметочным рискам. Вырубание на плите заготовок различных очертаний на листовой стали. Заточка инструмента.

✓ **Опиливание металла.** Опиливание широких и узких поверхностей с проверкой плоскостности по поверочной линейке. Опиливание открытых и закрытых плоских поверхностей, сопряжение под углом 90 градусов. Проверка углов угольником, шаблоном, простым угломером.

✓ **Шабрение и притирка.** Подготовка плоских поверхностей под шабрение, шабрение плоских поверхностей. Проверка размеров деталей, подлежащих притирке. Ручная притирка широких и узких плоскостей.

✓ **Сверление, зенкование, зенкерование и развертывание, нарезание резьбы.** Управление сверлильным станком и его наладка. Установка и крепление заготовок. Подбор сверл. Сверление сквозных отверстий по разметке. Подбор зенковок и зенкеров. Зенкерование отверстий. Подбор разверток. Развертывание сквозных отверстий вручную. Контроль отверстий.

✓ **Нарезание резьбы.** Ознакомление с резьбонарезными инструментами (плашками, метчиками). Нарезание наружной резьбы вручную.

#### **Фрезерные работы**

✓ Инструктаж по охране труда и нормы безопасности в мастерских

✓ **Упражнения в управлении фрезерным станком.** Ознакомление с устройством фрезерного станка. Устройство фрезерных станков. Настройка станков на режимы резания. Установка машинных тисков по угольнику и индикатору на столе станка, установка режущего инструмента. Выбор параллельки, крепление заготовки, снятие пробной стружки.

✓ **Фрезерования плоских поверхностей**

Фрезерование плоских поверхностей концевыми фрезами, назначение припуска на обработку, контроль первой и второй стороны детали. Фрезерование плоских поверхностей концевыми фрезами, виды брака при фрезеровании плоских поверхностей, контроль третьей и четвертой стороны. Фрезерование плоских поверхностей торцовыми фрезами на вертикально-фрезерном станке.

✓ **Фрезерования уступов, пазов, канавок и отрезание металла.** Фрезерование сквозных пазов концевыми фрезами с цилиндрическим хвостовиком. Настройка станка на фрезерование паза

- ✓ **Фрезерование закрытых пазов концевыми фрезами** с цилиндрическим хвостовиком.
- ✓ **Фрезерование отрезными фрезами**, отрезание. Настройка станка на отрезание по упору. Виды брака и меры его предупреждения.
- ✓ **Фрезерование канавок отрезными фрезами**, контроль канавок.



#### Токарные работы:

- ✓ Инструктаж по охране труда и нормы безопасности в мастерских.
- ✓ **Упражнения в управлении токарным станком.** Ознакомление с устройством токарного станка. Пуск и остановка. Организация рабочего места. Установка патрона, кулачков. Установка резцов в резцедержатель. Установка заготовок в патроне. Настройка станка на заданные режимы резания. Упражнения в использовании мерительного инструмента. Снятие пробной стружки.
- ✓ **Обработка наружных цилиндрических и торцовых поверхностей.** Классификация токарных резцов. Обработка гладких цилиндрических и торцовых поверхностей. Установка заготовки в патроне. Обработка деталей с уступами. Обработка детали на заданную длину, обтачивание с применением механической подачи. Подрезание торцов и уступов. Отрезка металла. Обработка ступенчатых валов, предварительно центрованных заготовок. Контроль размеров деталей штангенциркулем. Уборка стружки.



Обработка торцовых поверхностей. Вытачивание наружных канавок. Обработка заготовок в центрах. Центрование отверстий. Подрезка торцов и высоких уступов. Контроль обработанных поверхностей.

- ✓ **Обработка цилиндрических отверстий.** Методы обработки отверстий. Режимы резания при обработке отверстий. Сверление сквозных и глухих отверстий. Рассверливание сквозных и глухих отверстий. Выполнение центровых отверстий на токарных станках. Выбор инструмента. Растачивание сквозных отверстий. Растачивание глухих отверстий с обработкой уступов и внутренних торцов. Контроль отверстий. Вытачивание внутренних канавок. Вытачивание внутренних фасок, притупление кромок. Контроль. Нарезание резьбы плашками и метчиками. Основные элементы резьбы. Таблицы для выполнения отверстий под резьбу. Подготовка отверстий для нарезания резьбы. Нарезание резьбы

плашками. Контроль резьб. Нарезание резьб метчиками. Область применения и инструменты. Виды, причины брака при нарезании резьб плашками и метчиками.



По каждому виду обработки учебные мастера оценили результаты практической работы. Студентам были вручены сертификаты о приобретении студентом навыков и практического опыта выполнения слесарных работ и работ на металлорежущем оборудовании.

Студенты групп 1Б41 и 1Б42, прошедшие данную учебную практику показали в осеннем семестре 2015/16 учебного года свободу владения методами изготовления макетов своих творческих проектов. Следует отметить, что студенты успешно применили при реализации своего проекта аддитивные технологии, изготовив большинство деталей на 3-D принтерах из ABS-пластика. Этот метод в отличие от методов обработки путем снятия стружки позволяет быстро получить прототип сконструированной детали практически без отходов, что очень важно для реализации проектов в короткие сроки.

### **ЗАВИСИМОСТЬ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКОЙ ОТ ЧИСЛА ПАР ПОЛЮСОВ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ**

Долгих А.Г., Самодуров И.Н.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ivanovatonya@tpu.ru

### **TAPE WINDING TORQUE MOTOR POWER CONSUMPTION DEPENDENCE FROM THE MAGNETIC SYSTEM POLE'S PAIRS**

Dolgh A.G., Samodurov I.N.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Martemyanov V.M.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: ivanovatonya@tpu.ru

*В статье рассмотрена связь потребляемой мощности и числа пар полюсов магнитной системы моментного двигателя с ленточной намоткой. Ленточная намотка представляет собой спирально намотанную электропроводящую ленту на немагнитную гильзу и является заменой традиционной обмотки. Применение ленточной намотки позволяет повысить удельные характеристики двигателя. Потребляемая моментным двигателем из сети мощность зависит от сопротивления пластин, из которых состоит ленточная намотка. Представлена зависимость величин сопротивления отдельных пластин от числа пар полюсов магнитной системы двигателя. Показано, что потребляемая мощность уменьшается с увеличением числа пар полюсов.*

*The paper presents the interaction between the power consumption and number of the magnetic system pole's pairs in the tape winding torque motor. The tape winding is a spirally wound electroconductive tape on the non-magnetic tubular base. The tape winding changes the conventional winding. The application of the tape winding allows increasing the specific characteristics of the motor. The power consumption of the torque motor depends on the plates resistance which consist the tape winding. The dependence of the separate plates resistance*

quantities from the motor magnetic system pole's pairs is described. It is shown that power consumption decreases with the increasing of the pole's pairs number.

Мощность, потребляемая катушкой моментного двигателя [1], определяется следующим образом

$$P = \frac{U^2}{R_{\text{нам}}} = \frac{U^2}{2 \cdot p \cdot N \cdot R} = \frac{U^2}{2 \cdot N \cdot (p \cdot R)}, \quad (1)$$

где:  $p$  – число пар полюсов магнитной системы;

$N$  – число слоев катушки;

$R$  – сопротивление единичной пластины.

В данном случае под величиной  $R$  предполагается сопротивление пластины, лежащей в среднем витке ленточной катушки.

Цель настоящей работы заключается в определении закономерности изменения потребляемой мощности от числа пар полюсов магнитной системы. Предполагаем, что геометрические размеры двигателя при изменении числа пар полюсов не меняются. Предварительно рассмотрим наиболее простую задачу, когда фактически распределенный ток, протекающий по пластинам катушки, представим в виде сосредоточенного тока, который протекает строго в диагональных направлениях (рис.1).

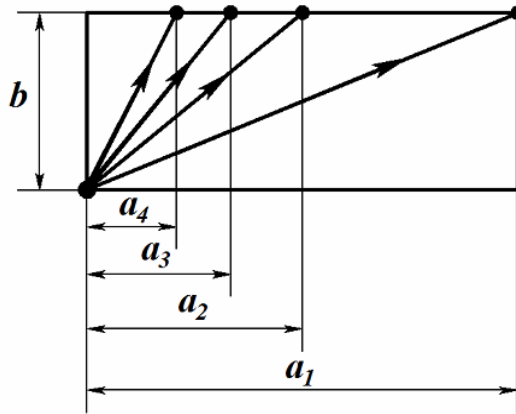


Рис. 1. Протекание сосредоточенного тока по пластинам разной длины

При таких условиях сопротивление току будет пропорционально длине диагонали пластины:

$$R_i = k \cdot \sqrt{a_i^2 + b^2} \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;

$a_i$  – длина пластины при  $i = p$ ;

$b$  – ширина пластины.

Отметим, что ширина пластины  $b$  – ширина ленты, из которой выполнена катушка, имеет неизменную величину. Длина пластины в случае различного числа пар полюсов определится следующим образом

$$a_i = \frac{a_1}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_{cp}}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot r_{cp}}{p}, \quad (3)$$

где:  $a_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_{cp}}{2} = \pi \cdot r_{cp}$  – длина пластины, лежащей в среднем витке катушки при условии того, что

магнитная система имеет одну пару полюсов  $p = 1$ ;

$r_{cp}$  – радиус центральной линии среднего витка катушки.

Подставим (3) в выражение (2)

$$R_i = k \cdot \sqrt{\left(\frac{\pi \cdot r_{cp}}{p}\right)^2 + b^2} = k \cdot \pi \cdot r_{cp} \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{p^2} + \left(\frac{b}{\pi \cdot r_{cp}}\right)^2\right]} = R_1 \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{p^2} + \left(\frac{b}{\pi \cdot r_{cp}}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{b}{\pi \cdot r_{cp}}\right)^2}} \quad (4)$$

В данном случае  $R_1$  – сопротивление пластины при  $p = 1$ .

Зададим некоторую исходную величину, связанную с геометрией двигателя  $\frac{b}{\pi \cdot r_{cp}} = 0,4$ . При этом

условии получим соотношения величин сопротивлений для различного числа пар полюсов

$$\begin{aligned} p = 2 & \quad R_2 = 0,57 \cdot R_1; \\ p = 3 & \quad R_3 = 0,465 \cdot R_1; \\ p = 4 & \quad R_4 = 0,422 \cdot R_1. \end{aligned}$$

Указанные выше выкладки относятся к условию, что ток протекает только в области, совпадающей с диагональю пластины. Однако в реальной ситуации по пластине протекает распределенный ток, часть которого течет по диагонали, а остальные – по линиям, которые можно представить как проводники при параллельном включении. Сопротивление протеканию тока в этом случае можно определить численными методами, в частности использованием программного продукта COMSOL Multiphysics. В качестве примера для расчета была задана медная пластина толщиной  $1 \cdot 10^{-4}$  м, шириной  $5 \cdot 10^{-2}$  м, начальной длины 0,12 м.

К электродам в диагонально расположенных углах пластины прикладывалось напряжение 0,001 В; на торцевых поверхностях электродов определялся ток, вызванный приложенным напряжением. Увеличенная длина электродов, как показано на рис. 2, принята в связи с тем, что среди опций COMSOL версии 3.5 имеется возможность интегрирования только нормальной компоненты тока, что при малой длине электрода приводит к искажению результатов, так как токовые линии начинают искривляться перед входом в пластину. В дальнейшем, из полного сопротивления, определяемого по закону Ома, вычитаются сопротивления электродов, сложности в получении значений которых нет.

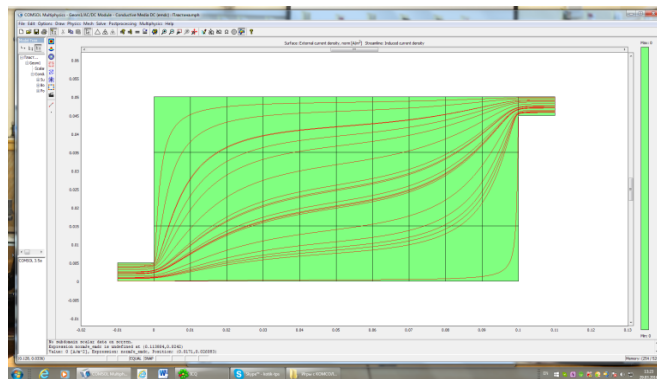


Рис. 2. Характер протекания распределенного тока по пластине

Результаты численного эксперимента показали следующее:

$$\begin{aligned} R_1 &= 8,26 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}; \\ R_2 &= 6,14 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}, \quad R_2 = 0,743 \cdot R_1; \\ R_3 &= 5,76 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}, \quad R_3 = 0,697 \cdot R_1; \\ R_4 &= 5,92 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}, \quad R_4 = 0,717 \cdot R_1; \\ R_6 &= 6,26 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}, \quad R_6 = 0,758 \cdot R_1. \end{aligned}$$

Сравнивая полученные результаты с аналогичными для случая, когда ток считался сосредоточенным в диагональном направлении, можно сделать вывод, что изменение (уменьшение) сопротивления пластины в реальной ситуации, когда ток распределен, происходит в меньшей степени.

Если обратиться к выражению (1), заметим, что величина потребляемой мощности обратно пропорциональна величине произведения ( $pR$ ). Так, если считать, что  $p=1$ , потребляемая двигателем мощность равна

$$P_1 = \frac{U^2}{2 \cdot N \cdot R_1},$$

то тогда при  $p = 2$

$$P_2 = \frac{U^2}{2 \cdot N \cdot 2 \cdot 0,743 \cdot R_1}.$$

Другими словами, уменьшение потребляемой мощности при  $p=2$  происходит в 1,486 раз. Аналогично, при  $p=3$  потребляемая мощность уменьшится в  $3 \cdot 0,697 = 2,091$  раз, при  $p=4$  в 2,868 раз и т.д.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что увеличение числа пар полюсов магнитной системы существенно снижает потребляемую двигателем мощность. Однако при этом необходимо учесть, что значительно уменьшается и рабочий угловой диапазон моментного двигателя, определяемый как  $\varphi_{\text{раб}} = \frac{\pi}{p} - \alpha$ , где  $\alpha$  – угловой размер полюса магнитной цепи. Указанный недостаток может быть исключен, если данный двигатель реализовать как вентильный.

Уменьшение потребляемой мощности происходит за счет увеличения полного сопротивления катушки, поэтому будет уменьшаться и ток, протекающий по последней. Это должно привести к изменению момента, развиваемого двигателем; при этом однако необходимо учитывать, что увеличивается число сил каждого полюса, создающих момент; изменяется характер протекания распределенного тока по пластине, приводящего к изменению поперечных компонент токовых линий [ 2, 3].

Полученные в работе результаты дают основу и предпосылки для определения параметров моментного двигателя, обеспечивающих оптимальные величины удельных характеристик последнего.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моментный двигатель [Текст]: пат. 2441310 Рос. Федерация: МПК Н02 К 26/00 Мартемьянов В.М., Долгих (Иванова) А.Г.; заявл. 20.08.2010; опубл. 27.01.2012, Бюл. №3. – 6 с.: ил.
2. Долгих (Иванова) А.Г., Мартемьянов В.М., Плотникова И.В. Влияние геометрии пластины на силовую характеристику двигателя с активным пакетным элементом // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. № 4. С. 22-26.
3. Долгих (Иванова) А.Г., Мартемьянов В.М., Стахеева О.Ю. Влияние размеров электрода ленточной катушки на характеристики моментного двигателя // Контроль. Диагностика. – 2014. № 13. – С. 26-28.

**ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ СО ШКОЛЬНИКАМИ**

Доржиева С.Б., Кухарев А.С., Стасевский В.И.  
Научный руководитель: Костюченко Т.Г., доцент, к.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: dsuranzan@mail.ru

**ORGANIZATION OF WORK WITH SCHOOL CHILDREN**

Dorzheeva S.B., Kukharev A.S., Stasevsky V.I.  
Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Kostyuchenko T.G.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: dsuranzan@mail.ru

*Статья является аналитическим обзором работы со школьниками с целью привлечения их к космической тематике. В работе расписана программа курса «3D моделирование элементов космической техники с применением средств автоматизированного проектирования», а также приведены результаты 2-хгодичной работы с учащимися.*

*The article is headlined "Organization of work with schoolchildren" is an analytical overview of the work with the pupils in order to attract them to the space theme. The aim of the article is to provide the reader program of course «3D modeling elements of space technology with the use of computer-aided design systems". Also the results are provided of biennial work with pupils.*

Для привлечения абитуриентов на направление «Приборостроение» на кафедре ТПС ИНК ТПУ организована работа со школьниками. Такая работа ведется по разным направлениям. Это участие в проектах, грантах, научных школах. Одним из таких проектов является Виртуальное конструкторское бюро (ВКБ) космического приборостроения для школьников, студентов и абитуриентов ТПУ. Направления деятельности ВКБ– сотрудничество со студентами других ВУЗов в области спутникостроения, приборостроения и других областях; проектирование и разработка малых космических аппаратов; создание и эксплуатация ЦУПа (центра управления полетами); работа со школьниками с целью привлечения их к космической тематике и другим направлениям деятельности кафедры точного приборостроения ИНК ТПУ. В планах запуск стратосата (малого космического аппарата, который будет выведен в стратосферу), а также собственного малого космического аппарата.

Работа со школьниками – одно из основных направлений деятельности ВКБ. За время работы ВКБ для школьников разработан курс «3D моделирование элементов космической техники с применением средств автоматизированного проектирования», который позволит получить первоначальные знания по конструированию и 3D-моделированию. Курс основан на использовании современной САД-системе T-FlexCAD (разработчик – компания Топ Системы, г. Москва). Курс включает в себя следующие разделы [1]:

- Состав конструкции элементов космической техники (детали, сборочные единицы);
- Интерфейс системы T-flex CAD;
- Основные компоненты 2D-черчения;
- Создание чертежа детали;
- Основные компоненты 3D-моделирования;
- Создание 3D-модели детали;
- Создание 3D-модели сложной детали;
- Создание 3D-сборок.

Работа с курсом для школьников состоит из нескольких частей:

1. Знакомство с курсом.

Здесь ученики знакомятся с деятельностью ВКБ, кафедры ТПС и системой T-Flex CAD, с которой они будут работать.

2. Подготовка теоретической основы.

На данном этапе курса учащимся объясняются теоретические основы начертательной геометрии, правильного понимания чертежей, по которым учащиеся в будущем будут воспроизводить 3D-модели, и мысленного представления будущей модели (детали). Часть необходимой для дальнейшей работы информации задается школьникам на самостоятельное рассмотрение дома.

3. Практическая часть.

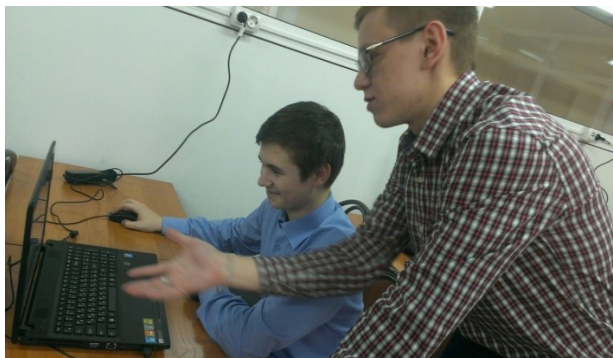
Учащимся предоставляются методические указания, подготовленные преподавателями и студентами кафедры, где пошагово расписаны действия по созданию простейшей 3D-модели: от открытия окна нового чертежа до основных операций 3D-моделирования – выталкивания и вращения. Здесь школьники приобретают навыки работы в CAD-системе, формируют своё представление о моделировании в целом, учатся понимать чертежи.

После получения основ 3D-моделирования начинается работа над проектами, доступными для школьников. Например, в текущем учебном году это проект по созданию 3D-моделей корпусов CubeSATов (формат 100×100×100мм). Параллельно с созданием 3D-моделей ребята готовят теоретический материал, который необходим для описательной части проекта.

4. Оформление проекта и подготовка к конференции.

Это заключительный этап перед выступлением на Всероссийском молодежном форуме с международным участием «Инженерия для освоения космоса». Собирается воедино теория, результаты 3D-моделирования и т.п. Оформляются результаты проекта в виде совместной статьи, авторами которой являются школьники, работавшие над проектом. Статья оформляется по требованиям форума и отправляется в оргкомитет. Во время форума школьники выступают с докладом по проекту в секции для школьников.

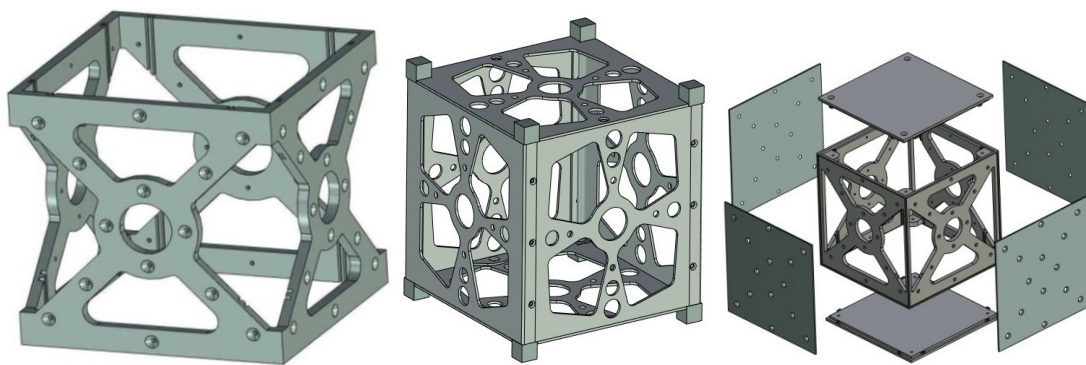
Элективный курс «3D-моделирование элементов космической техники с применением средств автоматизированного проектирования» организован на постоянной основе (второй учебный год подряд) в ТФТЛ. Занятия со школьниками проводятся исключительно силами студентов кафедры. Это магистранты Смолянский В.А., Битуева М.И., студенты Стасевский В.И., Кухарев А.С., Доржиева С.Б. (рис.1).



*Рис. 1. Занятия в ТФТЛ*

На рисунке 2 приведены примеры работ школьников ТФТЛ. Это 3D-модели корпусов малых космических аппаратов.





*Рис. 2. Примеры корпусов CubeSAT*

Результатом работы со школьниками ТФТЛ являются проекты, представленные на Форум «Космическое приборостроение» в 2014 и 2015 гг. [2] и форум «Инженерия для освоения космоса» в 2016 г (рис.3).



*Рис. 3. Закрытие форума «Космическое приборостроение»*

Для школьников Назарбаев интеллектуальной школы г. Семей, Казахстан элективный курс организуется и проводится во время каникул. На протяжении недели студент ТПУ Коломейцев Андрей работал с ребятами в августе 2015 года (рис. 4). Они добились значительных успехов, представив к концу обучения законченные 3D-сборки.

Курс «3D моделирование элементов космической техники с применением средств автоматизированного проектирования» предлагается и школьникам города Зеленогорска Красноярского края в рамках «Школы инженерных проектов» и будет реализован в сентябре – октябре 2016 года.

Еще одно из направлений работы со школьниками – организация экскурсий на кафедру ТПС и другие подразделения ИНК. На кафедре школьники знакомятся с деятельностью ВКБ и кафедры ТПС. Ребята знакомятся с преподавателями и студентами кафедры, оборудованием, лабораторными установками, которые используются в учебном процессе.



Рис. 4. Занятия в Назарбаев интеллектуальной школе (г. Семей, Казахстан)

Подлинный интерес школьников вызывает компьютерный класс с программным обеспечением по 3D-моделированию и проектированию, а также все связанное с применением 3D-печати – 3D-принтеры, 3D-сканеры, модели, напечатанные с их использованием.

С появлением ЦУПа на кафедре есть возможность познакомить школьников с его оборудованием, рассказать, для чего он предназначен, и как это можно использовать при обучении на кафедре.



Рис.5. Студенческий Центр управления полетами

Экскурсии на кафедру проводятся регулярно для всех желающих школьников. На кафедре были учащиеся лицея ТПУ, ТФГЛ, Назарбаев интеллектуальной школы (г. Семей), других школ города Томска, школьники г. Зеленогорска Красноярского края.

Привлечение школьников к деятельности кафедры дает возможность в будущем получить заинтересованных абитуриентов и будущих студентов, выбор направления обучения для которых был осознанным.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коломейцев А.А., Стасевский В.И. Применение САПР-технологий для развития пространственного мышления обучающихся // Педагогика и психология: проблемы развития мышления: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Красноярск, 10 Ноября 2015. - Красноярск: СГТУ, 2015 - С. 110-116.
2. Чуржакова Д. В., Мосунова Т. Н., Еремеева М. Э., Марков В. Н., Подгорный И. В., Сиротин Г. Я. Создание 3D модели спутника // Космическое приборостроение: сборник научных трудов III Всероссийского форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 265-267 с. - Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/files/conferences/tomskspace/proceedings-2015.pdf>, свободный.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ**

Дубровский Е.Ю., Добышев Е.В.

Научный руководитель: Сунцов С.Б., к.т.н.

Акционерное общество Информационные спутниковые системы имени академика М. Ф. Решетнева

Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Ленина, 52, 662972

E-mail: evgenij.dubrovskij@gmail.com

**PERSPECTIVE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT THE DESIGN PROCESS UNIFIED NETWORK ELECTRIC INTERFACES**

Dubrovsky E.Y., Dobyshev E.V.

Scientific Supervisor: Suntsov S.B.

JSC Academician M.F. Reshetnev Information satellite systems

Russia, Krasnoyarsk region, Zheleznogorsk, Lenin str.,52, 662972

E-mail: evgenij.dubrovskij@gmail.com

*В статье представлены перспективные направления развития процесса проектирования единой трехмерной сети электрических интерфейсов космического аппарата. Представлена новая перспективная технология проектирования космического аппарата на основе единой трехмерной цифровой модели, с использованием САПР CATIA. Приведено краткое описание перспективной технологии проектирования бортовой кабельной сети. Показано, что предлагаемый способ проектирования бортовой кабельной сети в свете новой технологии проектирования космического аппарата является более перспективным. Описаны основные преимущества нового способа проектирования космического аппарата и бортовой кабельной сети. Рассмотрены преимущества использования безбумажной технологии проектирования кабельной сети.*

*In the article perspective directions of development design process, a uniform three-dimensional network of electrical interfaces to the spacecraft. Presents new promising technology design of a spacecraft based on a single three-dimensional digital model, using the CAD software CATIA. Brief description of promising design technologies onboard cable network. It is shown that the proposed method for the design of onboard cable network in the light of new technology design of the spacecraft is more promising. Describes the main advantages of the new way to design spacecraft and on-Board cable network. Briefly considered the use of paperless technology of designing cable networks.*

Системы автоматизированного проектирования (САПР) заняли сегодня лидирующее место в сфере проектирования авиакосмической техники. Сегодня невозможно представить себе организацию, не использующую современные инструменты для автоматизации проектирования деталей и оборудования сложных электромеханических изделий.

Космический аппарат (КА) – это сложное электромеханическое изделие, его разработка невозможна без предварительного проведения работ по проектированию деталей, узлов, оборудования и КА в целом. Требования, предъявляемые к современному КА, постоянно усложняются. Так к современному КА предъявляются следующие требования:

1. увеличение срока эксплуатации на космической орбите до 15 лет и более;
2. повышение качества проектирования и изготовления КА для реализации п.1;
3. сокращение времени на проектирование и изготовление КА или сокращение трудоемкости процесса проектирования КА;

Увеличение требований к КА приводит к усложнению требований к составным частям, а это в свою очередь усложняет требования к процессу проектирования бортовой кабельной сети, которая является неотъемлемой частью КА. Важно учитывать, что оптимальность конструкции бортовой кабельной сети заключается не только в массогабаритных показателях, но и в учете электрических параметров (падение напряжения на отдельных проводах, максимально допустимый ток, электромагнитная совместимость при прохождении сигналов, тепловое излучение), технологичности при ее изготовлении и испытаниях, удобстве последующего монтажа на КА.

В АО «ИСС» применяется традиционная технология проектирования КА и бортовой кабельной сети, которая не позволяет решить перечисленных выше задач. Однако технический прогресс не стоит на месте и на сегодняшний день активно проводятся работы по улучшению качества процесса проектирования единой трехмерной сети электрических интерфейсов и КА в целом.

Одним из перспективных направлений развития процесса проектирования КА является разработка технологии проектирования КА на основе единой трехмерной цифровой модели КА. В рамках новой технологии взята ориентация на максимальное использование единой электронной цифровой модели изделия для проектирования КА на этапах общего проектирования, конструкторского моделирования и технологической подготовки производства. Суть новой технологии состоит в следующем:

1. разработка электронной трехмерной цифровой модели КА на этапе эскизного проектирования;
2. последовательное заполнение разработанной модели на различных этапах проектирования КА интерфейсами, оборудованием, кабелями и крепежами;
3. проведение периодической верификации результатов проектирования.

Применение единой электронной цифровой модели позволит:

1. сократить время на конструкторскую и технологическую подготовку производства;
2. устранить нестыковки между результатами различных этапов проектирования и изготовления;
3. обеспечить возможность доработки электрических цепей и конструкции бортовой кабельной сети на любой стадии изготовления космического аппарата.

В связи с разработкой новой технологии проектирования КА требуется разработать новую технологию проектирования единой трехмерной сети электрических интерфейсов КА. Традиционная технология проектирования бортовой кабельной сети предполагает проектирование конструкции кабелей после окончания разработки механической конструкции КА. При этом конструкция КА может быть изменена по результатам проектирования конструкции кабельной сети. Это не позволяет сократить трудоемкость процесса проектирования и сократить сроки на проектирование и разработку кабелей. В рамках новой концепции проектирования КА открывается возможность начинать проектирование кабелей совместно с разработкой механической конструкции спутника с последующим проведением верификации результатов проектирования. Использование новой концепции проектирования бортовой кабельной сети позволит решить вопросы:

1. доработки конструкции кабельной сети на любом этапе проектирования КА;
2. сокращения сроков разработки кабелей до выпуска готовой продукции с одного года до нескольких месяцев;
3. улучшения габаритно-массовых характеристик бортовой кабельной сети – до 40%;
4. повышения производительности труда при проектировании бортовой кабельной сети – до 15%;
5. повышения качества разрабатываемой конструкторской документации;
6. повышения качества выполнения сборочно-монтажных работ;
7. сокращения до 30 % времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства;
8. минимизирования ошибок при разработке бортовой кабельной сети
9. повышения эффективности совместной работы;
10. существенного снижения затрат, за счет сокращения материала для изготовления бортовой кабельной сети.

Помимо вопросов проектирования кабелей в АО «ИСС» взята ориентация на внедрение безбумажной технологии проектирования и изготовления кабельной сети, которая, исключая бумажные

чертежи, позволяет визуализировать конфигурацию отдельных кабелей и кабельной сети в целом и организовать процесс изготовления непосредственно с мониторов. Отдельным направлением в рамках внедрения безбумажной технологии можно выделить внедрение технологии создания интерактивной технической документации, использование которой позволяет визуализировать процесс сборки изделия на основе данных, применяемых в процессе проектирования, и представить процесс сборки в виде анимации процесса монтажа. Использование безбумажной технологии и интерактивной документации позволяет:

1. Избежать временных и финансовых затрат на изготовление чертежей на бумажном носителе;
2. Сократить затраты на бумажные носители;
3. Сократить сроки формирования документации;
4. Повысить наглядность процесса сборки и изготовления изделий за счет визуализации трехмерной модели изделия и использования интерактивной документации.
5. Сократить сроки и повысить качества выполнения монтажно-сборочных работ.
6. Использовать современные инструменты для организации электронного документооборота;
7. Интегрировать все информационные приложения в единую информационную среду;
8. Обеспечить оперативное взаимодействие всех пользователей при выполнении ими деловых процедур;
9. Организовать хранение документов и повторное их использование и повысить актуальность сохранения информации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев И. С., Ким В. С., Ефремов С. В. Надежность электрических соединений в бортовой кабельной сети перспективных космических аппаратов // Науковедение.– 2013.– №3.– С.1–7.
2. Кочура С. Г., Школьный В. Н., Сунцов С. Б., Ефремов С. В. Развитие новых технологий бортовой кабельной сети // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина.– 2015.– №03. – С. 118–120.
3. СТП 154-171-2008. Стандарт предприятия. Система менеджмента качества. Управление проектированием. Организация и технология электрического проектирования КА и его составных частей. 2008г. 38 с.
4. СТП 154-180-2008. Стандарт предприятия. Система менеджмента качества. Требования к проектированию и разработке кабелей.– 2008г.– 42 с.
5. СТП 154-172-2012. Стандарт предприятия. Система менеджмента качества. Управление проектированием. Проектирование и разработка конструкции космического аппарата, его составных частей и контрольно-измерительной аппаратуры.– 2008г.– 38 с.
6. Интегрированная система проектирования и испытаний единой трехмерной сети электрических интерфейсов космических аппаратов, ИС БКС. Описание системы 643.59502470.00008-01 13 01.– Санкт-Петербург.– 2012.– 20 с.
7. Интегрированная система проектирования и испытаний единой трехмерной сети электрических интерфейсов космических аппаратов. Подсистема ведения интерактивной документации. ИДИС БКС. Руководство по созданию интерактивной документации 643.59502470.00008-01 34 06.– Санкт-Петербург.– 2012.– 29 с.
8. Интегрированная система проектирования и испытаний низкочастотной бортовой кабельной сети космических аппаратов. Технический проект 643.59502470.00001-01 91 01-1.– Санкт-Петербург.– 2009.– 94 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕРТИКАЛЬНОГО КАНАЛА АКТИВНОЙ СИЛОКОМПЕНСИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ**

Зарницын А.Ю., Звонцова К.К.

Научные руководители: Малышенко А.М., профессор, д.т.н.; Воронин А.В., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ayz10@tpu.ru

**STUDYING THE DYNAMIC PROPERTIES OF THE VERTICAL CHANNEL ACTIVE FORCES COMPENSATION SYSTEM**

Zarnitsyn A., Zvoncova K.

Scientific Supervisors: Prof., Dr. Malysenko A.M.; Associate Professor, Ph.D., Voronin A.V.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: ayz10@tpu.ru

*Производство космических кораблей и спутников бесспорно является науко-трудоемкой отраслью. Прежде чем вывести спутник на орбиту необходимо провести ряд мероприятий с целью выявления каких-либо недостатков, дефектов. Такими мероприятиями могут являться имитационное, физическое, математическое моделирование.*

*Одним из условий наземных испытаний космического спутника является невесомость, её реализация (имитация) позволит максимально приблизить условия испытаний к реальным.*

*Решением данного вопроса может являться применение систем обезвешивания. В статье были изучены динамические свойства вертикального канала активной силокомпенсирующей системы с целью дальнейшего синтеза регулятора. Настроенный должным образом вертикальный канал системы обезвешивания позволит максимально приблизить наземные испытания космических спутников к реальным условиям. Результаты математического моделирования представленные в статье позволяют сделать вывод о свойствах самой системы, поведение которой по характеру схоже с поведением вертикального канала испытываемого в реальных условиях.*

*Manufacture of spacecraft and satellites is undoubtedly time-consuming industry. Before you bring a satellite into orbit is necessary to conduct a number of activities in order to identify any defects. These activities may include simulation, physical, mathematical modeling.*

*One of the conditions of ground tests of the satellite space is weightless, its implementation (simulation) allows as close to real testing conditions. The solution of this problem may be the use of zero-gravity systems.*

*The paper properties were studied dynamic vertical forces compensating channel active system to control further synthesis. Configured properly vertical channel of the system will allow to approximate the ground testing of space satellites to real conditions.*

**Введение.** Системы обезвешивания в основном делятся на три группы: активные, пассивные и комбинированные. В активных системах обезвешивание достигается посредством регулирования момента создаваемым электроприводом, в пассивных – посредством использования противовесов, в комбинированных - сочетаются свойства первых двух систем. Помимо этого, во время испытаний необходимо точно отслеживать перемещение элементов космических спутников посредством следящих систем. Также существуют способы имитации невесомости для обезвешивания деталей крупногабаритных трансформируемых изделий (КТИ), реализуемых с использованием воздушных опор [1], разгрузки рефлектора антенны с помощью воздушных шаров [2], использовании специальной конструкции, в состав которой входят воздушные подшипники [3] и другие способы обезвешивания элементов КТИ.

На рисунке 1 представлено схематическое изображение активной системы обезвешивания.

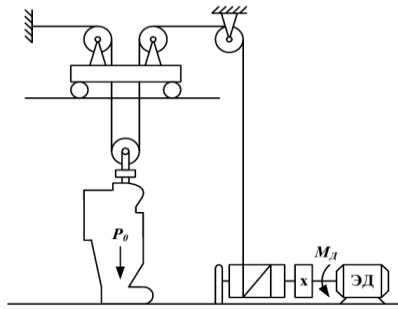


Рис. 1. Активная система обезвешивания

Применение активной системы обезвешивания может быть реализовано для обезвешивания спиц в процессе раскрытия рефлекторов спутников.

**Вывод уравнений и построение математической модели.** Рассмотрим систему из одного груза весящего на тросе (рисунок 2).

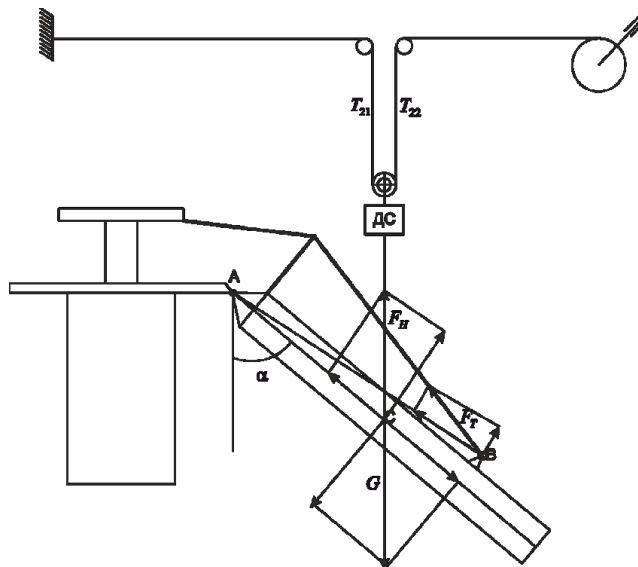


Рис. 2. Кинематическая схема системы активного обезвешивания спицы

Запишем систему уравнений по второму закону Ньютона описывающие динамику спицы [4]:

$$ma_1 = -mg + T_2 + k(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + F_T \frac{L_{AB}}{L_{AC}} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \theta} \quad (1)$$

$$T_2 = Q(x_1 - x_2) \quad (2)$$

Для датчика силы:

$$m_0 a_2 = -m_0 g + T_2' + F_H \quad (3)$$

$$\bar{T}_2' = \bar{T}_2 + k(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \quad (4)$$

$$F_H = Q'x_1 \quad (5)$$

Где  $x_1$  - координата датчика,  $x_2$  - координата груза,  $m$  - масса груза,  $m_0$  - масса датчика,  $Q'$  - жесткость троса между датчиком и лебедкой,  $Q$  - жёсткость троса между датчиком и грузом,  $k$  - аэродинамический коэффициент сопротивления,  $\vec{a}_2$  - ускорение датчика,  $\vec{a}_1$  - ускорение груза,  $F_T$  - сила натяжения создаваемое в оттяжке спицы.

Точка подвеса спицы будет совершать вращательное движение, так как горизонтальное перемещение спицы не влияет на величину сил вертикального канала, то в уравнениях (1) и (4) под ускорениями понимается проекция тангенциального ускорения точки подвеса на вертикальную ось.

Для достижения эффекта обезвешивания необходимо чтобы привод создавал момент компенсирующий момент внешнего усилия. Структурная схема системы автоматического натяжения троса (САУ НТ) представлена на рисунке 3.

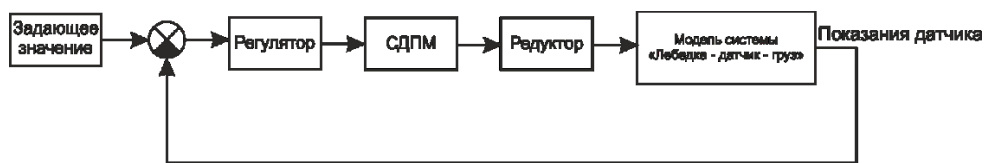


Рис. 3. Структурная схема САУ НТ

Также нужно отметить, что при составлении математической модели приняты следующие допущения:

1. Трение в редукторе и троса о подвижные части отсутствует.
2. Растяжение и сжатие троса подчиняется закону Гука.
3. В данных условиях жесткость каната существенно не зависит от длины.

В качестве привода для активной системы обезвешивания был выбран синхронный привод с постоянными магнитами (СДПМ). Это сервопривод, который состоит из сервоусилителя и непосредственно самого привода, имеет внутренние обратные связи и может работать в режиме управления моментом, скорости или положения. Касательно вертикального канала обезвешивания нас интересует регулирование момента.

Соберем имитационную модель в ППП Matlab приложение Simulink в соответствии с уравнениями (1), (2), (3), (4), (5) и снимем график переходного процесса при условиях когда к основной массе добавляют массу равную 2 кг.

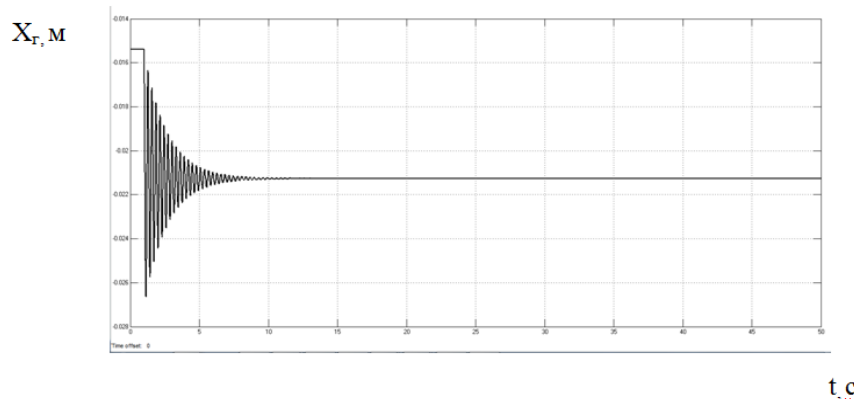


Рис. 4. Изменение координаты груза



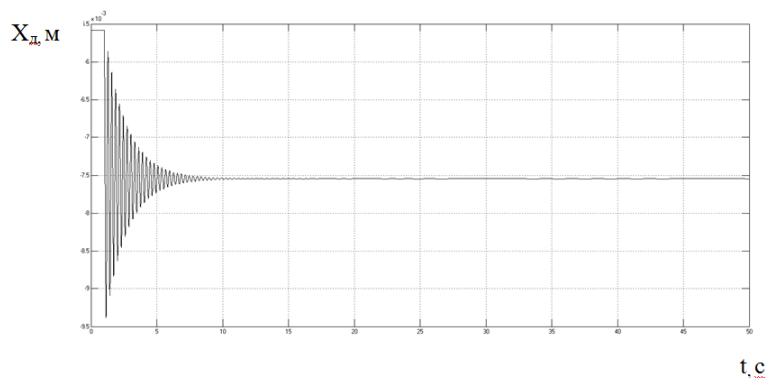


Рис. 5.Изменение координаты датчика

Проанализировав переходные процессы можно сделать вывод, что объект управления представляет собой осциллятор, что подтверждают экспериментальные данные. Введем обратную связь по показанию датчика с учетом того, что в канале управления существуют задержки и снимем график переходного процесса.

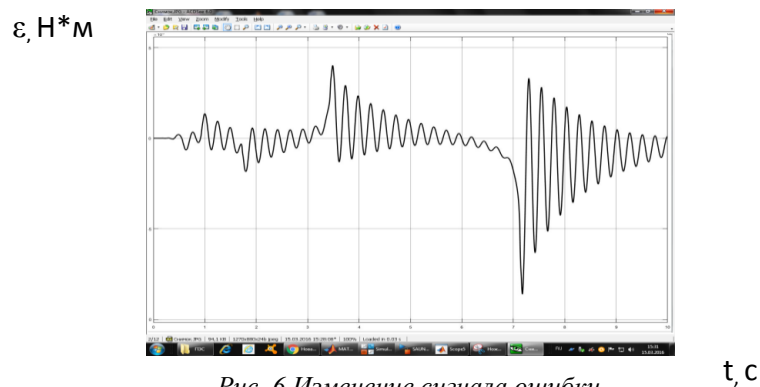


Рис. 6.Изменение сигнала ошибки

**Вывод.** Проанализировав переходные характеристики можно сделать вывод, что настройка регулятора в вертикальном канале требует нетривиальных подходов, а конкретно следует оперировать методами частотного синтеза, ввести ограничения на интегрирования, а также модифицировать регулятор сделав его адаптивным.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент RU 2410299. МКИ В64G 7/00, G01M 99/00. Способ имитации пониженной гравитации. Приоритет с 23.03.1989 г. Патентообладатель – Кудрявцев И.А.
2. Патент CN 103887611.МКИ H01Q 15/16 Method for unloading of net surface of large netty antenna. Приоритетс 16.07.2014 г.
3. Патент US 20140041444. МКИ G01M1/00, B64G1/22 Apparatus for antenna weightlessness deployment test. Приоритет с 9.08.2012
4. Кравченко О.А, Богданов Д.Ю., Барыльник Д.В.. Математическая модель электромеханической многокоординатной силокомпенсирующей системы- Журнал «Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика», 2014 – 8с.

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО  
ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ МАЛОМАССОГАБАРИТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ  
(НА ПРИМЕРЕ ОТ МКА «АИСТ-2Д»)**

Ивков С.В., Леонович Г.И., Гуртов А.С., Миненко С.И., Сёмкин Н.Д., Воронов К.Е., Латухина Н.В.  
Ракетно-Космический Центр «Прогресс»  
Россия, г. Самара, ул. Земеца 18, 443009  
E-mail: csdb@samspace.ru

**AUTOMATED HARDWARE INSTALLED AT SMALL SATELLITE FOR SPACE SCIENTIFIC  
UP-TO-DATE TECHNOLOGY AND MATERIAL RESEARCH (AS AN EXAMPLE INSTALLED  
AT «AIST-2D» SMALL SATELLITE)**

Ivkov S.V., Leonovich G.I., Gurtov A.S., Minenko S.I., Syomkin N.D., Voronov K.E., Latukhina N.V.  
Space Rocket Centre “Progress”  
Russia, Samara, Zemetsa Str., 18, 443009  
E-mail: csdb@samspace.ru

*В данном докладе представлены результаты разработки экспериментальной системы позволяющей проводить научные исследования в условиях космического пространства. Также показаны 2 научных исследования, запланированные к проведению в рамках ОТ МКА «Аист-2Д». Первое научное исследование связано с определением стойкости и эксплуатационных характеристик наноструктурированных кремниевых фотоэлектрических преобразователей в условиях космического пространства. Второе научное исследование связано с отработкой технического решения построения пассивных волоконно-оптических сенсорных сетей по топологии «общая шина» в условиях космического пространства.*

*Results of development of experimental system, allows conducting scientific researches in space, are presented in the paper. Two scientific researches which have been planned within «AIST-2D» SSC are presented as well. The first one research is aimed to define capability and operational performances of nanostructured silicic photoelectric transducers in space conditions. The second research is related with development of engineering decision of inactive fiber-optic sensor networks construction based on “common bus” layout in space conditions.*

Исследование новейших технологий и материалов с целью определения их перспективности с точки зрения практического применения является одной из сложнейших задач. Самое сложное в реализации данной задачи – создание экспериментальной установки, позволяющей симитировать все возможные воздействия, которые будут оказывать влияние при эксплуатации. Именно поэтому проведение экспериментов в условиях реальных воздействий представляет очень большой интерес для науки. В представленном докладе приведён пример совместного научно-технического сотрудничества специалистов АО «РКЦ «Прогресс» и учёных Самарского Университета по созданию бортового многофункционального автоматического научно-экспериментального комплекса для проведения натурного эксперимента с опытными образцами наноструктурированных кремниевых фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) и волоконно-оптического датчика вращения.

Высокоэффективные ФЭП, как источники энергии для летательных аппаратов, вызывают большой интерес со стороны разработчиков космической техники, так как для большинства космических аппаратов солнечные батареи являются практически безальтернативным источником энергии.

Наиболее высокими эксплуатационными характеристиками на сегодняшний день обладают гетероструктурные ФЭП на основе материалов  $A_{III}B_{V}$  – арсенидов и фосфидов индия и галлия. Однако при производстве этих ФЭП используется гораздо более сложная, дорогая и опасная технология. Сырьё - редкоземельные металлы (галлий, индий, германий) и постепенно истощаются и, большая часть месторождений, находится за пределами России - в США и Китае. Кроме того, наногетероструктурные ФЭП на базе соединений  $A_{III}B_{V}$  более тяжелые по сравнению с кремниевыми, их удельная масса - до  $1,9 \text{ кг/м}^2$

против  $1,7 \text{ кг/м}^2$  у кремниевых, что очень важно для применения в космосе, где каждый килограмм буквально на «вес золота»[1].

Кремниевые ФЭП уступают гетероструктурным ФЭП по такому показателю как КПД, поэтому актуальной проблемой является повышение их КПД. Повышение КПД кремниевого ФЭП возможно за счёт:

- увеличения спектральной чувствительности кремниевого ФЭП;
- снижения рекомбинационных потерь;
- снижения коэффициента отражения;
- уменьшения термализации ФЭП.

Специалистами кафедры нанотехнологий Самарского Государственного Университета (в настоящее время Самарский Университет) были проведены исследования по созданию высокоэффективного ФЭП на основе нанопористого кремния. Результатом проведённых исследований стало создание нескольких технологий изготовления кремниевых наноструктурированных ФЭП. На рисунках 1 и 2 представлен вид ФЭП с применением технологии наноструктурирования.

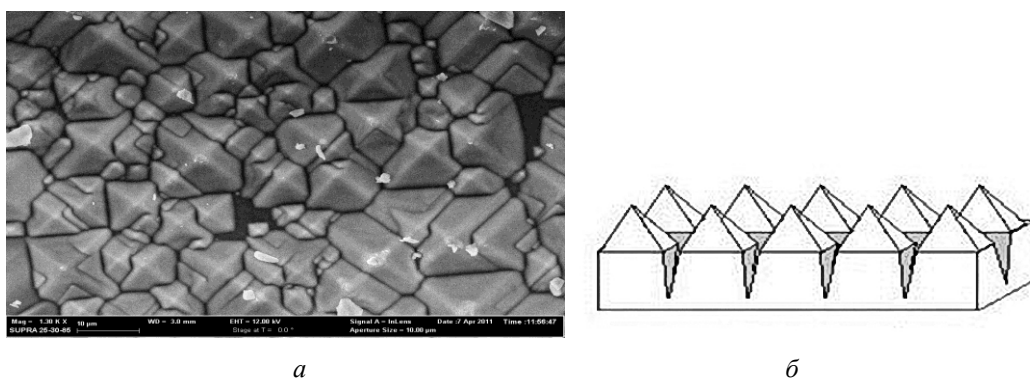


Рис. 1. Изображение текстурированной поверхности образца со щелевидными порами, полученное с помощью растрового электронного микроскопа (а) и её схематичное изображение (б) [5]

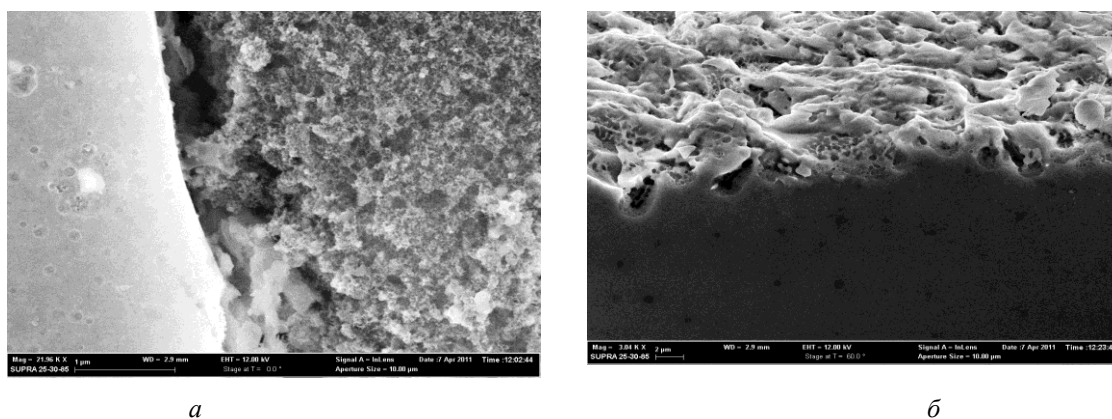
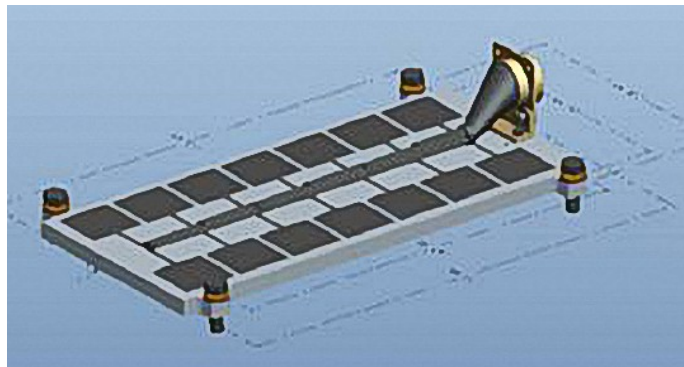


Рис. 2. РЭМ-изображения пористого слоя: а) образованного на полированной поверхности кремниевой подложки, вид сверху, светлая область слева – исходная поверхность; б) образованного на шлифованной поверхности кремниевой подложки, вид сбоку(поперечный срез)

Наземные исследования показали, что полученные образцы с пористым слоем по выходным характеристикам превосходят образцы без применения технологии наноструктурирования. Таким образом,

можно сделать вывод, что применение в конструкции ФЭП на кремниевой подложке слоёв пористого нанокристаллического кремния, перспективно для повышения его эффективности[2, 3].

Экспериментальное подтверждение полученных характеристик для ФЭП космического применения в наземных условиях требует применения дорогостоящего оборудования. И здесь на помощь учёным пришли специалисты самарского ракетно-космического центра «Прогресс». Для определения стойкости наноструктурированных кремниевых ФЭП к воздействующим факторам космического пространства, механическим и климатическим воздействиям на этапе выведения и орбитального полёта КА был запланирован и подготовлен к реализации эксперимент в составе ОТ МКА «Аист-2Д». Срок проведения эксперимента равен сроку активного существования МКА и составляет не менее 3-х лет. Для проведения эксперимента изготовлено 14 шт. экспериментальных ФЭП, попарно 6-ю различными технологическими процессами. В каждой паре по 1 ФЭП защищено стеклом. Также в данном блоке будут 2 контрольных образца кремниевых ФЭП, изготовленных по традиционной технологии. Конструкция экспериментальной батареи ифотозэлектрической приведена на рисунке 3 [4].



*Рис. 3. Экспериментальная батарея фотоэлектрическая*

С каждой пластины, в процессе лётного эксперимента, будут сниматься телеметрические данные: температура, напряжение и сила тока. По телеметрическим данным, которые будут поступать в РКЦ «Прогресс», будут построены вольт-амперные характеристики (ВАХ) каждой из 12-ти экспериментальных пластин в зависимости от температуры и времени проведённого на орбите. Полученные ВАХ и данные об их изменении позволят учёным Самарского университета наметить пути дальнейшего совершенствования перспективной технологии изготовления ФЭП.

В дальнейшем, при условии успешного окончания лётного эксперимента и внедрения этой технологии в массовое производство, новыми российскими солнечными кремниевыми батареями смогут оснащаться не только спутники, но и беспилотные летательные аппараты, электромобили, зарядные устройства мобильных телефонов, смартфонов, компьютеров, а также любая бортовая (и не только) электроника.

Не меньший интерес с точки зрения дальнейшего практического использования представляют волоконно-оптические датчики для измерения различных физических величин.

К категории наиболее надежных и энергоэффективных бортовых сенсорных сетей относят пассивные волоконно-оптические сенсорные сети, позволяющие соединить посредством оптических волокон до нескольких десятков и даже сотен пассивных аналоговых и цифровых (дискретных) датчиков, измеряющих различные физические величины. Такая сеть обслуживается одним электронным блоком обработки сигналов и управления сетью, в состав которого входят источники и приемники оптического

излучения, АЦП, оптические и электронные коммутационные устройства, цифровой процессор, преобразователи интерфейсов и др. Как считают отечественные и зарубежные специалисты, пассивные волоконно-оптические сенсорные сети, созданные на основе волоконно-оптических датчиков, в ближайшие 10 лет на 80...90% покроют потребности аэрокосмической и оборонной отраслей. Активно внедряют и инвестируют в пассивные волоконно-оптические сенсорные сети на основе Брэгговских решеток военно-промышленные комплексы США и Западной Европы.

На рисунке 4 представлены внутриволоконные Брэгговские решётки (ВБР) без покрытия и с нанесённым на поверхность оптоволокна сенсорно-актуаторным тонкопленочным покрытием, разработанным специалистами Самарского Университета. Максимальный коэффициент деформации покрытия при воздействии магнитного поля от  $10^{-3}$  до  $10^{-2}$ . Такой датчик относится к новому классу высокочувствительных гибридных ВОД на ВБР и не имеет прямых аналогов. Большинство известных предложений ориентируется на сложные в реализации и обладающие низкой точностью структуры из оптоволокна, наклеенного на магнитоотрицательную пластину.

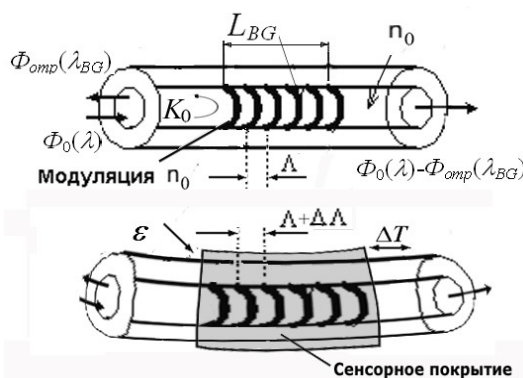


Рис.4. Внутриволоконная решетка Брэгга

Под воздействием на покрытие магнитного поля от вращающегося диска с постоянными магнитами происходит деформация, как покрытия, так и оптического волокна с ВБР. В результате фиксируется кратковременные скачки длины волны  $\Delta\lambda=2\Delta\Lambda$  отраженного от ВБР света. Скорость следования скачков определяет скорость вращения диска с постоянным магнитом или группой из  $n$  постоянных магнитов, равномерно распределенных по периметру диска. Вращение диска задается микродвигателем с постоянной или алгоритмически задаваемой переменной скоростью вращения вала. Данные эксперименты были проведены в лабораторных условиях и показали хорошую повторяемость результатов в широком диапазоне воздействующих факторов.

Большинство предлагаемых и реализованных пассивных волоконно-оптических сенсорных сетей строится по топологии «звезда». На основании проведённых расчётов и анализа полученных результатов специалистами Самарского Университета был сделан вывод о более перспективном, с точки зрения практической реализации, способе построения пассивных волоконно-оптических сенсорных сетей – топология «общая шина». Пример данной топологии представлен на рисунке 5 [5].

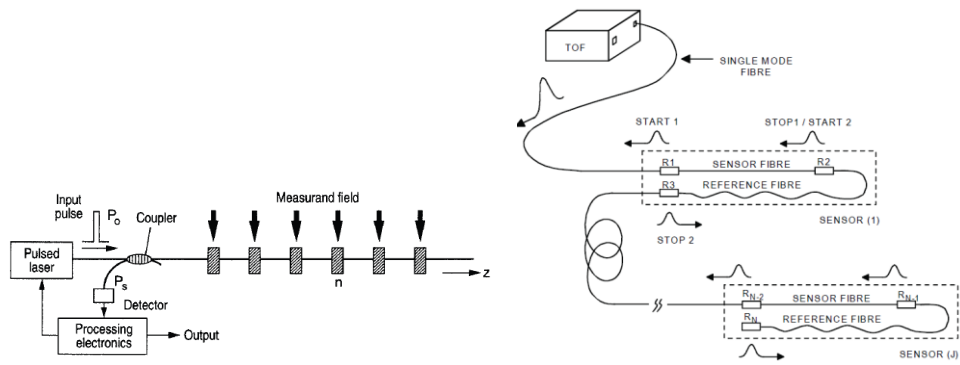


Рис. 5. Варианты построения сенсорной сети по топологии «общая шина»

Для обработки технических решений построения пассивных волоконно-оптических сенсорных сетей по топологии «общая шина» было принято решение провести эксперимент в составе ОТ МКА «Аист-2Д». Для этого создана пассивная волоконно-оптическая сенсорная сеть, представленная на рисунке 6. Для упрощения эксперимента был использован только 1 тип волоконно-оптического датчика.

В качестве источника излучения взят неохлаждаемый полупроводниковый лазер ДМПО155Н-14, приемник отраженных сигналов - ДФД70-ОМ-FC/РС. Источник подаёт широкополосное излучение по волокну, которое подаётся на циркулятор GR-CIRC-55 и проходит через две последовательно соединённые области оптоволокна, с нанесёнными на них решётками Брегга с одинаковой длиной волны. Отражённые сигналы в состоянии покоя отражаются только от первой ВБР и проходят через циркулятор на фотодиод приёмника. При воздействии поля на один из магнитов происходит формирование суммарного оптического сигнала. Далее микропроцессор с заранее составленным программным кодом регистрирует сигналы от двух решёток Брега, определяет код скорости вращения и транслирует его в передающий модуль.

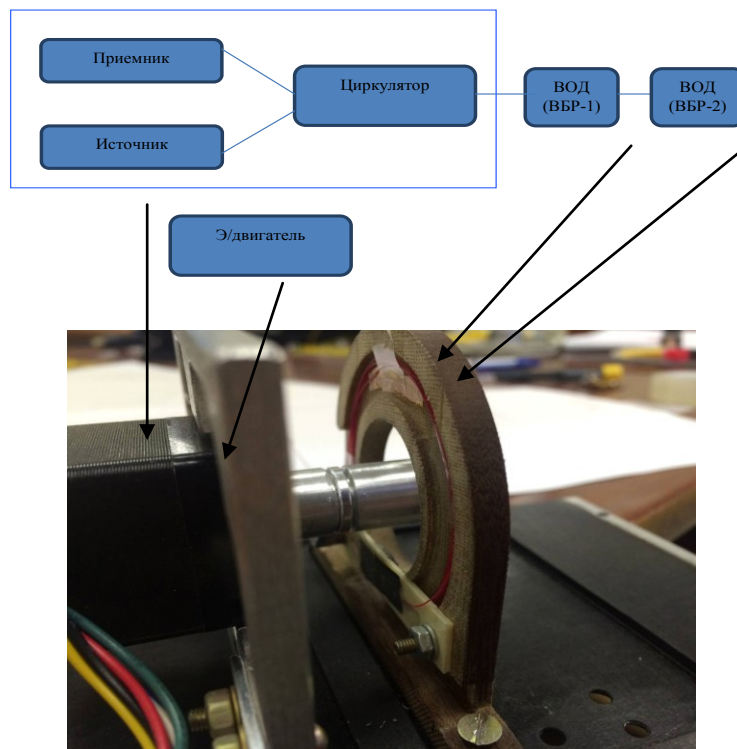


Рис. 6. Экспериментальная пассивная волоконно-оптическая сенсорная сеть

Данные о состоянии и точности измерения экспериментальной пассивной волоконно-оптической сенсорной сети будут поступать в РКЦ «Прогресс». На основе полученных данных будет проведён анализ работоспособности, точности измерений и изменения характеристик в условиях космического пространства перспективной сенсорной сети, что позволит учёным Самарского Университета и специалистам ракетно-космического центра определить дальнейшее направление действий для внедрения данной технологии контроля в качестве штатной.

Для проведения обоих экспериментов была создана комплексная мультисенсорная система (KMCC). KMCC полностью управляет всеми введёнными под его контроль экспериментами. В состав KMCC входят:

- контроллер управления, который работает как по заложенной в него программе, так и по командам управления, выдаваемым в режиме реального времени, от бортовой системы управления КА. Функции, выполняемые модулем управления – включение и отключение остальных модулей, получение команд управления, массивов исходных данных, отработка заложенной программы эксперимента, первичная обработка научной информации.;

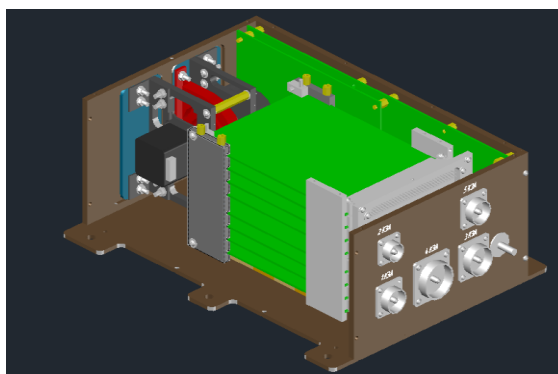
- модуль питания обеспечивает коммутацию источника электроснабжения и его потребителей. Также предусмотрено, что модуль питания выполняет функцию зарядного устройства для аккумуляторной батареи (интегрированной внутрь блока KMCC или стоящей отдельно). Аккумуляторная батарея может быть частью экспериментальной системы или обеспечивающей работу для экспериментальной аппаратуры;

- модуль телеметрии собирает информацию с датчиков контролирующих состояние модулей и всего KMCC в целом. Также на модуль телеметрии возложены задачи подготовки данных для передачи информации на Землю и трансляция информации в бортовой комплекс связи.;

- модуль памяти, как видно из названия, отвечает за хранение и запись информации поступающей как извне блока KMCC, так и информации собираемой с экспериментальной системы. Модуль памяти разделён на сектора, в каждый из которых может записываться информация предназначенная для конкретного модуля либо информация о состоянии данного модуля. Информация записывается циклически, со стиранием самой старой;

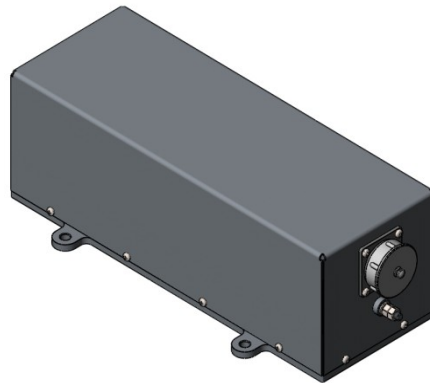
- модуль контроля за экспериментом отвечает за контроль результатов и проведение самого эксперимента. Таких модулей в состав KMCC может входить несколько, в зависимости от количества экспериментов. Каждый из модулей может контролировать проведение одного эксперимента.

Модель KMCC с открытыми модулями представлена на рисунке 7



*Рис. 7. Модель KMCC*

Данный прибор был разработан и изготовлен ИКП СГАУ (г. Самара) по техническому заданию АО «РКЦ «Прогресс» (г. Самара) для обеспечения проведения комплексного эксперимента с экспериментальной батареей фотоэлектрической (ЭБФ) и волоконно-оптическим датчиком перемещения на ОТ МКА «Аист-2Д». Для обеспечения бесперебойного электропитания КМСС в состав введена экспериментальная литий-ионная аккумуляторная батарея 5P15S (ЛИАБ). Внешний вид батареи 5P15S представлен на рисунке 8. Одновременно будет решаться задача наработки циклов заряд-разряд в экстремальных режимах работы ЛИАБ с феррофосфатным катодом титанат оксидным анодом (заряд большим током, разряд на 100% ёмкости). Для оценки состояния ЛИАБ будут контролироваться следующие параметры: напряжение, токи заряда и разряда, температура, расчётное значение ёмкости.



*Рис.8. Батарея 5P15S*

Лётные испытания прибора КМСС в составе комбинированной экспериментальной аппаратуры, как уже говорилось выше, будут проводиться на ОТ МКА «Аист-2Д», запуск которого запланирован весной 2016. Полученные результаты экспериментов, после обработки и анализа, будут представлены в следующих статьях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. G. Conebeer, M. Green, R. Corkish, Y. Cho, E.-C. Cho, C.-W. Jiang, T. Fangsuwannarak, E. Pink, Y. Huang, T. Puzzer, T. Trupke, B. Richards, A. Shalav, K.-L. Lin. Silicon nanostructures for third generation photovoltaic solar cells. //Thin Solid Films – 2006.–V. 511-512.–P. 654-662.
2. Латухина Н.В., Нечаева Н.А., Храмов В.А, Волков А.В., Агафонов А.Н. Структуры с макропористым кремнием для фотопреобразователей на кремниевой подложке // Тонкие пленки в оптике и нанoeлектронике. Сборник докладов 18 международного симпозиума. Харьков, 2006. – Т.2. – С. 207 - 211.
3. Н.В. Латухина, Т.С. Дерезлазова, С.В. Ивков, А.В. Волков, В.А. Деева Фотоэлектрические свойства структур с микро- и нано-пористым кремнием // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. – Т. 11. № 3 (29). С. 66 – 71.
4. Г.П. Яровой, Н.В. Латухина, А.С.Рогожин, А.С.Гуртов, С.В. Ивков, С.И. Миненко « Кремниевые фотоэлектрические преобразователи для космической и авиационной отрасли» // Известия СНЦ РАН. –2012. – Т.14. – №1(2).– С. 521 – 524.
5. Леонович Г.И., Матюнин С.А., Ливочкина Н.А., Акбаров Р.Р., Ивков С.В., Глушков А.И. Сетевые цифровые волоконно-оптические датчики перемещения с закрытым оптическим каналом / Вестник СГАУ, № 7 (31), 2012 г. С. 123-127.



## **ДАТЧИКИ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ШАРОВОГО РОТОРА ГИРОСКОПА**

Кожевников П.В., Игнатовская А.А.  
Научный руководитель: Игнатовская А.А.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: pvk8@tpu.ru

## **ANGLE SENSORS FOR THE GYROSCOPE BALL ROTOR**

Kozhevnikov P.V., Ignatovskaya A.A.  
Scientific Supervisor: Ignatovskaya A.A.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: pvk8@tpu.ru

*Рассматриваются общие вопросы, связанные с конструктивными и технологическими особенностями исполнения датчиков углового положения для разрабатываемого гироскопа с газодинамическим подвесом шарового ротора. Приводится краткое описание основных элементов конструкции. Проведен аналитический обзор потенциальных датчиков съема информации об угловом положении шарового ротора; обозначены основные характеристики каждого из типов. Показана конструкция и внешний вид имеющегося в наличии индукционного датчика углового положения; рассмотрены его принцип действия, достоинства и недостатки. Представлены краткие выводы о возможности применения исследуемых типов датчиков в предлагаемом конструктивном исполнении шарового гироскопа.*

*General issues relating to the design and technological features of the angle sensors realization for the developed ball gyroscope layout with a gas-dynamic suspension are considered. The brief description of the main construction layout elements is provided. The analytical review about the potential sensors of the ball rotor is presented; the key characteristics of the each type are specified. The design and physical configuration of the available flux valve sensor are shown; its functional principle, advantages and disadvantages are reviewed. The brief conclusions on the possibility to apply the considering types of sensors for the developed gyroscope design are presented.*

Инженеры в области космического приборостроения сделали огромный шаг в развитии приборов и систем, предназначенных для изучения и покорения космического пространства. Одним из многочисленных приборов, работающих в космическом пространстве, является гироскопическое устройство, которое служит для определения ориентации космического аппарата относительно инерциальной системы координат. Основными конструктивными элементами такого гироскопического устройства являются: датчик съема информации об угловом положении оси вращения ротора, электропривод, а также опорный узел чувствительного элемента гироскопа [1].

Основной целью аналитического исследования является изучение различных типов датчиков съема информации об угловом положении ротора гироскопического устройства, определение наиболее подходящего варианта датчика угла (ДУ) с учетом следующих требований:

1. В связи с реализацией газодинамического подвеса, ДУ должен отвечать определенным конструктивным особенностям;
2. ДУ должен быть достаточно точным для измерения малых отклонений оси вращения ротора, поскольку разрабатываемый гироскопический прибор предполагается использовать в качестве чувствительного элемента системы ориентации;
3. ДУ должен иметь малые массогабаритные параметры.

Разрабатываемый макет шарового гироскопа содержит следующие основные элементы: ротор, который представляет собой стандартный шарикоподшипниковый шарик, выполненный из стали марки ШХ15; полусферические опоры, в полости которых располагается шаровой ротор; электропривод, при помощи которого ротор приводится во вращение; датчик углового положения оси вращения ротора.

При подаче питания на электропривод (40 В, 1000 Гц), ротор приводится во вращение за счет возникающих вихревых токов на его поверхности и последующего взаимодействия с основным вращающимся магнитным полем электропривода. При дальнейшем вращении ротора, газ вовлекается в начальный зазор между полусферическими опорами и ротором, и при дальнейшем притоке газа в зазор возникает избыточное давление, вследствие чего ротор «всплывает», и при его вращении с номинальной скоростью обеспечивается режим постоянной газовой смазки.

На данный момент, для разрабатываемого макета шарового гироскопа используется индукционный тип ДУ. При этом ротор имеет осевое отверстие, предназначенное для расположения в нем подвижной части датчика угла (данное исполнение ротора может быть использовано как основа для разработки аналога имеющегося ДУ). Имеющийся двухкоординатный ДУ выполнен на основе двух индукционных датчиков, работающих в трансформаторном режиме. Первая сигнальная обмотка (СО1) измеряет положение ротора в одной плоскости; вторая сигнальная обмотка (СО2) измеряет положение ротора в перпендикулярной плоскости, относительно к первой обмотке [2]. Принцип работы датчика, заключается в определении индуцируемого напряжения в каждой из сигнальных обмоток датчика, которые в свою очередь зависят от величины магнитного потока. При перемещении ферромагнитного элемента ДУ – грибка, относительно датчика, магнитный поток в цепи перераспределяется, тем самым выходное напряжение на сигнальных обмотках изменяется. Конструктивное оформление ДУ, а также его внешний вид представлены на рисунках 1а и 1б.

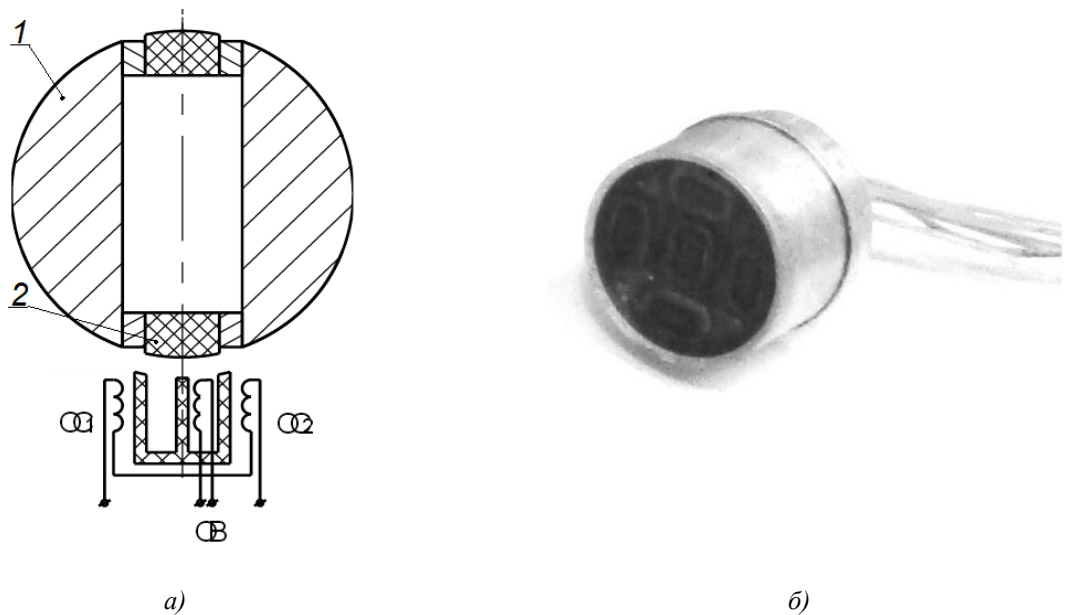


Рис. 1. а) конструктивное оформление ротора и ДУ: OB – обмотка возбуждения; OS – сигнальная обмотка; 1- шаровой ротор; 2 – подвижная часть ДУ (грибок); б) внешний вид ДУ

Достоинство данного ДУ заключается в возможности реализации конструкции этого типа датчика в относительно малых массогабаритных параметрах. Основным же его недостатком является то, что при повороте оси вращения ротора в зазоре магнитной цепи возникает момент сил, направленный в обратную сторону этого смещения, что приводит к ложной величине отклонения оси на маленький угол, зависящий от величины момента сил датчика.

В дальнейшем, планируется провести ряд экспериментов для определения чувствительности имеющегося ДУ и возможной доработке с целью увеличения точностных характеристик, уменьшения величины нулевого сигнала, который характеризует величину минимального угла отклонения, при котором датчик начинает реагировать на перемещение подвижной части датчика.

Согласно специфике конструкции разрабатываемого гироскопического устройства и предъявляемым требованиям к ДУ, наиболее подходящими аналогами для съема информации об угловом положении ротора, могут оказаться емкостные и оптические ДУ.

Принцип действия ДУ емкостного типа основан на изменении электрической ёмкости от взаимного расположения обкладок конденсатора или от свойств среды, в котором накапливается энергия электрического поля [3]. Основным недостатком данного типа ДУ является сложность его реализации, поскольку для получения требуемой точности, необходимо разместить обкладки датчика угла таким образом, чтобы шаровой ротор находился между ними, причем, чем ближе они будут расположены к нему, тем выше будет точность.

Еще одним недостатком ДУ емкостного типа является возможное изменение параметров рабочей среды (потока воздуха, плотности и т.д.) при вращении ротора, что существенно скажется на выходном сигнале. Но, несмотря на ряд имеющихся недостатков, данный тип датчика угла подходит под выше представленные требования; точность емкостного ДУ может оказаться достаточной.

Еще одним потенциальным вариантом ДУ является оптический датчик, который по виду выходной информации подразделяется на следующие типы: накапливающие и абсолютные. Накапливающие ДУ, на выходе формируют импульсы, по которым принимающее устройство определяет текущее положение ротора путем подсчета числа импульсов счётчиком. Для определения направления вращения ротора применяются два измерительных канала («синусный» и «косинусный»), в которых идентичные последовательности импульсов сдвинуты на  $90^\circ$  относительно друг друга [4]. В момент включения оптического ДУ накапливающего типа положение ротора неизвестно. Для привязки к началу отсчета, инкрементные датчики имеют нулевые метки, через которые нужно пройти после подачи питания. К недостаткам такого типа датчиков углового положения относится то, что невозможно определить пропуск импульсов от ДУ. Это приводит к накоплению ошибки определения угла поворота ротора до тех пор, пока не будет пройдена нуль-метка.

Абсолютные ДУ имеют на выходе сигналы, которые можно однозначно интерпретировать как углы поворота ротора относительно опорной системы координат связанной с корпусом прибора. Датчики угла этого типа не требуют привязки системы отсчёта к какому-либо нулевому положению. Для реализации данного типа оптического ДУ последующая доработка шарового ротора не потребуется. Для снятия информации об угловом положении оси вращения необходимо будет нанести специальное покрытие. В этом и состоит исключительное преимущество данного типа ДУ, поскольку любые дополнительные включения, а также наличие сквозного отверстия у шарового ротора может привести к разбалансировке и последующим паразитным вибрациям. Но основным недостатком такого типа ДУ является сложность его изготовления для двухкоординатного измерения.

Рассмотрев принципы действия, достоинства и недостатки трех различных типов датчиков съема информации об угловом положении ротора гироскопического устройства, можно сделать следующие выводы. Проектирование емкостных ДУ является одной из наиболее сложных задач. Для получения максимальной чувствительности такого типа датчика необходимо провести некоторые доработки с ротором, что значительно усложнит процесс его изготовления. Но, несмотря на эти конструктивные изменения,

точность данного типа датчика все же может не соответствовать требуемой. Для подтверждения данного предположения необходимо провести ряд теоретических и экспериментальных исследований.

Оптический тип ДУ, по сравнению с индукционным типом датчика угла, имеет более высокую точность. Также, быстродействие оптического ДУ на порядок выше, чем у индукционного, в связи с оптическим излучением в среде менее плотной, чем среда магнитной цепи. Но этот тип датчика, также как и емкостный, можно отнести к наиболее сложнореализуемым.

Индукционный тип ДУ, по ряду своих параметров, подходит для решения поставленной задачи: здесь нельзя не отметить его относительную простоту, невысокую стоимость и малые габариты. Но данный тип ДУ имеет свои, описанные ранее недостатки, которые в оптических датчиках углового положения отсутствуют.

На основании проведенного анализа представленных типов ДУ, можно сказать о том, что для решения поставленной задачи наиболее предпочтительными являются оптический и индукционный датчики угла. В дальнейшем, будет разработана конструкция оптического ДУ, рассчитаны его основные параметры, с целью применения его в качестве альтернативы индукционному датчику угла. Обеспечение наиболее подходящего типа ДУ для разработанной конструкции шарового гироскопа является основным результатом исследовательской работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников П.В., Васильченко Р.А. Теоретическое исследование основных элементов шарового гироскопа // Материалы VII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум». – (<http://www.scienceforum.ru/2016/1552/25044>).
2. Игнатовская А.А. (Кузьма А.А.) Датчик углового положения ротора макета шарового гироскопа // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2013. –Т. 1. –с. 175-177. – (<http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2013/C01/V1/087.pdf>).
3. В. И. Добреньков. Датчик емкостной угла поворота, А.С № 905630. Бюллетень «Открытия и изобретения» №6 – 1982.
4. Прокопенко О.В. Абсолютная линейная измерительная система//Справочник заказчика. – (<http://mail.8testov.ru/books/16171-absolyutnaya-lineynaya-izmeritelnaya-sistema.html>).

**УСТРОЙСТВО КОМПЕНСАЦИИ МОМЕНТА ТРОГАНИЯ В УПРАВЛЯЮЩИХ ДВИГАТЕЛЯХ- МАХОВИКАХ**

Пасько В.А., Завьялова О.Ю.

Научный руководитель: Завьялова О.Ю., доцент, к.т.н.

Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полюс»

Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в», 634050

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: paskovasiliy@mail.ru

**COMPENSATION DEVICE OF BREAKAWAY TORQUE OF REACTION WHEEL ASSEMBLY**

Pasko V.A., Zavyalova O.Yu

Scientific Supervisor: Associate Prof., Ph.D., Zavyalova O.Yu

JSC «Scientific & Industrial Centre «Polyus»

Russia, Tomsk, Kirova str., 56v, 634050

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: paskovasiliy@mail.ru

*Статья посвящена разработке устройства компенсации момента трогания в управляющих двигателях-маховиках. В статье анализируются проблемы, связанные с возникновением явления момента трогания в двигателях. Автором предлагаются пути решения данной проблемы, а так же рассматриваются преимущества и недостатки каждого из них. В результате было предложено устройство, которое позволяет снизить момент трогания управляющих двигателей-маховиков и исключить зону нечувствительности к малым управляющим сигналам, описана его структура и представлен краткий алгоритм работы такого устройства. Оценка результатов была произведена на испытательном стенде, представляющем собой имитационную модель управляющего двигателя-маховика.*

*The article is devoted to the development of compensation device of breakaway torque of reaction wheel assembly. The article analyses the problems associated with the emergence of phenomenon of breakaway torque in reaction wheel assembly. The author suggests ways of solving this problem, as well as discusses the advantages and disadvantages of each of them. As a result, it was suggested the device which reduces breakaway torque of reaction wheel assembly and exclude the dead zone in range of small signals, described its structure and provides an algorithm for such a device. Evaluation of the results was carried out on a test bench, which represent a simulation model of reaction wheel assembly*

На современных космических аппаратах (КА) получила широкое распространение активная трехосная система ориентации и стабилизации на основе комплекса управляющих двигателей-маховиков (УДМ). Управление ориентацией осуществляется за счет перераспределения кинетического момента между исполнительным органом и корпусом КА. Основными обобщенными характеристиками УДМ являются область требуемого кинетического момента  $H(t)$ , пропорционального угловой скорости, и область требуемого динамического момента  $M_d(t)$ , определяемые динамикой КА [1].

УДМ должен обеспечивать динамический момент, пропорциональный сигналу управления  $N_y$ , который вырабатывается устройствами системы ориентации и стабилизации в процессе отработки заданного положения КА и может изменяться в широких пределах от  $-N_{y\max}$  до  $+N_{y\max}$ , проходя через нулевое значение. Значение динамического момента определяется согласно выражению

$$M_d(t) = k_m N_y(t)$$

где  $k_m$  – коэффициент пропорциональности.

Свободному вращению УДМ препятствует момент сопротивления  $M_c(t)$ , представляющий собой сложную функцию угловой скорости. Электродвигатель УДМ физически создает электромагнитный момент  $M_{эм}(t)$ , поэтому принудительное вращение определяется двумя моментами:

$$M_d(t) = M_{эм}(t) - M_c(t) \quad (1)$$

Момент сопротивления  $M_c(t)$  относится к числу основных характеристик УДМ, нелинейно зависит от частоты вращения и содержит две составляющие:

$$M_c(t) = M_T(t) + k_c\Omega(t),$$

где  $M_T(t)$  – момент трогания;  $k_c$ – коэффициент момента сопротивления.

Особенно сильное влияние на динамику КА оказывает момент трогания УДМ, так как при нулевых и малых угловых скоростях вращения УДМ он является основной составляющей момента сопротивления. Момент трогания обусловлен наличием трения в шарикоподшипниковых опорах, контактными и общими деформациями соприкасающихся тел, макро- и микрогеометрией поверхностей качения, свойствами смазки, окружающей рабочие элементы подшипника, и физическими свойствами материалов контактирующих пар.

Влияние момента трогания наиболее сильно выражено при остановке УДМ. В момент начала вращения маховика момент трогания значительно превышает момент сопротивления на малых скоростях и сильно зависит от длительности остановки. Согласно экспериментальным данным, при смене направления вращения УДМ и переходе через нуль момент трогания становится меньше, но по-прежнему превышает момент сопротивления при малых угловых скоростях.

Можно выделить два подхода к снижению момента трогания УДМ: конструктивными мерами и с помощью формирования закона управления [2].

Конструктивные меры включают в себя дополнительные вибро-шумовые испытания и контроль геометрии подшипников, контроль вязкости закладываемой смазки, снижение давления на опоры подшипникового узла. Однако перечисленные меры не могут полностью исключить момент трогания, что приводит к необходимости использования законов управления, учитывающих поведение маховика возле нуля.

Из выражения (1) видно, что если формировать сигнал управления, используя в качестве обратной связи измеренный динамический момент (прямой способ управления моментом), влияние момента сопротивления, в том числе и момента трогания, полностью компенсируется. Однако такой способ управления моментом трудно технически реализуем.

Более прост косвенный способ, при котором регулирование динамического момента осуществляется регулированием электромагнитного момента в соответствии с выражением  $M_{эм}(t) = k_m N_y$  с учетом измеренного значения момента сопротивления. В данной работе предлагается способ компенсации момента трогания УДМ при косвенном способе управления.



Рис. 1. Функциональная схема устройства компенсации момента трогания

Устройство компенсации момента трогания (рис. 1) состоит из следующих функциональных блоков: DET  $N_y$  – детектор наличия управляющего кодового сигнала ( $N_y$ ); DET  $\Omega$  – детектор, отслеживающий угловую скорость маховика; INT – счетчик-интегратор; SM – блок сумматоров.

Принцип работы устройства (рис. 2) состоит в следующем. В каждый момент времени оно отслеживает угловую скорость УДМ и значение управляющего сигнала. При угловой скорости  $\Omega$ , отличной от нулевой, и наличии кодового сигнала управления  $N_y$  схема пропускает его без изменений. В случае остановки УДМ на входе блока DET  $\Omega$  появляется информация о нулевой угловой скорости, при этом с его выхода выдается разрешающий импульс, который поступает в блок управления и синхронизации. При появлении на входе блока DET  $N_y$  управляющего сигнала на выходе появляется импульс, по которому разрешается работа счетчика-интегратора INT и устанавливается соответствующее время счета.

На выходе счетчика-интегратора INT через равные промежутки времени появляется сигнал компенсации  $N_{\text{комп}}$ , который в блоке сумматора складывается с исходным сигналом управления  $N_y$ , и результат сложения  $N_{\text{рез}}$  поступает регулятор электромагнитного момента УДМ. В случае если результирующего сигнала недостаточно для начала вращения, то через время, определяемое значением исходного сигнала  $N_y$  происходит приращение сигнала  $N_{\text{комп}}$ .

Последовательное приращение результирующего сигнала  $N_{\text{рез}}$  будет происходить до момента появления сигнала угловой скорости  $\Omega$  и начала движения, т.е. до момента, когда результирующий сигнал  $N_{\text{рез}}$  и соответствующий ему динамический момент становятся равны моменту трогания. Затем происходит снижение сигнала  $N_{\text{комп}}$  до нуля и блокировка его прохождения на вход сумматора. Время  $t_1$  между подачей исходного сигнала  $N_y$  и началом вращения обусловлено приращением сигнала компенсации до нужного уровня и временем, необходимым для фиксирования начала движения с помощью сигнала обратной связи по скорости.

Поскольку момент трогания больше, чем момент сопротивления при низких значениях кинетического момента, т.е. при низких угловых скоростях, разработанное устройство позволит преодолеть момент трогания и отключится, а УДМ будет продолжать вращение при текущем значении кодового сигнала управления. В УДМ без компенсации момента трогания в этом случае происходит полная остановка до того момента пока, устройства системы ориентации и стабилизации не выдадут на вход УДМ сигнал управления, больший, чем момент трогания. Таким образом, введение устройства компенсации момента трогания исключает зону нечувствительности к малым сигналам управления, т.е. снижает момент трогания УДМ, при этом оно достаточно просто в реализации.

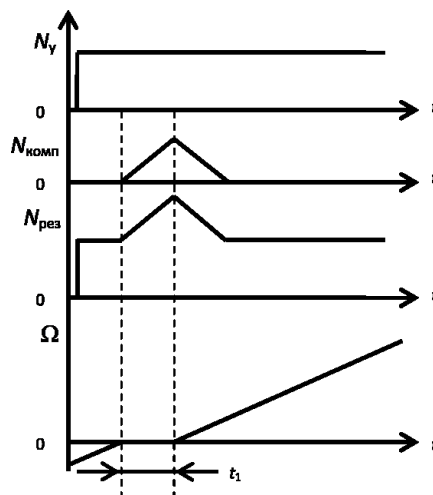


Рис. 2. Входные и выходные сигналы устройства компенсации момента трогания при малом сигнале управления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завьялова О.Ю. Разработка и исследование высокоточных регуляторов электромеханических исполнительных органов систем ориентации и стабилизации космического аппарата: дис. канд. техн. наук: 05.09.03. Томск, 2013.
2. Завьялова О.Ю., Казанцев Ю.М. Синтез регулятора маховичного электромеханического исполнительного органа // Изв. Том. политехн. ун-та. 2012. Т.320, № 4. С. 162–166.

**ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ КОММУТАТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ РЕДУКЦИЕЙ**

Пенкина Т.Ю., Курбатов Е.М.

Научный руководитель: Малышенко А.М., профессор, д.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва»

Россия, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52, 662972

E-mail: pentan-1987@mail.ru

**DEVELOPMENT OF THE SWITCH BOARD'S MODEL FOR CONTROL OF THE SYNCHRONOUS MOTOR WITH AN ELECTROMAGNETIC REDUCTION**

Penkina T.Y., Kurbatov E.M.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Malishenko A.M.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

JSC Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems

Russia, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Lenin str., 52, 662972

E-mail: pentan-1987@mail.ru

*Рассматриваются компоненты системы наведения антенн, разработанные предприятием АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва» для серии современных космических аппаратов «Луч-5». Рассматривается схема управления синхронным двигателем с электромагнитной редукцией индукторного типа с расщеплёнными обмотками. Решается задача исследования гармонического состава сигнала коммутатора в каждой полупазе двигателя, при помощи разложения сигнала в ряд Фурье. Исследование проводится в математическом пакете MathCad. Результаты представлены в виде графиков положительных полуволн сигнала с разным набором точек. Предложена аналитическая модель коммутатора для управления синхронным двигателем с электромагнитной редукцией, включающая в себя: источник тока, сопротивление нагрузки, сопротивление шунта и индуктивность обмотки двигателя. Модель позволяет модифицировать сигналы, что необходимо для дальнейших исследований системы наведения антенн спутника.*

*Components of the antennas guidance system are developed JSC Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems for series of modern spacecrafts «Loutch-5» have been considered. The control's scheme of the synchronous motor with an electromagnetic reduction of inductor-type with the split windings have been considered. The research problem of harmonious structure of the switchboard's signal in each semi-phase of the motor by means of the signal's decomposition of the signal in Fourier series have been solved. The research is conducted in a mathematical package MathCad. Results are presented in the view of diagrams of positive signal's half waves with different set of points. The analytical switchboard's model for control of the synchronous motor with an electromagnetic reduction, which including current source, load resistance, resistance of the shunt and inductance of the motor's winding have been introduced. The model allows to modify signals, that is necessary for further researches of the satellite's antennas guidance system.*

В настоящее время для обмена информацией с низколетящих объектов на космический аппарат (КА) устанавливается система наведения антенн (СНА) [1]. Для управления антеннами серии спутников «Луч-5», разрабатываемых АО «ИСС», используется трёхфазный синхронный электродвигатель с электромагнитной редукцией (СДЭР) индукторного типа, схема которого представлена на рис. 1.



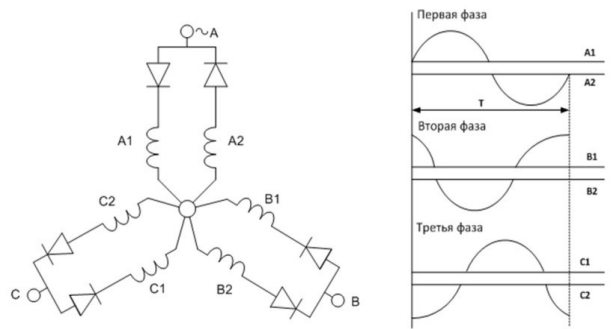


Рис. 1. Схема СДЭР

Питание обмоток двигателя осуществляется от генератора тока, схема которого представлена на рис. 2.

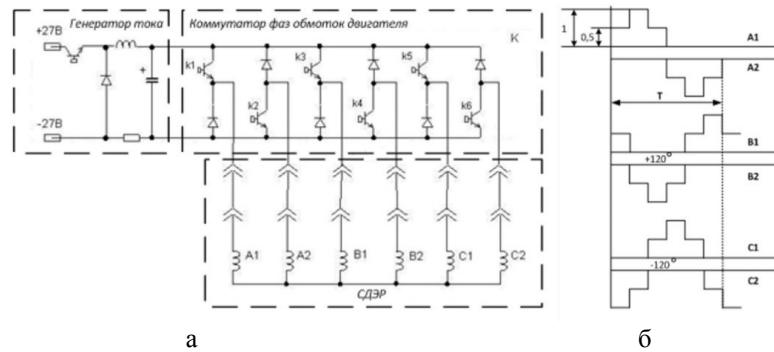


Рис. 2. Схема подключения электродвигателя к коммутатору  
а-схема подключения, б-диаграмма тока в ключах коммутатора

С целью замены дискретного сигнала коммутатора аналитическим выражением, была поставлена задача исследования гармонического состава сигнала в каждой полуфазе двигателя при помощи разложения в ряд Фурье [2].

В работе рассматривается сигнал, представленный наборами в 36 и 72 точки до 18 гармоники. С целью минимизации трудозатрат все расчёты выполняются при помощи программного пакета MathCad [3]. На рис. 3 и 4 представлены результаты исследования для положительной полуволны сигнала в 36 и 72 точки.

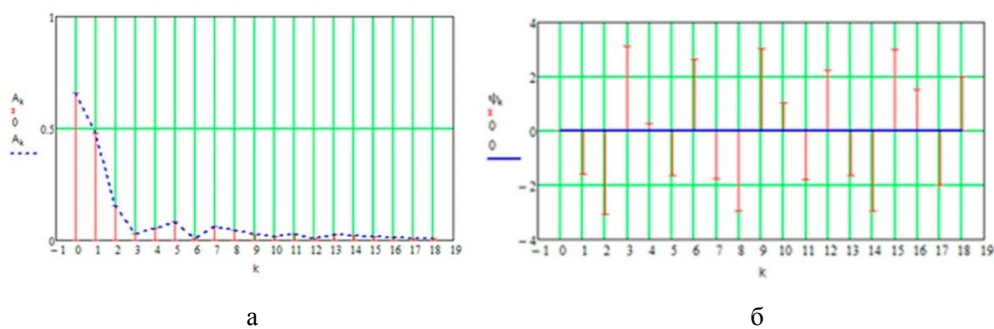


Рис. 3. Гармонический состав положительной полуволны сигнала (36 точек)  
а – амплитуда гармоник; б – фаза гармоник

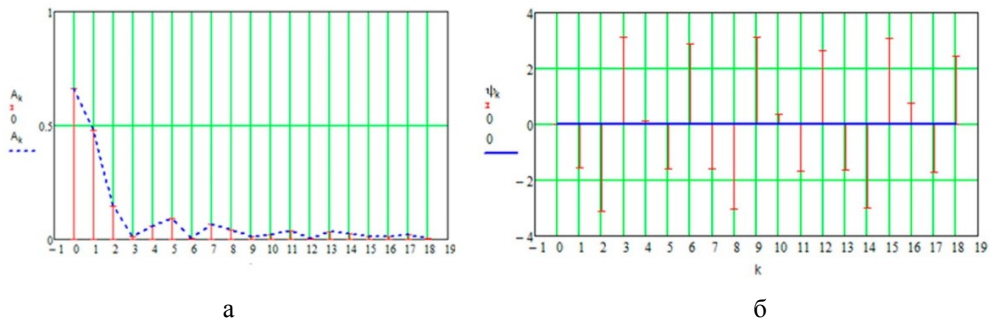


Рис. 4. Гармонический состав положительной полуволны сигнала (72 точки)

*a* – амплитуда гармоник; *б* – фаза гармоник

Аналогично получены результаты исследования для отрицательных полуволн с разным набором точек.

Основной вклад спектрального синтеза определяет гармонический ряд до шестой гармоники, что позволяет провести усечение с целью упрощения модели (рис. 5).

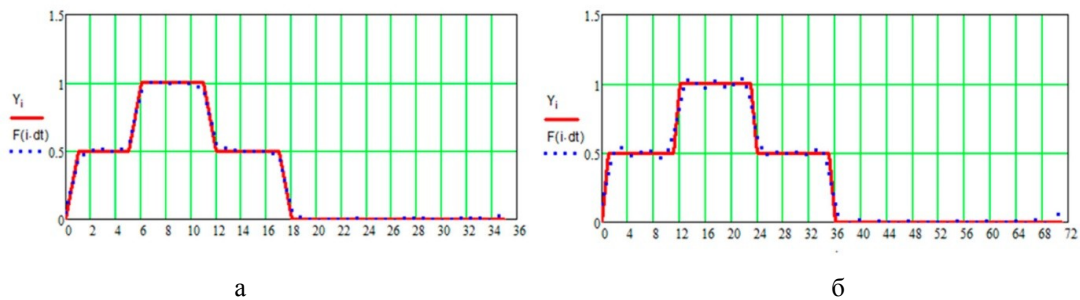
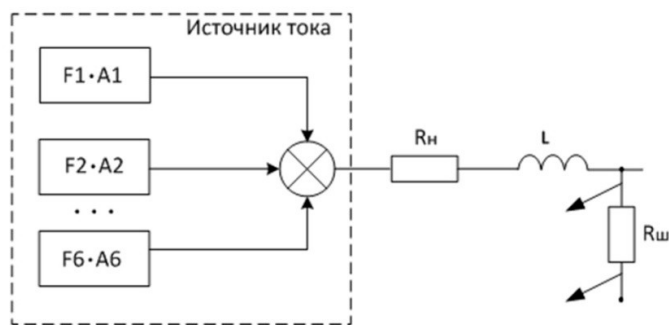


Рис.5. Спектральный синтез сигнала с учётом 0, 1, 2, 3, 4, 5 и 6 гармоник

*a* – положительная полуволна в 36 точек; *б* – положительная полуволна в 72 точки

Сопоставление приведённых графиков показывает, что увеличение количества точек не влияет на гармонический состав сигнала, что позволяет в дальнейшем рассматривать сигнал количеством в 36 точек.

Таким образом, полученный спектральный анализ и синтез дискретного сигнала позволяет составить аналитическую модель коммутатора для управления СДЭР (рис.6).



$F1, F2...F6$  - управляющие частоты;  $A1, A2...A6$  - амплитуды полуволн сигнала;

$Rн$  - сопротивление нагрузки;  $L$  - индуктивность обмотки двигателя;  $Rш$  - сопротивление шунта.

Рис. 6. Аналитическая модель коммутатора для управления СДЭР

Рассматриваемая модель позволит меня спектральный состав модифицировать сигналы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пенкина Т.Ю. Построение модели синхронного двигателя с электромагнитной редукцией индукторного типа // 12-я международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» (Томск, 11-14 ноября 2014 г.): сборник трудов. Томск: Издательство ТПУ.- т.1, 2014. С.351–352.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Высшая школа, 1996. - 580 с.
3. Майер Р.В. Изучение метода гармонического анализа и синтеза с помощью пакета MathCad. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fmaier-gv.glazov.net%2FGarmanaliz.pdf&name=Garm-analiz.pdf&lang=ru&c=5642aacace95>, (дата обращения 06.10.2015).

#### **МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С МАССИВНЫМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ РОТОРОМ В РЕЖИМЕ МИНИМАЛЬНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ**

Плеханов М.С.

Закрытое акционерное общество «Томский приборный завод»

Россия, г. Томск, ул. Высоцкого, 28, стр. 3, 634040

Научный руководитель: Голиков А.Н., зав. лабораторией кафедры ТПС ИНК ТПУ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

E-mail: plehanovms@tpu.ru

#### **MODEL OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC ENGINE WITH MASSIVE FERROMAGNETIC ROTOR IN MINIMUM SLIP MODE**

Plechanov M.S.

Close corporation "Tomsk Instrument Plant"

Russia, Tomsk, Vysotsky str., 28, bul. 3; 634040

Scientific Supervisor: Golikov A.N., head of the laboratory of Instrument making department

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: plehanovms@tpu.ru

*Рассматривается модель асинхронного электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором. Принцип работы электродвигателя основан на взаимодействии магнитного поля вихревых токов, наведенных на поверхности ротора с вращающимся магнитным полем статора. Объект исследования – натурный макет электродвигателя с экспериментально установленными рабочими характеристиками. Цель исследования – оценка характеристик электродвигателя при допущении разгона ротора в режим минимального скольжения, характерного для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при неизменных параметрах питающего напряжения. Модель полностью соответствует исходным геометрическим, электрическим и конструктивным параметрам натурального макета. Моделирование произведено в программной среде COMSOL 5.0 методом конечных элементов в модуле расчета магнитных полей постоянных и переменных электрических токов. В результате исследования получена механическая характеристика исследуемого привода, установлены зависимости фазного и поверхностного токов от скорости вращения ротора, что может быть использовано при разработке алгоритмов управления электроприводами подобной конструкции.*

*The model of an asynchronous engine with a massive ferromagnetic rotor is examined. The principle of work this engine based on the interaction of the magnetic field of the surface currents induced on the surface of the rotor with the rotating magnetic field of the stator. The object of study – real model of the engine with the experimentally established features. The purpose of research - to evaluate the features of the engine assuming the*

*rotor acceleration to a minimum slip mode, in an asynchronous engine with a squirrel cage at constant voltage. The model is fully consistent with the original geometrical, electrical and design parameters of real model. Simulation software environment made COMSOL 5.0 finite element method in the module for calculating the magnetic fields of direct and average currents. The study investigated the mechanical characteristic obtained drive phase and set depending from surface currents rotor speed that can be used in the development of electric control algorithms similar construction.*

Работа асинхронного электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором основана на взаимодействии магнитного поля вихревых токов, наведенных на поверхности ротора с вращающимся магнитным полем, создаваемым статором. Преимущества такого электродвигателя – простота конструкции, высокая кратность пускового момента к номинальному, минимальное время разгона; недостатки – сравнительно высокие энергетические потери, обусловленные наличием вихревых токов, и как следствие – номинальный режим работы обеспечивается в пределах скольжения  $0,1 \div 0,25$  ( $10 \div 25\%$ ) [1-2]. Благодаря своим преимуществам, электродвигатели с массивным ферромагнитным ротором нашли широкое применение в приводах устройств, где при сравнительно невысокой кратности пускового тока необходимо обеспечить высокую кратность пускового момента, быстрый разгон и торможение ротора [2]. Исследования такого рода электродвигателей в основном направлены на поиск методов снижения энергетических потерь и описание переходных процессов, вызванных протеканием вихревых токов в теле ротора, благодаря чему удается достичь режимов работы, обеспечивающих скольжение ротора в пределах  $0,02 \div 0,05$  [2].

Практический интерес представляют задачи физико-математического моделирования режимов работы электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором, поскольку это позволяет установить алгоритмы управления скоростью и вращающим моментом. Однако наличие вихревых токов высокой плотности, требующих сложного математического описания при моделировании и расчетах, приводит к ряду допущений и упрощений, что существенно сказывается на расхождении расчетных и экспериментальных данных режимов работы [3-4]. Использование метода конечных элементов при моделировании электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором позволяет решить поставленные задачи – применение геометрических моделей при ограниченных начальных условиях позволяет получить картину электромагнитного поля устройства, построить его рабочие характеристики.

Для исследования была выбран макет реального асинхронного электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором обращенной конструкции. Статор электродвигателя (рис. 1) – от серийно выпускавшегося синхронного гистерезисного гиromотора обращенной конструкции с газодинамическими опорами ротора, где в момент запуска действует сравнительно высокий момент сил сухого трения. Ротор (рисунок 1) – в виде стакана из магнитомягкого материала (сталь ШХ15) с индукцией насыщения 1,255 Тл при напряженности магнитного поля 2500 А/м. В качестве опорного узла в макете (рис. 2) используется асинхронный исполнительный двигатель с полым малоинерционным немагнитным ротором типа АДП-402, при подключении обмоток возбуждения к источнику напряжения 24 В, 1000 Гц, а обмоток управления к вольтметру или осциллографу, имеется возможность построения графиков разгона и выбега ротора, расчета пускового и номинального моментов. Для моделирования используется поперечное сечение макета, соединение и укладка фазных обмоток в пазах полностью соответствуют электрической схеме статора.

Цель моделирования – определить вид характеристик двигателя при допущении разгона ротора в номинальном режиме до скорости 58 000 об/мин (966,67 об/с), что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к асинхронным двигателям наиболее распространенных конструкций [1]. Исходные данные для моделирования приведены в таблице 1. Решение задачи осуществляется в программе COMSOL 5.0, модуле расчета магнитных полей переменного тока. Допущенные упрощения при моделировании – каждая

секция представляется отдельным проводником, соответствующему отдельной катушке. В процессе расчетов не учитываются аэродинамические моменты и моменты реакции в опорах, т.о. рассчитываются рабочие характеристики в режиме холостого хода.



Рис. 1. Статор и ротор двигателя



Рис. 2. Макет двигателя

Таблица 1. Исходные данные для моделирования

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	40
Число фаз	3
Частота питающего напряжения, Гц	1000
Моделируемая номинальная скорость ротора, об/мин (об/с)	58 000 (966,6)
Число пазов статора	18
Число пар полюсов	1
Материал статора (сплав)	49К2ФА-ВИ
Диаметр обмоточного провода (по меди), мм	0,16
Количество катушек на фазу	6
Количество катушек в пазу	2
Число проводников в пазу	56
Относительная магнитная проницаемость материала статора	3947
Материал ротора	ШХ15
Относительная магнитная проницаемость материала ротора	399
Внутренний диаметр ротора, мм	32
Величина воздушного зазора, мм	0,15
Момент инерции ротора в сборе с опорным узлом, г·мм <sup>2</sup>	9,0
Длина пакета статора и активной зоны ротора, мм	5

В результате моделирования были получены картины магнитного поля двигателя в диапазоне скоростей  $0 \div 58\,000$  об/мин. Картины магнитного поля при скорости ротора 0 об/мин и 58 000 об/мин показаны на рис. 3 и 4 соответственно.

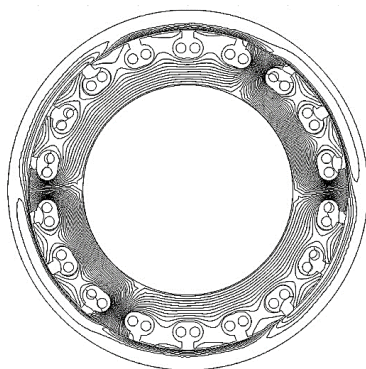


Рис. 3. Картина магнитного поля при нулевой скорости ротора

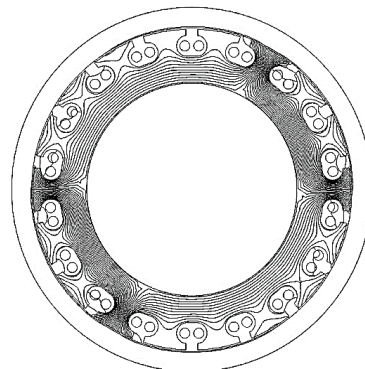


Рис. 4. Картина магнитного поля при скорости ротора 58 000 об/мин

Как видно из рис. 3 и 4, в первоначальный момент времени при скорости ротора равной 0, глубина проникновения вихревых токов максимальна, при выходе на номинальный режим работы с установившейся скоростью, вихревые токи вытесняются в тонкий поверхностный слой, создавая магнитный поток, приводящий к смещению плотности силовых линий индукции в зазоре, что полностью соответствует правилу Ленца [4].

Механическая характеристика и зависимость фазного тока от скорости ротора показаны на рис. 5 и 6 соответственно.

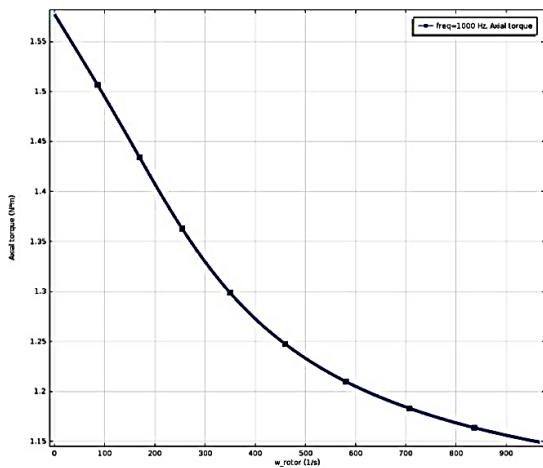


Рис. 5. Моментная характеристика двигателя

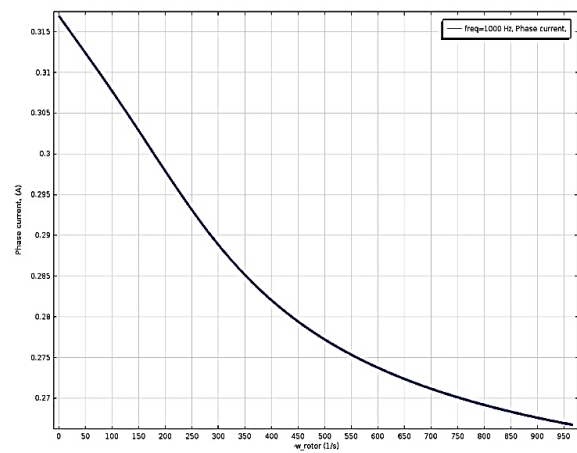


Рис. 6. Зависимость фазного тока от скорости ротора

Как видно из рис. 5 и 6, пусковой момент равен 1,57 Н·м, и при выходе двигателя на номинальный режим работы снижается до 1,15 Н·м, в то время как пусковой ток равен 317 мА и снижается до 265 мА соответственно. Расчетные данные позволяют утверждать, что при допущении разгона ротора до 58 000 об/мин кратность пускового тока и момента находятся примерно в равных значениях, при этом пусковой ток и момент при выходе на номинальный режим работы снижаются незначительно.

Наибольший интерес при расчетах представляет плотность вихревого тока, наведенная на поверхности ротора. Зависимость плотности тока на поверхности ротора от скорости вращения показана на рис. 7.

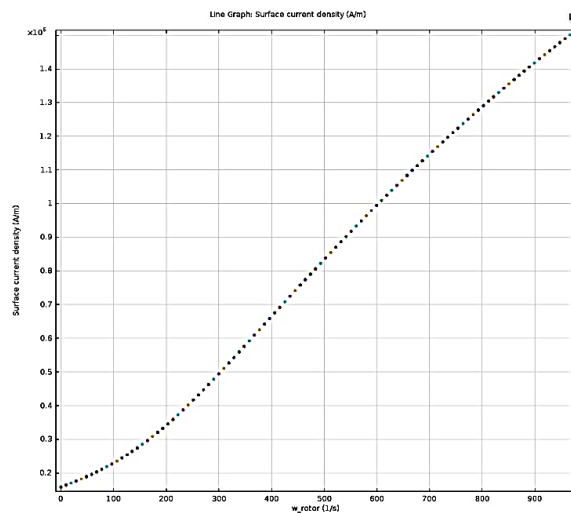


Рис. 7. Зависимость плотности вихревого тока от скорости ротора

Как видно из рис. 7, при достижении ротором скорости 58 000 об/мин, плотность вихревого тока концентрируется в тонком поверхностном слое и достигает значения в номинальном режиме  $1,5 \cdot 10^6$  А/м. При этом плотность тока не превышает значений, рассчитанных для существующих конструкций асинхронных электродвигателей с массивным ферромагнитным ротором схожих габаритов [1-2]. Однако такая достаточно высокая плотность вихревых токов, сосредоточенная в малом объеме может привести к значительному нагреву ротора, что также негативно сказывается на энергетических и рабочих характеристиках.

В результате моделирования установлено, что разгон массивного ферромагнитного ротора возможен до скорости, приемлемой для гироскопического двигателя как носителя кинетического момента. При этом такие рабочие характеристики как вращающий момент и фазный ток в процессе разгона изменяются незначительно, что важно для поддержания стабильности скорости ротора в номинальном режиме работы. Пусковой ток в таком случае не превышает значений, установленных для серийно выпускаемых синхронных и асинхронных гироскопических электродвигателей [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрущев В.В. Электрические микромашины автоматических устройств. - Л.: «Энергия», 1976. – 384с.
2. Куцевалов В.М. Асинхронные и синхронные машины с массивными роторами. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1979. – 160 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учебник для ВУЗов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: «Высшая школа», 2001. – 327 с.
4. Ламмеренер Й., Штафль М. Вихревые токи. Перевод с чешского. – Л., «Энергия», 1967, 208 с.
5. Гироскопические системы: Элементы гироскопических приборов: Учебник для ВУЗов по спец. «Гироскопические приборы и устройства»; Под ред. Д. С. Пельпора. – М.: Высшая школа, 1988. – 432с.

#### **ЗАВИСИМОСТЬ МАССЫ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ ЧИСЛА ВИТКОВ ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКИ**

Самодуров И.Н.

Научный руководитель: Долгих А.Г., ассистент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail:ivanovatonya@tpu.ru

#### **THE TORQUE MOTOR MASS DEPENDANCE FROM THE TAPE WINDING COIL'S NUMBER**

Samodurov I.N.

Scientific Supervisor: Assistant Dolgih A.G.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: ivanovatonya@tpu.ru

*В статье приведен расчет массы активных частей моментного двигателя в зависимости от числа витков ленточной намотки. Ленточная намотка представляет собой спирально намотанную электропроводящую ленту на немагнитную гильзу и является заменой традиционной обмотки. Применение ленточной намотки позволяет повысить удельные характеристики двигателя. Активные части моментного двигателя состоят из внешней магнитной системы, внутренней магнитной системы, гильзы и ленточной намотки. Полученные результаты, в совокупности с аналогичными исследованиями развиваемого момента и потребляемой двигателем мощности от количества витков намотки - позволят определить оптимальное количество витков ленточной намотки, при котором статическая добротность*

двигателя, представляющая собой отношение развиваемого момента к произведению квадратного корня из величины потребляемой мощности и массы двигателя, будет наибольшей.

*The paper presents the calculations of torque motor active parts mass in dependence of the tape winding coil's number. The tape winding is a spirally wound electroconductive tape on the non-magnetic tubular base. The tape winding changes the conventional winding. The application of the tape winding allows increasing the specific characteristics of the motor. The active parts of the motor consist of the outer magnetic system, inner magnetic system, tubular base and tape winding. The obtained results together with the similar studies of torque and power consumption from the tape winding coil's number allow determining the optimum coil's number. In this case the Q-factor of the motor will be the greatest.*

Одним из основных параметров моментного двигателя является статическая добротность [1, 2], представляющая собой отношение развиваемого момента к произведению квадратного корня из величины потребляемой мощности и массы двигателя. Данная работа представляет собой поиск зависимости массы активных элементов от числа витков намотки ленточного моментного двигателя, принцип действия и конструктивные особенности которого приведены в ряде источников [3, 4].

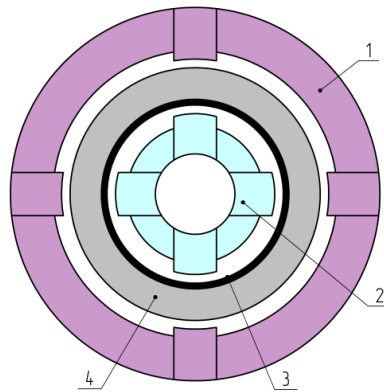


Рис. 1. Активные элементы моментного двигателя: 1 - внешняя магнитная система; 2 - внутренняя магнитная система; 3 - гильза; 4 - ленточная намотка

В некоторых случаях моментные двигатели имеют модульную конструкцию, т.е. двигатель производится в виде отдельных узлов (статора и ротора), которые устанавливаются в конструкции привода по специальным требованиям. Предполагается, что разрабатываемый двигатель относится к подобным. В связи с этим, будем рассматривать массу только активных элементов, к числу которых отнесем магнитную систему возбуждения и ленточную намотку, нанесенную на основание-гильзу.

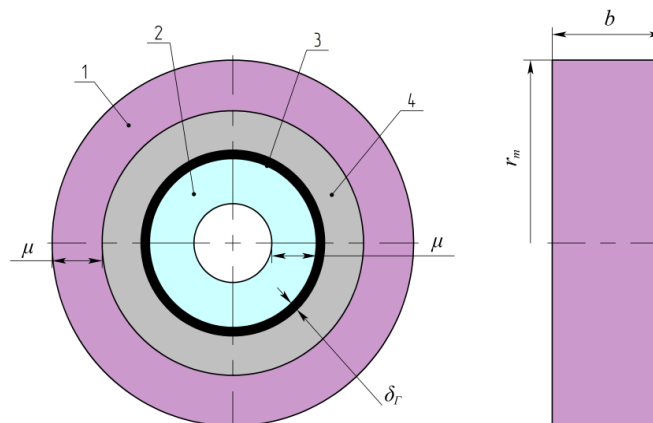


Рис. 2. Упрощенная структура расположения активных элементов



Совокупность активных элементов моментного двигателя с ленточной намоткой представим в виде рис. 1. Упрощенно структура расположения активных элементов показана на рис. 2. Обозначения отдельных элементов соответствует пояснениям на рис. 1.

К числу исходных данных относятся максимальный радиус активных частей двигателя  $r_m$ , ширина ленты намотки и размеры магнитных систем в осевом направлении, равные  $b$ . Внешняя и внутренняя магнитные системы в радиальном направлении имеют размер  $\mu$ . Внешний радиус трубчатой гильзы, на которую нанесена ленточная намотка, равен  $r_z$ , а ее толщина -  $\delta_z$ . Механические воздушные зазоры ввиду малости их размеров считаем входящими в величину  $\delta_z$ . Толщина ленты намотки  $\Delta$  включает в себя толщины медной фольги и электрической изоляции.

Суммарную массу активных элементов двигателя определяем в виде

$$m(N) = m_{m1} + m_{m2}(N) + m_z(N) + m_n(N),$$

где:  $m_{m1}, m_{m2}$  - массы соответственно внешней и внутренней магнитных систем;

$m_z$  - масса гильзы;

$m_n$  - масса намотки;

$N$  - число витков намотки.

Определяем массу внешней магнитной системы:

$$m_{m1} = \rho_m \cdot V_1 = \rho_m \cdot b \cdot \pi \cdot [r_m^2 - (r_m - \mu)^2] = \rho_m \cdot b \cdot \pi \cdot \mu^2 \cdot \left( \frac{2r_m}{\mu} - 1 \right), \quad (1)$$

где:  $\rho_m$  - плотность материала магнитной системы;

$V_1$  - объем внешней магнитной системы.

Переходим к определению массы внутренней магнитной системы. Внешний радиус этой системы:

$$(r_z - \delta_z) = [(r_m - \mu) - \Delta \cdot N] - \delta_z = (r_m - \mu - \delta_z) - \Delta \cdot N.$$

Внутренний радиус внутренней магнитной системы:

$$(r_z - \delta_z) - \mu = (r_m - 2\mu - \delta_z) - \Delta \cdot N.$$

В приведенных выражениях  $r_z = (r_m - \mu - \Delta \cdot N)$  - внешний радиус гильзы.

В итоге масса внутренней магнитной системы определяется выражением:

$$m_{m2}(N) = \rho_m \cdot V_2 = \rho_m \cdot b \cdot \pi \cdot \{ [(r_m - \mu - \delta_z) - \Delta \cdot N]^2 - [(r_m - 2\mu - \delta_z) - \Delta \cdot N]^2 \} = 2 \cdot \rho_m \cdot b \cdot \pi \cdot \mu \cdot \Delta \cdot \left( \frac{r_m - 1,5 \cdot \mu - \delta_z}{\Delta} - N \right). \quad (2)$$

Масса гильзы:

$$m_z(N) = \rho_z \cdot V_z = \rho_z \cdot b \cdot \pi \cdot \{ [(r_m - \mu) - \Delta \cdot N]^2 - [(r_m - \mu - \delta_z) - \Delta \cdot N]^2 \} = 2 \cdot \rho_z \cdot b \cdot \pi \cdot \delta_z \cdot \Delta \cdot \left( \frac{2 \cdot (r_m - \mu) - \delta_z}{2 \cdot \Delta} - N \right), \quad (3)$$

где:  $\rho_z$  - плотность материала гильзы.

Определение массы ленточной намотки.

Масса первого слоя:  $2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n$ .

Масса второго слоя:  $2 \cdot \pi \cdot (r_1 + \Delta) \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n$ .

Масса третьего слоя:  $2 \cdot \pi \cdot (r_1 + 2 \cdot \Delta) \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n$ .

.....

Масса  $N$  - ого слоя:  $2 \cdot \pi \cdot [(r_1 + (N - 1) \cdot \Delta) \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n$ .

В данном случае  $\rho_n$  - плотность материала намотки;  $r_1 = (r_z + \frac{\Delta}{2})$  - радиус первого слоя намотки, лежащего на внешнем радиусе гильзы  $r_z$ . Суммируем массы всех  $N$  слоев:

$$m_n = 2 \cdot \pi \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n \cdot \{N \cdot r_1 + [\Delta + 2 \cdot \Delta + \dots + (N - 1) \cdot \Delta]\} = 2 \cdot \pi \cdot \Delta \cdot b \cdot \rho_n \cdot \left[ N \cdot r_1 + \Delta \cdot \frac{(N - 1) \cdot N}{2} \right] =$$

$$\pi \cdot \Delta^2 \cdot b \cdot \rho_n \cdot N \cdot \left[ N + \left( \frac{2 \cdot r_1}{\Delta} - 1 \right) \right].$$

Учитывая, что

$$\frac{2 \cdot r_1}{\Delta} - 1 = \frac{2 \cdot (r_z + \Delta/2)}{\Delta} - 1 = \frac{2 \cdot r_z}{\Delta} = \frac{2 \cdot (r_m - \mu - \Delta \cdot N)}{\Delta} = \frac{2}{\Delta} \cdot (r_m - \mu) - 2 \cdot N,$$

получаем:

$$m_n = \pi \cdot \Delta^2 \cdot b \cdot \rho_n \cdot N \cdot \left[ \frac{2 \cdot (r_m - \mu)}{\Delta} - N \right]. \quad (4)$$

Проводим суммирование всех составляющих массу активных частей двигателя, определенных выражениями (1) - (4). В итоге получаем:

$$m = \pi \cdot b \cdot \mu^2 \cdot \rho_m \cdot \left( 2 \frac{r_m}{\mu} - 1 \right) + 2 \cdot \pi \cdot b \cdot \Delta^2 \cdot \rho_n \cdot \left\{ \begin{aligned} & \left( \frac{\mu}{\Delta} \cdot \frac{\rho_m}{\rho_n} \left[ \left( \frac{r_m - \mu}{\Delta} - 0,5 \cdot \frac{\mu}{\Delta} - \frac{\delta_z}{\Delta} \right) - N \right] + \right. \\ & \left. + \frac{\delta_z}{\Delta} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_n} \cdot \left[ \left( \frac{r_m - \mu}{\Delta} - 0,5 \cdot \frac{\delta_z}{\Delta} \right) - N \right] + \right. \\ & \left. + 0,5 \cdot N \cdot \left( 2 \cdot \frac{r_m - \mu}{\Delta} - N \right) \right\} \quad (5)$$

Воспользовавшись выражениями (1), (2), (3), (4) и задаваясь такими параметрами конструкции активных элементов моментного двигателя, как  $b = 0,05$  м,  $r_m = 0,13$  м,  $\mu = 0,015$  м,  $\Delta = 10^{-4}$  м,  $\delta_z = 0,003$  м,  $\rho_m = 7,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_z = 8,93 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_n = 8,93 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> построены графики зависимостей от количества витков намотки каждой из масс, составляющих активную структуру двигателя (рис. 3). График 1 соответствует массе внешней магнитной системе, график 2 – внутренней магнитной системе, график 3 – изменению массы гильзы и график 4 – ленточной намотке. На данном рисунке кривой 5 показан результат суммирования всех масс, составляющих совокупность активных элементов.

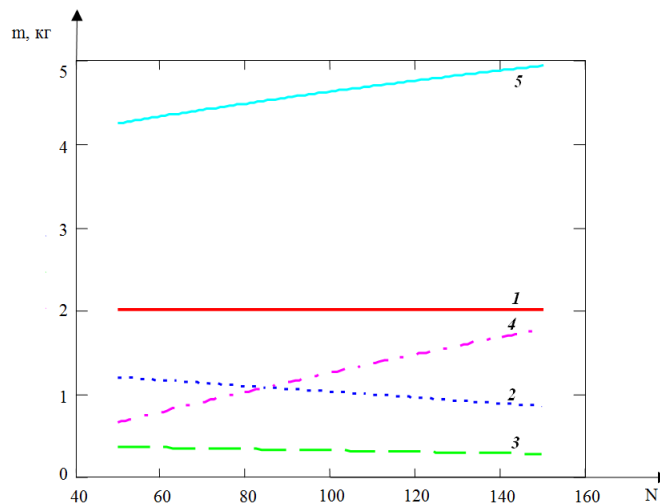


Рис. 3. Масса активной структуры двигателя от количества витков намотки

Полученные в данной работе результаты наряду с аналогичными исследованиями зависимостей развиваемого момента и потребляемой мощности от количества витков намотки позволят определить оптимальное значение витков намотки, при которых статическая добротность двигателя будет наибольшей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демагин А.В. Электрические машины для непосредственного привода приборных систем. -СПб: Научн.-произв. объединение «Азимут», 1991.- 81 с.
2. Информация о продукции ОАО «Машиноаппарат». [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://mashap.maverick.ru/MenuVert/prodinform.html> ,свободный. Загл. с экрана.
3. Моментный двигатель [Текст]: пат. 2441310 Рос. Федерация: МПК H02 K 26/00 Мартемьянов В.М., Долгих (Иванова) А.Г.; заявл. 20.08.2010; опубл. 27.01.2012, Бюл. №3. – 6 с.: ил.
4. A.G. Dolgih (Ivanova), V.M. Martemjanov. Executive unit with an active tape element for management system // 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): proceedings, Krasnoyarsk, September 12-13, 2013. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013 - p. 1-3.

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА СВЯЗИ «ГОНЕЦ-М1»  
НА БАЗЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛАТФОРМЫ «ЭКСПРЕСС-500»**

Тарлецкий И.С., Зимин И.И., Валов М.В., Яковлев А.В.  
АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва»  
Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Ленина, 52, 662972  
E-mail: tarleckiy@iss-reshetnev.ru

**DESIGN CONCEPT OF THE SMALL COMMUNICATION SATELLITE “GONETS-M1”  
BASED ON THE ADVANCED PLATFORM “EXPRESS-500”**

Tarleckiy I.S., Zimin I.I., Valov M.V., Yakovlev A.V.  
Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems  
Russia, Krasnoyarsk region, Zheleznogorsk, Lenin str.,52, 662972  
E-mail: tarleckiy@iss-reshetnev.ru

*В данной статье рассмотрены принципы построения МКА связи «Гонец-М1». МКА создаётся для обеспечения потребителей высокоинформативной, помехозащищенной и непрерывной спутниковой связью, а также для обеспечения возможности самоопределения местоположения потребителей. Основой для построения МКА является новая перспективная космическая платформа негерметичного конструктивного исполнения «Экспресс-500». МКА может выводиться на низко круговую орбиту ( $h=1500\text{км}$ ;  $i=82,5^\circ$ ) как одиночным запуском (в том числе и попутным), так и групповым запуском в составе блока до шести МКА одним пуском.*

*This paper presents the design concept of the small communication satellite “Gonets-M1». The small satellite is being created to provide the users with the high-quality, antijam and continuous satellite communication, as well as to provide the possibility of self-determination of the users’ location. The basis for the small satellite design is a new advanced unpressurized space platform “Express-500”. The small satellite could be launched into the low circular orbit ( $h=1500\text{km}$ ;  $i=82,5^\circ$ ) by single launch (including launch as a way cargo), as well as by tandem launch as a part of unit of up to six small satellites in a single launch.*

В последние годы большое внимание разработчиков космической техники стало уделяться созданию систем связи на низких круговых орбитах (НКО) с орбитальной группировкой состоящей из малых космических аппаратов (МКА). Яркими примерами систем связи на НКО служат такие системы как «Iridium», «Globalstar», «Orbcomm».

МКА обладают определенными преимуществами перед тяжелыми и крупногабаритными КА. Такими преимуществами являются:

- Сокращение расходов и рисков, связанных с разработкой, изготовлением, испытанием и эксплуатацией МКА;

- Сокращение сроков разработки (1-3 года), что не позволяет устаревать применяемым техническим решениям за время создания аппарата;
- Возможности быстрой модификации для своевременного решения различных оперативных задач;
- Сокращение стоимости вывода на орбиту, за счет возможности организации группового попутного запуска [1].

В недавнем прошлом в АО «ИСС» был разработан эскизный проект, в рамках которого спроектирован малый космический аппарат связи «Гонец-М1», являющийся частью многофункциональной системы персональной спутниковой связи и передачи данных с КА на низких орбитах «Гонец-Д1М». КА «Гонец-М1» предназначен для обеспечения потребителей высокоинформативной, помехозащищенной и непрерывной спутниковой связью, а также для обеспечения возможности самоопределения местоположения потребителей (самолетов, морских судов, других видов транспорта) и мониторинга земной и водной поверхности в реальном масштабе времени.

Конструктивно КА «Гонец-М1» состоит из двух обособленных модулей:

- Платформа (производство АО «ИСС»);
- Модуль полезной нагрузки (производство Thales Alenia Space).

Конструктивно-компоновочная схема деления КА на модули показана на рис. 1 [2].

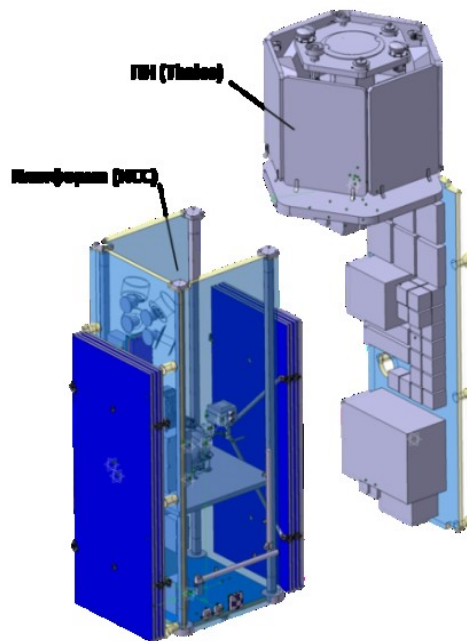


Рис. 1. Конструктивно-компоновочная схема КА «Гонец-М1»

Малый космический аппарат разрабатывается на базе новой перспективной унифицированной платформы «Эксперс-500». Космическая платформа обеспечивает создание на ее базе малых космических аппаратов различного целевого назначения со стартовой массой до 500 кг. Бортовые системы платформы построены на приборах и оборудовании, произведенных в Российской Федерации.

Основные технические характеристики платформы «Эксперс-500» приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики платформы «Экспресс-500»

Характеристика	Значение
Масса платформы, кг	300
Масса полезной нагрузки, кг	До 200
Максимальная постоянная мощность СЭП для полезной нагрузки, Вт	До 600
Конструктивное исполнение	Негерметичное
Тип ориентации	Трехосная активная
Точность ориентации не хуже, град	
– крен	±3
– тангаж	±3
– рыскание	±3
Частоты командных радиолиний, МГц:	
- Земля – КА	5150 ÷ 5250
- КА – Земля	6700 ÷ 7025
Скорость передачи данных по командной радиолинии, кбит/с	
- Земля - КА	16 или 32
- КА - Земля	0,5 или 1, или 2
САС, лет	10
Орбита функционирования	Низкая круговая 1500 км, наклонение 82,5°
Средства выведения	РКН «Рокот», РН «Союз-2» этапа 1в РН «Союз-2» этапа 1а РН «Ангара-1.2»

Корпус платформы представляет собой пространственную конструкцию негерметичного конструктивного исполнения, состоящую из четырех силовых стоек размещенных в виде прямоугольной призмы с закрепленными на них трехслойными алюминиевыми сотовыми панелями. Наиболее тепловыделяющая аппаратура размещается на панелях  $\pm Z$  с встроенными тепловыми трубами.

Платформа имеет в своем составе БКУ разработанный на базе БКУ «Контур», вобравшего в себя опыт передовых разработок АО «ИСС» в части создания КА с высоким уровнем автономности и живучести, с модернизацией аппаратных и программных средств, выполненных с учётом современных требований и требований проекта.

В платформе «Экспресс-500» применена активная трехосная система ориентации и стабилизации. Такое техническое решение позволяет эффективнее ориентировать крылья батарей солнечных на Солнце.

Платформа имеет в своем составе систему коррекции на базе термokatалитической двигательной установки с массой заправляемого топлива до 5 кг, что позволяет обеспечить срок активного существования аппаратов на базе платформы не менее 10 лет на НКО высотой 1500 км.

Система электропитания платформы обеспечивает непрерывное питание полезной нагрузки МКА мощностью 600 Вт, на всем витке. [3]

Внешний вид МКА «Гонец-М1» в рабочем положении показан на рисунке 2.

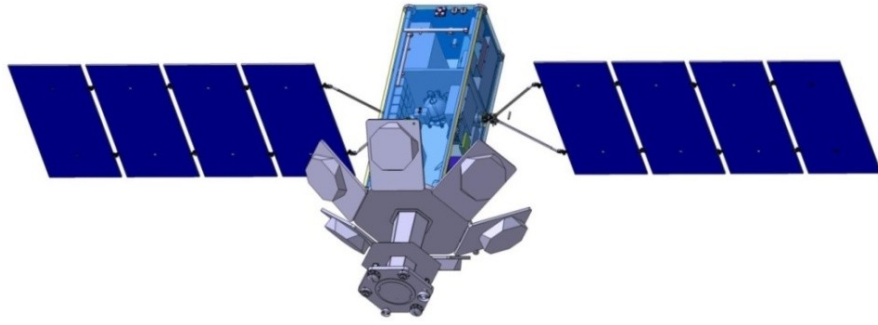


Рис. 2. МКА «Гонец-М1» в рабочем положении

Малый космический аппарат «Гонец-М1» может выводиться на орбиту функционирования как одиночным запуском (в том числе и попутным), так и групповым запуском в составе блока до шести МКА одним пуском. Варианты выведения блока из двух МКА, блока из трех МКА и блока из шести МКА показаны на рисунке 3.

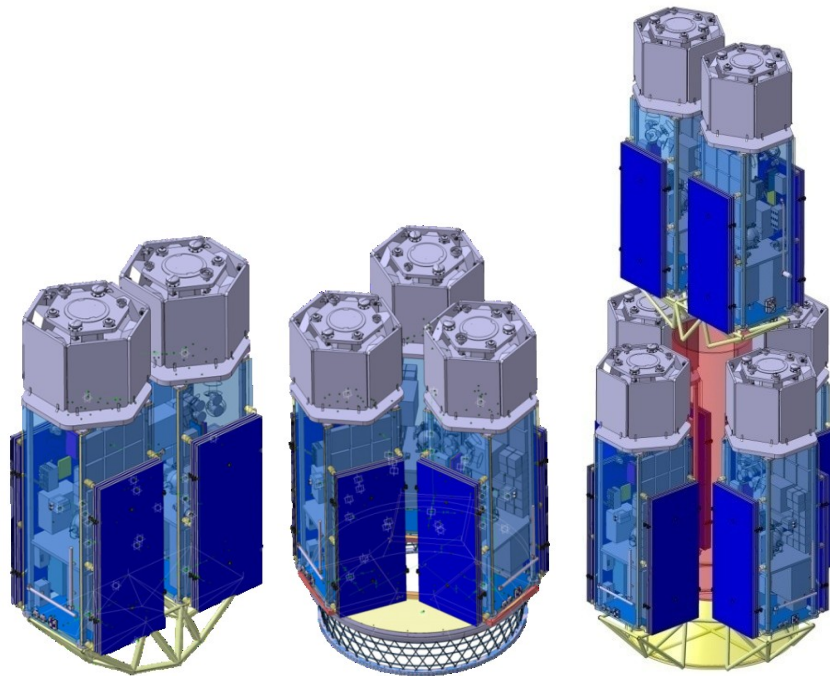


Рис.3. Блок из 2 двух МКА «Гонец-М1», блок из трех МКА«Гонец-М1» и блок из шести МКА «Гонец-М1»

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звездин И. А. Малые космические аппараты: перспективы рынка[Электронный ресурс].Режим доступа:[http://www.telenir.net/transport\\_i\\_aviacija/vzlyot\\_2005\\_01/p75.php](http://www.telenir.net/transport_i_aviacija/vzlyot_2005_01/p75.php). (дата обращения: 28.10.2013).
2. Чеботарев В.Е Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения: учеб. Пособие / В.Е. Чеботарев, В.Е. Косенко; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т.-Красноярск, 2011.-488с., с. ил.
3. Технология производства космических аппаратов : учебник / Н.А. Тестоедов, М. М. Михнев, А. Е. Михеев и др.; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2009. – 352 с.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРА ВИДЕОКАМЕРЫ**

Татарников Е.В.

Научный руководитель: Гурин Л.Б., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: egor13121994x@mail.ru

## **DESIGNING A STABILIZER FOR CAMCORDER**

Tatarnikov E.V.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D., Gurin L.B.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: egor13121994x@mail.ru

*Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме: уменьшение угловых движений камеры для предотвращения смазывания изображения «эжшн» камер, которые с каждым днем пользуются все большей популярностью. Рассмотрены различные методы стабилизации и разработана система стабилизации «эжшн» камеры. В результате проведенного анализа технологий компенсации колебаний камеры был найден наиболее подходящий способ стабилизации. Результатом работы стало конструирование стабилизатора для «эжшн» камеры. Подробно рассмотрена конструкция спроектированного устройства, приведено описание всех элементов, использованных для создания данного прибора. Изложен принцип действия стабилизатора в трех основных режимах: режиме следования камеры за поворотом основания, режиме стабилизации камеры относительно заданного положения визирного луча и режиме ручного управления с помощью кнопок задающего устройства.*

*The article is dedicated to a problem of today's current interest: the reduction of angular movements of a camera to avoid blurred images of action camera that nowadays becomes increasingly popular. In the paper it puts tasks to consider the various methods of stabilization and to develop a system for stabilizing of action camera. The most appropriate way for stabilization was found in the result of analysis of compensate technologies for camera shake. As a result, the stabilizer for the action camera was constructed. In the article, a design of projected device is characterized in details; there are descriptions of all elements used to create this device. The author presents the principle of operation of the stabilizer in three basic modes: a mode when the camera is following after the rotation of the base, a mode when the camera is stabilized in relation to a predetermined position of the sight ray and a mode of manual control with using a setting device.*

По мере развития общества растут требования к качеству видеозаписей. Телевидение и кино применяются в научных, учебных, информационных и развлекательных целях. Съемки часто ведутся с наземных, летательных, надводных и подводных подвижных объектов. В таких условиях съемки оптические приборы часто подвержены качке или вибрации подвижного основания, на котором они установлены.

На сегодняшний день большой популярностью пользуются «эжшн» камеры, которые крепятся на лобовую часть защитного шлема или на корпус транспортного средства. Они позволяют спортсменам производить съемку в движении при прыжках с парашютом, езде на велосипеде или мотоцикле, при совершении различных трюков на роликах, лыжах или сноуборде. Такие условия съемки характеризуются большими вибрациями. Колебания оказывают вредное влияние на работу камеры и качество изображения.

В результате анализа различных схем стабилизации [1] было принято решение использовать индикаторную стабилизацию «эжшн» камеры, в которой чувствительным элементом является акселерометр, определяющий отклонение луча визирования камеры относительно плоскости горизонта.

Устройство обеспечивает стабилизацию камеры по трем осям.

На каждой оси имеется датчик момента (Дм) и датчик угла (Ду). Камера жестко прикрепляется к опоре, имеющей трехосный акселерометр (А) и трехосный датчик угловой скорости (Дус).

Данное устройство работает в трех основных режимах: режим стабилизации изображения, режим демпфирования и режим ручного управления поворотом камеры.

В режиме стабилизации изображения визирная ось камеры сохраняет свое направление неизменным, то есть камера всегда смотрит в одну точку.

В режиме демпфирования изображения камера следует за подвижным основанием с некоторым отставанием, при этом происходит сглаживание рывков и колебаний основания.

В режиме ручного управления оператор может управлять поворотом камеры с помощью кнопок управления на ручке, либо с помощью пульта дистанционного управления.

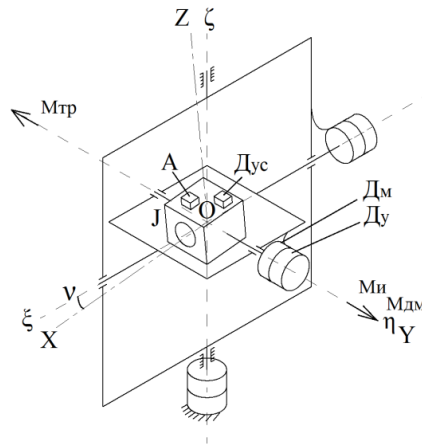


Рис. 1. Кинематическая схема стабилизатора

На приведенном рисунке:

$OXYZ$  – система, связанная с камерой;

$O\xi\eta\zeta$  – инерциальная система координат;

$v$  – поворот камеры в инерциальном пространстве;

$M_{и} = J * \dot{v}$  – момент инерции камеры;

$M_{дм} = K_{дм} * \dot{v}$  – момент датчика момента;

$M_{тр}$  – момент трения.

Камера соединяется со стабилизатором, а он в свою очередь прикрепляется к шлему, беспилотному летательному аппарату или другому подвижному объекту. Предположим, что основание вращается вокруг оси  $OY$ . При этом камера будет стремиться повернуться за основанием за счет возникновения сил трения в опорах. Если силы трения скомпенсировать, то оптическая ось камеры будет оставаться неподвижной и камера будет стабилизирована.

При возникновении сил трения камера поворачивается вокруг оси  $OY$ , акселерометр измеряет отклонение камеры относительно плоскости горизонтов и подает пропорциональный сигнал на датчик момента. Датчик момента создает момент, который стремится воспрепятствовать дальнейшему повороту камеры. При этом движение камеры будет резким и отрывистым. Для сглаживания рывков при стабилизации камеры и обеспечения устойчивости переходного процесса используется датчик угловой скорости. Сигнал пропорциональный скорости вращения камеры суммируется с сигналом акселерометра, перед тем как подается на датчик момента. Сигнал с задающего устройства в этом режиме равен нулю.

В режиме следования камеры за поворотом основания мы вместо сигнала с акселерометра подаем на датчик момента сигнал с датчика угла, который измеряет угол поворота камеры относительно основания.



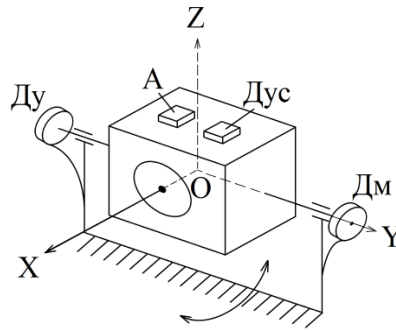


Рис. 2. Действие стабилизатора

В режиме ручного управления оператор с помощью кнопок задающего устройства вводит величину сигнала  $v_3$ , в результате чего камера отклоняется от плоскости горизонта на заданный угол.

Была составлена структурная схема стабилизатора (рис. 3).

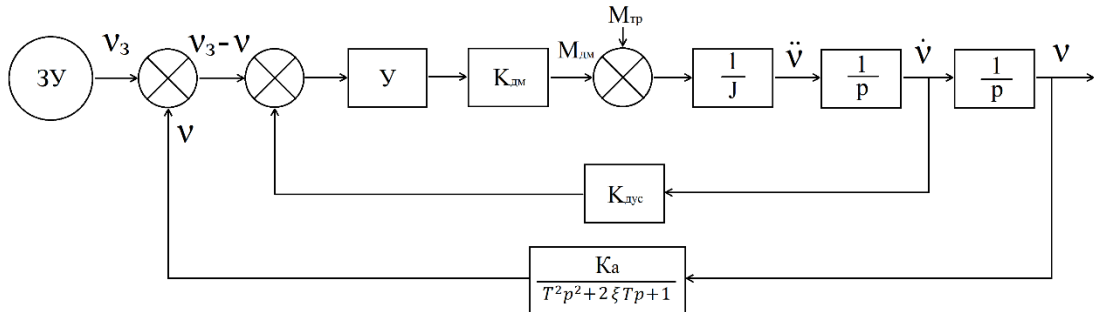


Рис. 3. Структурная схема стабилизатора

В результате анализа было установлено, что передаточная функция стабилизатора соответствует апериодическому звену второго порядка:

$$W_{\alpha}^{\beta} = \frac{1}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot p + 1} ,$$

где:  $T = \sqrt{\frac{J}{K_{\alpha}}}$ ;  $T_1 = \frac{J}{K_{\text{дус}} \cdot K_{\alpha M}}$ ;  $\xi = \frac{K_{\text{дус}} \cdot K_{\alpha M}}{2\sqrt{J \cdot K_{\alpha}}}$

Были рассмотрены наиболее популярные «эжшн» камеры (GoPro, SONY, Polaroid, Panasonic и т.д) [2–4] и определены их моменты инерции по трем осям.

Таблица 1. Обзор механических характеристик «эжшн» камер

№	Название	Масса m, г	p, мм	l, мм	h, мм	$J_{p_2}$ , Г·см <sup>2</sup>	$J_b$ , Г·см <sup>2</sup>	$J_{h_3}$ , Г·см <sup>2</sup>
1	GoPro HERO4	136	55	40	30	283	445	524
2	GoPro HERO4 Session	74	38	38	38	178	178	178
3	GminiMagicEye HPS4000	44	30	59	41	189	95	161
4	Panasonic HXA1M	45	26	86	26	303	511	303
5	Polaroid Cube PoLC3BK	45	38	38	38	108	108	108
6	SJCAM SJ4000	44	59	29	41	92	189	159
7	Smarterra W3	40	59	21	41	71	172	131
8	Sony HDR AS200V	93	2	81.5	46.5	381	216	566
9	Texet DVR 905s	90	60	42	40	252	390	402

В результате анализа было установлено, что максимальный момент инерции среднестатистической «экшн» камеры  $< 600 \text{ г}\cdot\text{см}^2$ . Габаритные размеры рассмотренных камер не выходят за рамки следующих пределов: 86 мм в длину, 60 мм в ширину и 47 мм по высоте. Максимальную массу равную 136 граммам имеет камера GoProHERO4.

На основе полученных результатов анализа «экшн» камер был спроектирован стабилизатор.

Устройство состоит из трех одинаковых блоков, включающих в себя датчик момента и датчик угла. В качестве датчика момента и датчика угла было решено использовать сервопривод MG995. Данный сервопривод обеспечивает достаточные момент (9,4 кгс·см) и скорость (0,17 с/60°) стабилизации камеры [5].

Камера крепится к основанию, на котором размещена микросхема MPU6050. Эта микросхема содержит трехосевой МЭМС (микроэлектромеханические системы) гироскоп и трехосевой МЭМС акселерометр с 16 битным АЦП [6].

К нижнему блоку прикреплен блок управления с аккумулятором 5 В. Для управления сервоприводами и микросхемой MPU6050 будем использовать плату ArduinoNano. Управление работой стабилизатора производится кнопками, находящимися на ручке, либо с пульта ДУ (дистанционного управления).

На рисунке 4 проиллюстрировано крепление стабилизатора на ручке управления, на летательном аппарате, на шлеме.

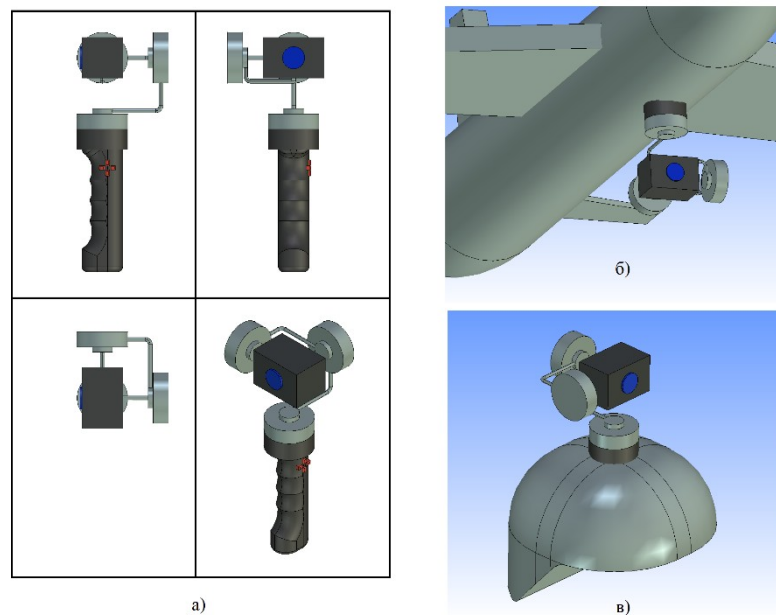


Рис. 4. Устройство стабилизатора. Крепление стабилизатора а) — на ручке управления, б) — на летательном аппарате, в) — на шлеме

В результате проведенной работы было спроектировано устройство для уменьшения угловых движений камеры. Данный прибор обеспечивает демпфирование и стабилизацию камеры по трем осям, может управляться с ручки управления или с пульта ДУ. Стабилизатор будет полезен для видеосъемки при занятии экстремальными видами спорта, а также при съемке с различных подвижных объектов (например, с квадрокоптеров).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бабаев А.А. Стабилизация оптических приборов. - Л.: «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1975. - 192с.
2. GoPro Official Website. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gopro.com/>, free.
3. SonyRU: Sony Россия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sony.ru/>, free.
4. Panasonic Россия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.panasonic.com/ru/>, free.
5. MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R\\_Tower-Pro.pdf](http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf), free.
6. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cdiweb.com/>, free.

**ПРУЖИННЫЙ МЕХАНИЗМ ДЛЯ РАСКРЫТИЯ ПОДВИЖНЫХ УЗЛОВ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Фролов Р.А., Бекасова А.Г.

Научный руководитель: Янгулов В.С., зав. УИЦ, к.т.н.

Институт Оптики Атмосферы СО РАН

Россия, г. Томск, пл. Зуева, 1, 634055

E-mail: [phrolov1994@mail.ru](mailto:phrolov1994@mail.ru)

**SPRING MECHANISM FOR UNWINDING MOBILE COMPONENTS OF SMALL SATELLITES**

Frolov R.A., Bekasova A.G.

Scientific Supervisor: Mgr. of ESC, Ph.D. Yangulov V.S.

Institute of Atmospheric Optics SB RAS

Russia, Tomsk, Zueva sq., 1, 634055

E-mail: [phrolov1994@mail.ru](mailto:phrolov1994@mail.ru)

*Сегодня космическая отрасль очень развита во всем мире, поэтому данная статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме безопасного раскрытия подвижных узлов космического аппарата (КА). Авторами предложен способ решения данной проблемы, который заключается в использовании анкерного устройства в механизме раскрытия подвижных узлов. Поэтому в этой статье описывается пружинный механизм, который используется для приведения космического аппарата из транспортного состояния в рабочее. Этот механизм позволяет регулировать скорость раскрытия подвижных узлов без деформаций, поломок и сбоев.*

*Today, space industry has developed in all world, so this article focuses on actual today's problem, which is based on the safety unwinding mobile components of small satellites. The authors proposed way of the solution to this problem, which consists in using anchoring device in the mechanism for unwinding mobile components of small satellites. So in this article the spring mechanism, which is used for transformation small satellite from transport to working state, is described. This mechanism allows to adjust velocity of unwinding of mobile components without deformations, breakages and failure.*

Космические аппараты (КА) нового поколения должны иметь основной блок, где фиксируются различные выносные элементы, которые в дальнейшем принимают рабочее положение: антенны разного назначения, панели солнечных батарей (СБ), штанги с различными датчиками и прочие элементы систем КА. От правильности выполнения процесса раскрытия будет зависеть дальнейшее использование и применение изделия. Именно поэтому, наиболее важный этап эксплуатации является приведение КА из транспортного состояния в раскрытое (рабочее) положение.

Во многих случаях для раскрытия подвижных элементов и узлов КА используют устройства, в составе которых есть пружинный механизм. Это подразумевает использование различного вида пружин [1,

2]. Главным недостатком пружинного механизма можно назвать отсутствие конструктивного элемента, отвечающего за регулирование скорости раскрытия панелей СБ на завершающей стадии. Его отсутствие может привести к удару, который, в свою очередь, приведёт к деформации и, как следствие, выходу из строя целого механизма и панелей СБ.

Данная работа направлена на рассмотрение пружинного механизма для раскрытия подвижных узлов КА [3], в котором осуществляется регулирование максимального ускорения, что исключает деформацию. Это достигается благодаря использованию анкерного устройства в механизме раскрытия подвижных узлов КА. На бытовом уровне можно провести аналогию с тем как можно спуститься с крыши высотного здания: 1 – с крыши и до земли за один прием; 2 – по ступенькам лестницы. Очевидно, что второе намного безопаснее.

Следовательно, главное преимущество пружинного механизма перед предшествующими ему устройствами, которые служат для аналогичных целей – это возможность поддерживать скорость раскрывания подвижных элементов в нужных пределах. Это полностью исключает возникновение неисправностей подвижных элементов при переходе КА в рабочее положение.

Описываемое устройство (рис. 1) состоит из пружинного двигателя 1, на валу которого крепится зубчатое колесо 2, через него вращательный момент передается на зубчатое колесо 3, и далее на анкерное колесо 4. Анкерное колесо 4, баланс 5 с валом 6, а также анкерная вилка 7 и ось 8, входят в состав регулятора скорости без собственных колебаний, с помощью которого происходит поддержание скорости раскрытия подвижных элементов КА. Редуктор 10, установленный на выходном валу пружинного механизма необходим для увеличения крутящего момента и понижения частоты вращения вала. От его передаточного отношения зависит, на какой угол повернется подвижный узел.

Процесс приведения подвижного элемента в рабочее положение показан на фиг. 2. Корпус пружинного механизма 13 жестко фиксируется на корпусе КА 14, на выходном валу 12 механизма устанавливается подвижный узел 15, который соединен при помощи шарнира 16 с корпусом КА 14. Пружинный двигатель приводится в заведенное положение, подвижный узел - в транспортное, после чего фиксируется замком. При поступлении сигнала на раскрытие подвижного узла замок открывается, потенциальная энергия заведенной пружины преобразуется в кинетическую энергию вращательного движения вала, который через регулятор скорости приводит подвижный узел в рабочее положение, также фиксирующееся замком.

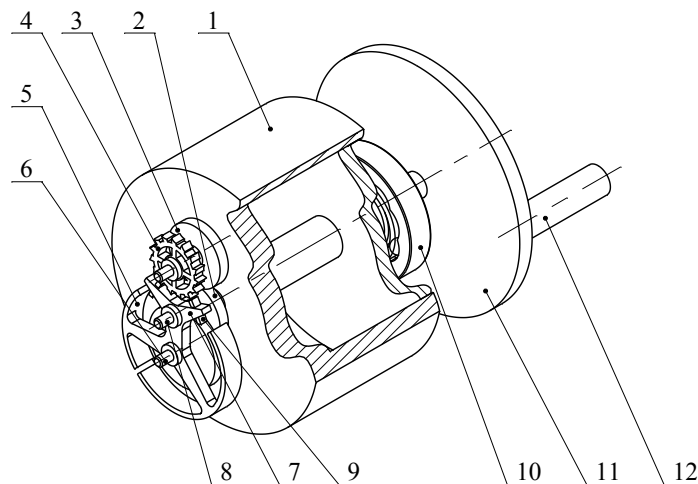


Рис.1. Структура пружинного механизма

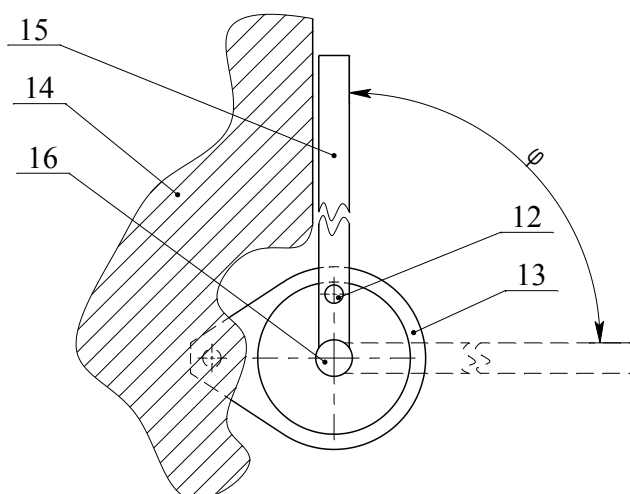


Рис. 2. Процесс приведения подвижного элемента в рабочее положение

Принципиально пружинный механизм состоит из трёх основных узлов: пружинный двигатель; редуктор; регулятор скорости.

Пружинные двигатели получили широкое применение благодаря простой конструкции, сравнительно небольшими размерами и доступности массового производства. В данном устройстве пружинный двигатель необходим для создания момента, который нужно приложить к подвижной части полезной нагрузки механизма для ее движения. Он состоит из плоской пружины, закрепленной одним концом на внутренней части барабана, а другим – на входном валу зубчатой передачи.

В общем виде в данном механизме возможна реализация редуктора с любым видом зубчатой передачи. Однако, в связи с необходимостью минимизации габаритов необходимо использовать более компактную передачу. Из этого вытекает условие соосности валов передачи. Как известно, существует два вида зубчатых передач с соосными входным и выходным валами – волновая и планетарная зубчатая передачи.

По сравнению с планетарными волновые передачи при одинаковых габаритах и массе имеют большую нагрузочную способность, что очень важно для устройств, применяемых в космических аппаратах. Благодаря гибкому зубчатому колесу имеется возможность герметизации передачи. Также такие передачи имеют малый мертвый ход и момент инерции, высокую точность и большое передаточное отношение. Исходя из этого, наиболее рационально использовать именно волновую передачу с промежуточными телами качения [4].

Регулятор скорости (анкерный механизм) апробирован веками работой в часовых механизмах.

Для практической реализации пружинного механизма для раскрытия подвижных узлов КА нужно создать единый алгоритм расчета и проектирования всех входящих в него узлов. Исходными данными для этого должны быть параметры полезной нагрузки: момент инерции и допустимое максимальное ускорение. Решение этой задачи позволит перейти к автоматизированному процессу проектирования, что существенно снизит время и затраты внедрение данного устройства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 63-59920 Японии, МПК В64G1/44. Узел крепления панели солнечных батарей, 1988.
2. Патент № 94037584 РФ, МПК В64G1/44. Устройство раскрытия панели солнечных батарей, 1996.

3. Патент № 96360 РФ, МПК В64G1/00. Пружинный механизм для раскрытия подвижных узлов космического аппарата, 2010 г.
4. Янгулов В. С. Зубчатые передачи повышенной точности и долговечности. Под ред. В. С. Дмитриева. — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — 137 с.

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ КИНЕМАТИКИ  
РАСКРЫТИЯ КРЫЛЬЕВ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Яковлев А.С.

Научный руководитель: Малышенко А.М., профессор, д.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: alexyakovlev90@gmail.com

**COMPUTER-AIDED DERIVATION OF KINEMATIC EQUATIONS  
OF DEPLOYABLE SOLAR PANELS OF SPACECRAFTS**

Yakovlev A.S.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Malysenko A.M.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: alexyakovlev90@gmail.com

*Предложен алгоритм автоматизированного формирования уравнений кинематики крыльев солнечных батарей, в основе которого лежит разработанный метод формализованного описания кинематики механизмов. Работа алгоритма продемонстрирована на примере формирования уравнений кинематики механизма раскрытия солнечной батареи с помощью разработанного программного средства.*

*The paper proposes and provides a brief description of the algorithm for deriving kinematics equations for deployable solar panels, based on designed method of formalised description of mechanisms kinematics. The practical usage of the algorithm is demonstrated by deriving kinematics equations for solar panel deployment with using developed software.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Разработка космических аппаратов (КА) представляет собой сложный и многоэтапный процесс. Неотъемлемой частью каждого КА является система энергоснабжения, которая, в свою очередь, для подавляющего большинства КА в качестве источника электроэнергии использует солнечные батареи (БС). Доставка любого груза в космическое пространство предполагает решение некоторых проблем, связанных со снижением массогабаритных характеристик элементов и узлов КА. С этой целью крылья солнечных батарей (КБС) снабжают механизмом раскрытия.

Индивидуальный подход к проектированию и производству КА влечет за собой множество различных исполнений бортовых элементов КА в зависимости от требований технического задания, в том числе механизмов раскрытия КБС. Прежде чем снабдить КА крыльями БС необходимо пройти стадии моделирования и испытания КБС. Одним из важнейших этапов моделирования любой механической системы, осуществляющей сложные движения, является построение ее кинематической модели. Результаты моделирования КБС в дальнейшем используются в разработке средств для их испытания, так называемых систем обезвешивания КБС [1, 2], а в дальнейшем – для построения самих механизмов раскрытия.

В данной работе, с целью автоматизированного формирования кинематических моделей механизмов раскрытия КБС, разработано программное средство и использован способ формализованного описания манипуляционных роботов, предложенный в [3]. Данный метод к настоящему моменту успешно

применяется для получения уравнений кинематики различных манипуляционных механизмов [4]. Формализованное описание представляет собой компактный и содержательный массив исходных данных для разработанного программного средства [5]. Принцип работы программы будет описан далее. Результат работы программного средства на основе представленного метода формализованного описания будет продемонстрирован на конкретном примере – составлении уравнений кинематики для существующей модели КБС, которое по конструктивному исполнению соответствует используемой на КА «Экспресс», производимых производства АО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнёва», г. Железногорск[6].

### 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ КБС

С целью формирования исходных данных для автоматизации процесса получения уравнений кинематики КБС КА в данной работе использован метод формализованного описания кинематических цепей манипуляторов [3]. Несмотря на то, что в своей изначальной формулировке метод применялся исключительно для решения задач кинематики манипуляционных роботов, в настоящее время он может быть легко адаптирован к решению аналогичных задач для многих других механизмов. Подробно с данным методом можно ознакомиться также в [4]. Кратко, данный метод предполагает описание каждого элемента кинематической цепи механизма в формате  $I(m; \mathbf{n}; \mathbf{p})$ , где  $I$  – идентификатор описываемого элемента;  $m$  – собственный номер данного элемента, присвоенный в процессе описания цепи;  $\mathbf{n} = [n_1; n_2; \dots; n_\nu]$  – вектор собственных номеров элементов цепи, с которыми непосредственно связан элемент  $m$ ;  $\mathbf{p} = [p_1; p_2; \dots; p_\mu]$  – вектор конструктивных параметров элемента  $m$ . Последовательность записи всех указанных параметров в описании  $I(m; \mathbf{n}; \mathbf{p})$  строго позиционно определена.

С помощью формализованного описания кинематическая структура произвольного разомкнутого механизма преобразуется в набор исходных данных программного средства для автоматизированного формирования уравнений кинематики. С этой целью кинематическая схема механизма представляется в виде последовательности характеристических точек. Каждая такая точка является началом относительной системы координат. Исходную точку, относительно которой формируются уравнения кинематики, принято называть базовой точкой, определяющей расположение базовой (абсолютной) системы координат. Параметры формализованного описания содержат всю необходимую информацию для построения однородных матриц преобразования систем координат для перемещения между точками и в дальнейшем – для формирования уравнений кинематики.

Алгоритм разработанного программного средства для расчета уравнений кинематики КБС представлен на рис. 1. Программа позволяет получать уравнения кинематики для подобных механизмов как в численной, так и в аналитической форме.

Как уже было упомянуто выше, исходными данными для получения кинематической модели и формирования уравнений кинематики раскрытия солнечных батарей является формализованное описание КБС. Уравнения кинематики КБС КА определяют движение панелей солнечных батарей в каждой фазе раскрытия. С этой целью необходимо задавать соответствующие параметры вычисления для получения уравнений определенной фазы раскрытия панелей.

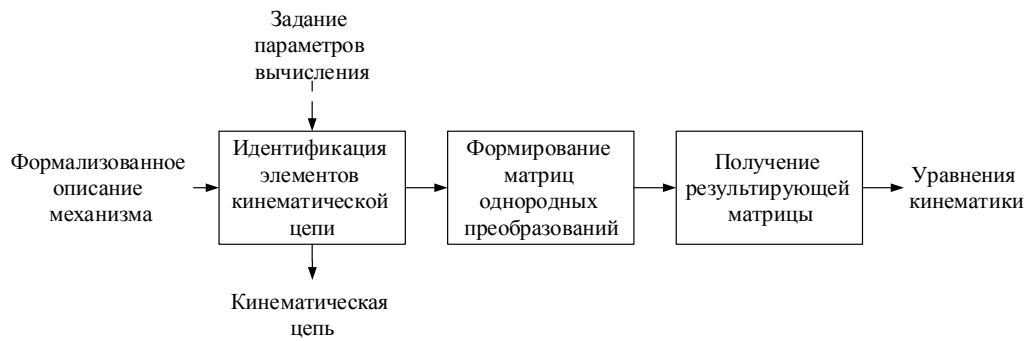


Рис. 1. Алгоритм работы программного средства для формирования уравнений кинематики

После формализованного описания элементов КБС, следующим этапом является формирование уравнений кинематики, который сводится к формированию матриц однородных преобразований размерностью  $4 \times 4$  и расчету результирующей матрицы, которая содержит в себе данные о взаимном расположении абсолютных (связанных с основанием) и рабочих координатных осей. Для формирования матриц, последовательность формализованно описанных сочленений и звеньев разделяется на отдельные группы, чтобы для каждой группы можно было сформировать одну или несколько матриц однородных преобразований. К примеру, для перехода между системами координат двух соседних сочленений необходимо осуществить несколько поворотов и перенос системы координатных осей из одной характеристической точки в другую. Для этого используются конструктивные параметры поворота осей системы координат вокруг осей  $x$  ( $\alpha_1$ ) и  $y$  ( $\beta_1$ ), перенос вдоль оси  $z$  ( $L$ ) и вращение системы координат до ее совмещения с осями системы сочленения ( $\alpha_2, \beta_2$ ). Матрица такого перехода определяется следующим образом:

$$T(R_x(\alpha_1), R_y(\beta_1), L, R_x(\alpha_2), R_y(\beta_2)),$$

где  $R_x(\alpha_n)$  – матрица поворота вокруг оси  $x$  на угол  $\alpha_n$ ;

$R_y(\beta_n)$  – матрица поворота вокруг оси  $y$  на угол  $\beta_n$ .

## 2 ФОРМИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ КБС

Внешний вид КБС, соответствующего по конструктивному исполнению используемой на КА «Экспресс» в раскрытом состоянии представлен на рис. 2 [6]. В раскрытом положении определены и отмечены на рисунке характеристические точки: 1 – точка подвеса рамы КБС; 2–4 – точки подвеса корневой, промежуточной и концевой панелей; 5, 6 – центры масс боковых панелей. Предполагается, что в указанных точках осуществляется подвес элементов КБС на обезвешивающем испытательном стенде с целью повторения движений поэтапного раскрытия крыла для имитации состояния невесомости.

Формализованное описание КБС помимо взаимного расположения характеристических точек 1–6 и шарнирных узлов (ШУ) содержит также информацию о движении системы на этапах раскрытия:  $\gamma_1$ – $\gamma_6$  – углы раскрытия элементов КБС 1–6. Раскрытие КБС происходит в 2 фазы.

На этапе первой фазы одновременно раскрываются рама, корневая, промежуточная и концевая панели БС. Таким образом, все ШУ закрыты, открываются ШУ рамы и раскрываемых панелей. Боковые панели находятся в закрытом состоянии. Согласно 1-й фазе раскрытия КБС также не сложно определить взаимное отношение между углами ШУ в исходном состоянии КБС:

$$\gamma = \gamma_1 = -\gamma_2 = \gamma_3 = -\gamma_4.$$



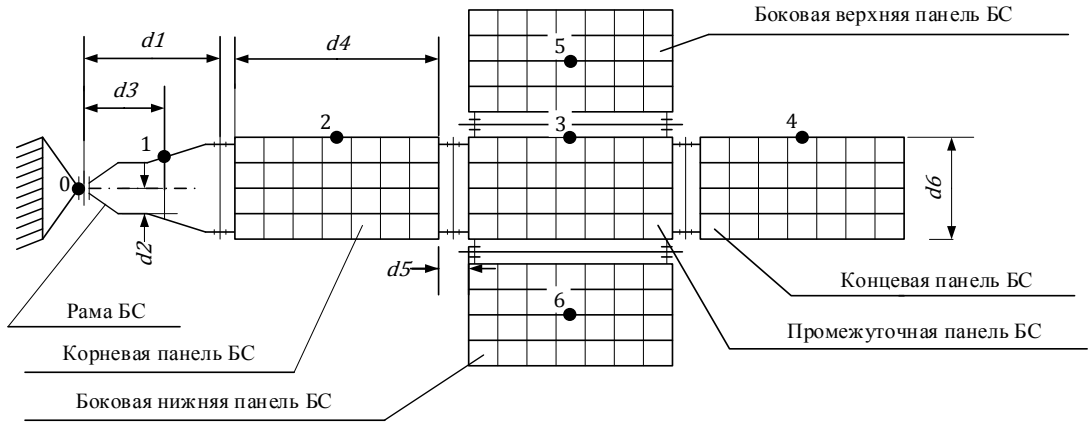


Рис. 2. КБС в раскрытом состоянии

В качестве примера рассмотрим процесс формирования формализованного описания и вывода уравнений кинематики для точки подвеса корневой панели КБС на первой фазе раскрытия. Формализованное описание точки подвеса панели:

$$\begin{aligned}
 &LOR(1; 10; 0; 0; 0; 0); \\
 &LRR(2; 10; 20; R_x(-90^0); 0; L_z(d_3); R_x(90^0); 0); \\
 &LRN(3; 20; 30; R_x(-90^0); 0; L_z(d_4/2); R_x(90^0); 0); \\
 &LNN(4; 30; 40; 0; 0; L_z(d_6/2); 0; 0); \\
 &J1R(10; 1; 2; 180; 0; 180; h_1); \\
 &J1R(20; 2; 3; 180; 0; 180; h_2).
 \end{aligned}$$

Методика формирования формализованного описания подробно описана в [3, 4]. Дополнительным параметром здесь является смещение вращательных осей в ШУ КБС (смещение  $h$  на рис. 3).

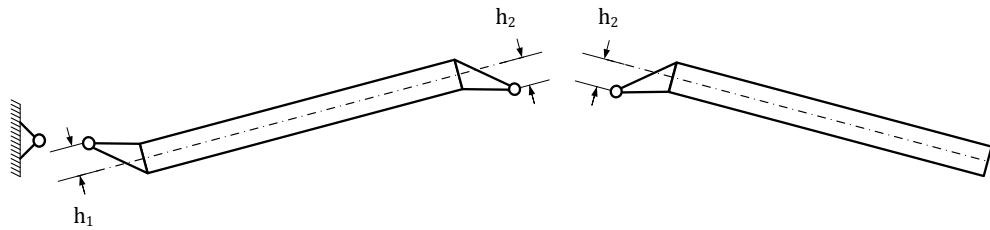


Рис. 3. Схема механической системы раскрытия КБС

При автоматизированном формировании уравнений кинематики смещение осей ШУ элиминируется путем дополнительных переходов трехгранников осей. В результате результирующая матрица в точке подвеса рамы будет получена следующим образом:

$$\begin{aligned}
 T_{\text{панели}} = &T_1 \{0\} \cdot T_{10} \{R_z(\gamma), L_z(h_1)\} \cdot T_2 \{R_x(-90^0), L_z(d_1), R_x(90^0)\} \cdot T_{20} \{R_z(\gamma), L_z(h_2)\} \cdot \\
 &\cdot T_3 \{R_x(-90^0), L_z(d_4/2), R_x(90^0)\} \cdot T_4 \{L_z(d_6/2)\}.
 \end{aligned}$$

Используя разработанное программное средство и сформированное формализованное описание, получаем уравнения кинематики корневой панели в первой фазе раскрытия.

$$x_2(\gamma) = \left(d_1 - \frac{d_4}{2}\right) \cdot \cos(\gamma) - 2 \cdot h_2 \sin(\gamma) + h_1;$$

$$y_2(\gamma) = \left(d_1 + \frac{d_4}{2}\right) \cdot \sin(\gamma) + 2 \cdot h_2 \cos(\gamma) + h_1;$$

$$z_2(\gamma) = \frac{d_6}{2}.$$

Аналогичным образом, формируется формализованное описание остальных элементов КБС и рассчитываются уравнения кинематики оставшихся точек подвеса.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате получится кинематическая модель КБС, описывающая положение всех точек подвеса элементов крыла в двух фазах раскрытия. Предложенный способ формализованного описания и получения уравнений кинематики КБС является универсальным и применим к любой модели исполнения механизма раскрытия КБС, а также, в случае возникновения необходимости, может быть адаптирован под любые особенности кинематики механической системы. Универсальный подход к решению подобного рода задач играет огромную роль в автоматизации процесса математического описания кинематики механизмов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романенко И.В. Улучшение методики испытаний механических систем космических аппаратов // Труды Московского авиационного института. Выпуск № 80. Электронный журнал. 2015 г.
2. Михалкин В.М., Романенко И.В. Анализ применимости системы обезвешивания пассивного типа для крупногабаритного крыла батареи солнечной // Материалы XVII международной научной конференции «Решетнёвские чтения». Красноярск, 14 ноября 2013, Ч.1, С. 88–89.
3. Малышенко А.М. Формализованное описание структур и параметров кинематических цепей манипуляторов // Известия АН СССР. Машиноведение № 4, 1989 г. – С. 61–67.
4. Yakovlev A., Malysenko A. Automatic derivation of kinematic equations for robotic manipulators on the bases of formalised description of their kinematic chains. The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2014), IEEE Computer Society. Bangladesh. (October 21–23, 2014).
5. Яковлев А.С., Малышенко А.М. Программное обеспечение для автоматического формирования моделей кинематики в символьной и численной формах для механизмов с разомкнутыми кинематическими цепями и сочленениями третьего, четвертого и пятого классов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013615109 от 28 мая 2013 г.
6. Проекты компании «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва». Раздел: телекоммуникация. Рабочая ссылка: <https://www.iss-reshetnev.ru/projects>.

---

## СЕКЦИЯ №2

### МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

---

#### ПОВЫШЕНИЕ КПД РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Бир А.П.

Научный руководитель: Бурков М.В., к.т.н., доцент каф. ММС ИФВТ ТПУ  
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение Лицей при ТПУ  
Россия, г. Томск, ул. Аркадия Иванова, 4, 634028  
E-mail: anabir7@gmail.com

#### IMPROVEMENT OF JET ENGINE EFFICIENCY

Bir A.P.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Burkov M.V.  
Lyceum TPU  
Russia, Tomsk, Arkadiya Ivanova str., 4, 634028  
E-mail: anabir7@gmail.com

*В работе рассмотрены перспективные материалы для повышения коэффициента полезного действия (КПД) реактивного двигателя. Изучены принципы работы реактивного двигателя. Проведен обзор материалов, применяющихся в производстве серийных реактивных двигателей, а также перспективных материалов для двигателей новых поколений. Проведено испытание на прочность образцов металлов и композитов. Сделан вывод, что двигателях будущего широкое применение найдут композиты на керамической матрице, позволяя существенно поднять рабочие температуры двигателя.*

*The paper considers the advanced materials to improve the jet engine efficiency. The jet engine operation principles are studied. The review of materials used in the manufacture of mass-produced jet engines and advanced materials for new generations of engines is carried out. A strength test of the metals and composites samples is done. It is concluded that the engines of the future will find wide application in the ceramic matrix composites, allowing to increase the engine operation temperature significantly.*

#### Введение

В настоящее время существует острая необходимость человека свободно перемещаться по нашей планете, при этом максимально быстро, дешево и безопасно. Высокая скорость перемещения сразу выводит в лидеры авиацию.

Стоимость и безопасность – это прямо противоположные вещи. На одном этапе развития технологий снизить стоимость можно, только если потерять надежность деталей и узлов, а значит снизить безопасность. При этом одним из главных экономических факторов, обеспечивающих конкуренцию в самолетостроении и авиаперевозках, является топливная эффективность, которая в первую очередь зависит от коэффициента полезного действия двигателя, поэтому конструктора и авиатехники находятся под постоянным давлением эксплуатантов, требующих ее повышения.

В своей работе я хочу рассмотреть перспективные материалы для повышения коэффициента полезного действия реактивного двигателя.

КПД:

Различают несколько видов КПД реактивного двигателя:

- полный
- тепловой
- тяговый

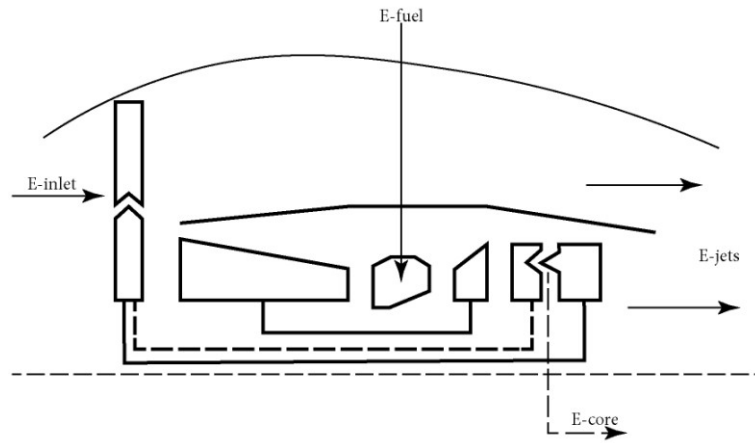


Рис. 1. Схематичное изображение ТРД

$$\eta = \frac{\xi_{core}}{\xi_{fuel}}, \quad (1)$$

$$\eta = \frac{(\xi_{jets} - \xi_{inlet})}{\xi_{core}}, \quad (2)$$

$$\eta = \frac{F_n \times v_0}{(\xi_{jets} - \xi_{inlet})}. \quad (3)$$

где  $\xi_{fuel}$  – теплота сгорания топлива,  $\xi_{core}$  – энергия вырабатываемая турбиной (механическая энергия),  $\xi_{jets}$  – энергия реактивной струи,  $\xi_{inlet}$  – энергия набегающего потока,  $v_0$  – скорость самолета или набегающего потока,  $F_n$  — энергия реактивной тяги.

В общем случае, чем выше температура, тем выше КПД.

Тепловой КПД (1) определяет совершенство двигателя, как тепловой машины.

Трансмиссионный КПД (2) определяется совершенством механической части, обеспечивающей передачу крутящего момента от турбины к вентилятору и компрессору.

Тяговый КПД (3) описывает потери на превращение механической энергии в энергию реактивной струи.

Турбореактивный двухконтурный двигатель является сложным устройством, в котором к различным узлам и агрегатам применяются разные технические требования. Но самым сложным агрегатом является турбина, так как тепловой КПД определяется именно температурой на входе в турбину, чем она выше, тем выше КПД.

К турбине предъявляются следующие требования: вращательная прочность, устойчивость к высоким нагрузкам и температурам, устойчивость к ползучести и окислению, температурный диапазон: 530 – 1300 °С. Сейчас используются никелевые сплавы, иногда встречаются монокристаллические никелевые сплавы с защитным покрытием.

#### **Испытание на прочность**

В данном разделе будут представлены результаты механических испытаний различных материалов, применяющихся в авиастроении, в частности в двигателестроении. Цели данного исследования: изучить методы определения механических характеристик конструкционных материалов и произвести испытание

образцов алюминиевых, титанов сплавов и углепластика на растяжение, определив диаграмму нагружения, предел прочности и предельное удлинение.

Испытание провели на универсальной электромеханической испытательной машине Instron-5582. Образцы зажимались в кленовые захваты и нагружались со скоростью 1 мм/мин перемещением верхней подвижной траверсы. С помощью датчика нагрузки была записана диаграмма нагружения. После разрушения образца был определен предел прочности и предельное удлинение.

Для более детального изучения процесса деформации и разрушения была использована система оптического мониторинга VIC 3D, работающая по принципу корреляции цифровых изображений. Суть данного метода заключается в высокоточном измерении деформации на поверхности исследуемого материала. Для функционирования данного метода образцы были покрыты белой краской, а для освещения образца использован светодиодный источник.

### Результаты

На рисунке 2 показан мониторинг деформации на поверхности алюминиевого сплава.

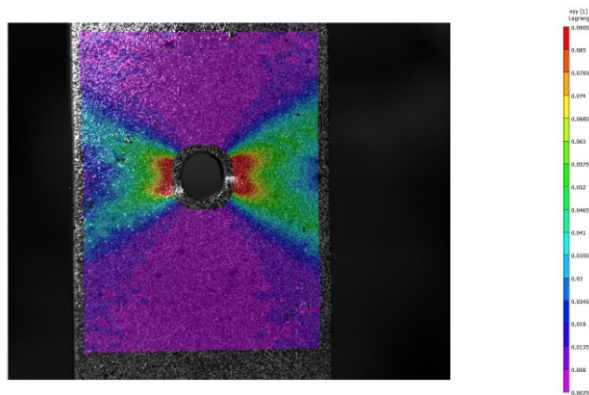


Рис. 2. Мониторинг деформации на поверхности алюминиевого сплава

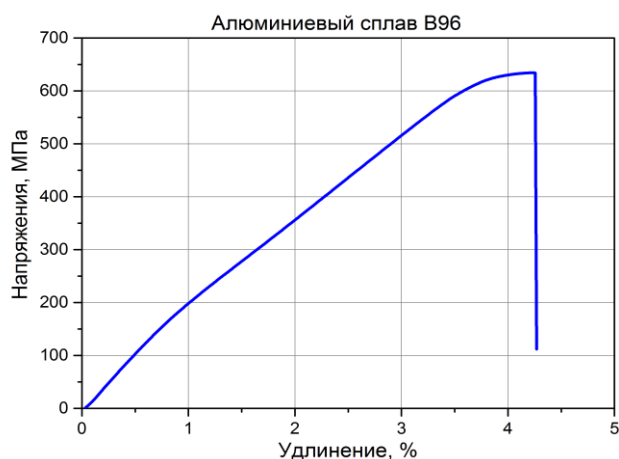


Рис. 3. График зависимости механического напряжения от относительного удлинения для алюминиевого сплава B96

Из графика, показанного на рисунке 3 видно, что алюминиевый сплав B96 обладает высоким пределом прочности, но низкой допустимой температурой эксплуатации, поэтому для двигателестроения он

интересен в качестве материала для различных кронштейнов, силовых элементов, обшивок в холодной зоне двигателя.

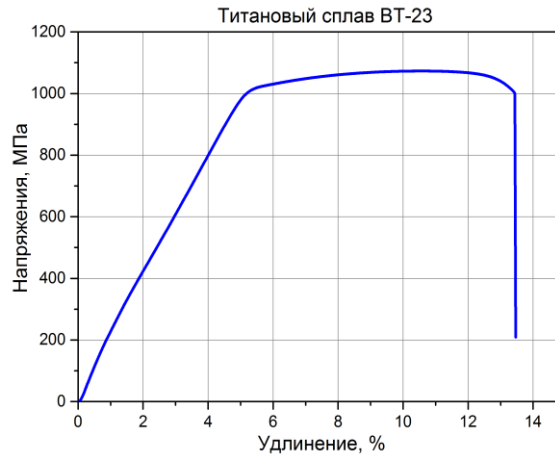


Рис. 4. График зависимости механического напряжения от относительного удлинения для титанового сплава BT-23

Из графика, показанного на рисунке 4 видно, что титановый сплав BT-23 обладает очень высокими механическими характеристиками, в частности пределом прочности, сравнимым с высокопрочными сталями, обладая при этом низкой плотностью ( $4,54 \text{ г/см}^3$ ). Таким образом, удельная прочность этого сплава совместно с высокой допустимой температурой делают его незаменимым для изготовления лопаток вентилятора и компрессора, дисков вентилятора и компрессора, корпуса двигателя, в которых температура не превышает  $650^\circ\text{C}$ .

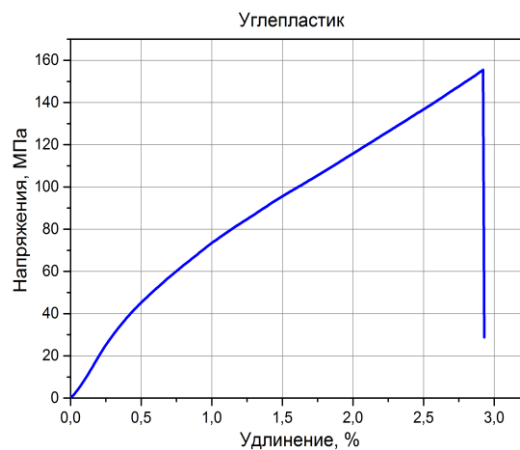


Рис. 5. График зависимости механического напряжения от относительного удлинения для углепластика

Из графика, показанного на рисунке 5 видно, что предел прочности данного углепластика является средним, однако его плотность составляет  $1,5 \text{ г/см}^3$ , что дает ему значения удельной прочности близким к высокопрочным сплавам. Одним из выдающихся характеристик данного материала является очень высокая температура эксплуатации, при таких температурах предел прочности не падает. Все это в совокупности позволяет применять этот материал в «теплых» и «горячих» зонах двигателя. Может выдерживать до  $2000$  градусов при наличии защитного покрытия.

## Вывод

Изучены принципы работы реактивного двигателя. Установлено, что одним из самых сложных и тяжело нагруженных агрегатов, является турбина, из-за одновременного воздействия высокой температуры, коррозионной среды и больших механических нагрузок. Проведен обзор материалов, применяющихся в производстве серийных ТРД, а также перспективных материалов для двигателей новых поколений. Проведено испытание на прочность образцов металлов и композитов.

Установлено, что композиты, благодаря возможности комбинировать различные армирующие и связующие компоненты, все шире применяются в разных узлах. Так, в двигателях будущего широкое применение найдут композиты на керамической матрице, позволяя существенно поднять рабочие температуры ТРД. То есть решением проблемы повышения КПД является применение именно таких композитов. Однако данные материалы достаточно сложные в производстве, поэтому внимание инженеров и исследователей направлено на создание коммерчески доступных технологий производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климов А. К., Климов Д. А., Низовцев В. Е., Ухов П. А. Эффективность применения наноструктурных композиционных материалов и изделий из них в авиационной промышленности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: (<http://www.mai.ru/upload/iblock/57e/57e4cd1f09a45018e47f27cb108d52fc.pdf>), свободный.
2. Stuart Milne. Advanced Metal Alloys and Their Applications in Jet Engines. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=11454>, свободный.
3. Ujjwal K Saha. Jet propulsion engine materials. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public\\_html/cd\\_cell/chapters/uk\\_saha\\_jet\\_propulsion/qip-jp-11-Engine%20Materials.pdf](http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public_html/cd_cell/chapters/uk_saha_jet_propulsion/qip-jp-11-Engine%20Materials.pdf), свободный.
4. Manufacturing Processes for Engineering Materials. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www3.nd.edu/~manufact/MPEM\\_pdf\\_files/Ch03.pdf](https://www3.nd.edu/~manufact/MPEM_pdf_files/Ch03.pdf)), свободный.
5. M.J. Benzakein. The Future of the Jet Engine. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.comblab.ae.gatech.edu/meyer.pdf>), свободный.
6. Propulsion Systems: Basic Concepts. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://adg.stanford.edu/aa241/propulsion/propulsionintro.html>), свободный.
7. Materials through the ages: materials for aeroplane engines. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iom3.org/materials-world-magazine/feature/2013/may/09/materials-through-ages-materials-aeroplane-engines>), свободный.
8. George Marsh. Composites get in deep with new-generation engine. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.materialstoday.com/composite-industry/features/composites-get-in-deep-with-new-generation-engine/>), свободный.
9. MTU develops new turbine blade material in record time. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://articles.sae.org/14023/>), свободный.
10. Pratt & Whitney's Geared Turbofan Growth Plan. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://aviationweek.com/awin/pratt-whitney-s-geared-turbofan-growth-plan>), свободный.
11. John Whurr. Future Civil Aeroengine Architectures & Technologies. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.etc10.eu/mat/Whurr.pdf>), свободный.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Вицке Р.Э., Яхин А.А.

Научный руководитель: Кондратюк А.А., доцент, к.т.н.

Национально исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 364050

E-mail: alexkon@tpu.ru

**ADVANCED POLYMER COMPOSITES CONSTRUCTION PURPOSES**

Vitske R.E., Yahin A.A.

Scientific supervisor: Assoc. Prof., Ph.D. Kondratyuk A.A.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: alexkon@tpu.ru

*Получены композиционные материалы на основе полимера (СВМПЭ) имеющие в качестве наполнителя органические, неорганические и волокнистые материалы. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния на прочность и твердость типов наполнителей, и их различного процентного содержания. Получены численные значения прочности и твердости уданных композитов.*

*Composite materials based on a UHMWPE polymer with different reinforcement (organic, inorganic and fibrous materials) were manufactured. The results of experimental studies of the effect of filler type and its percentage on strength and hardness are presented. The numerical values of strength and hardness of composites were obtained.*

Развитие науки и техники, появление новых технологий и потребностей общества обуславливают повышение таких показателей качества конструкционных материалов, как жесткость, прочность, износостойкость, теплостойкость, коррозионная и радиационная стойкость, снижение веса и технологичность. Традиционные материалы (металлы, сплавы и другие конструкционные материалы) этим повышенным и часто противоречивым требованиям не всегда могут удовлетворять. Поэтому создаются новые виды конструкционных материалов на основе фундаментальных и прикладных разработок.

Одним из широко распространённых видов новых материалов являются пластмассы. Пластмассы представляют собой многокомпонентные системы, состоящие из полимера или смесей полимеров с введением различного рода добавок (наполнителей). Таким образом, полимер в этой системе является связующим (матрицей). В качестве добавок в пластмассах используются, дисперсные, волокнистые, слоистые и зернистые наполнители. При использовании длинноволокнистых и листовых армирующих наполнителей эту разновидность пластмасс называют полимерными композиционными материалами (ПКМ). Так как в общем виде мы можем объединить все наполнители в класс добавок, будем использовать эту аббревиатуру в данной работе.

Достаточно перспективным представляется использование в роли матрицы при создании ПКМ применяемых в качестве изделий конструкционного назначения аэрокосмическом материаловедении, сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ).

СВМПЭ это полиэтилен с молекулярной массой более  $1 \cdot 10^6$  г/моль. Высокая молекулярная масса данного полимера определяет его уникальные физико-механические свойства, резко отличающие его от других марок полиэтилена. Особенностью СВМПЭ является способность сохранять механические свойства в очень широком интервале температур (от +140 до -200 °С), его устойчивость к воздействию радиации и вакуума, а так же износостойкость и низкий коэффициент трения [1].

Особо следует отметить, что например замена материала изделия из алюминиевого сплава на ПКМ с матрицей из СВМПЭ, позволяет снизить его вес в 3 раза, а в случае использования углепластиков в 2 раза [2,3]. Это особо актуально на этапе проектирования аэрокосмической техники [4].

В работе представлены данные о возможности применения в качестве наполнителей некоторых



органических и неорганических материалов, а так же влияние их количества на механические характеристики ПКМ (прочность и твердость).

Рассмотрим более подробно данную проблематику. Наиболее дешевым из дисперсных органических наполнителей является древесная мука, представляющая собой тонкоизмельченную и высушенную древесину волокнистой структуры. К сравнительно не дорогим и доступным можно отнести и стекловолокна – у нас они представлены в виде искусственного базальта полученного при использовании плазмотронной технологии. Применены так же наполнители BN – мелкодисперсный и Si – среднедисперсный.

На Рис.1 представлено принципиальная зависимость прочностей ПКМ от типа и содержания наполнителей. Так как на прочностные характеристики ПКМ влияет исходная дисперсность материала матрицы (в данном случаи СВМПЭ производства ООО «ТНХК» г. Томск) представлены результаты ситового анализа рис.2

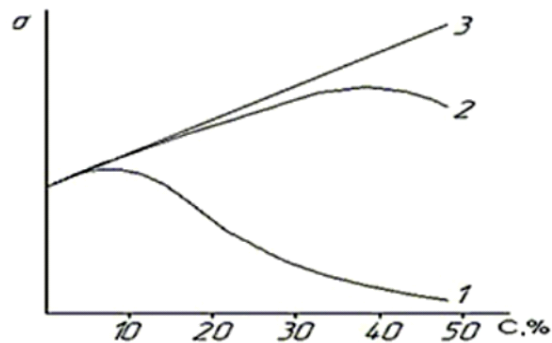


Рис. 1. Принципиальная зависимость прочности ( $\sigma$ ) полимерного материала от содержания ( $C, \%$ ) наполнителя: 1-дисперсного; 2- волокнистого рубленого; 3-армирующего (непрерывное волокно, тканый наполнитель)

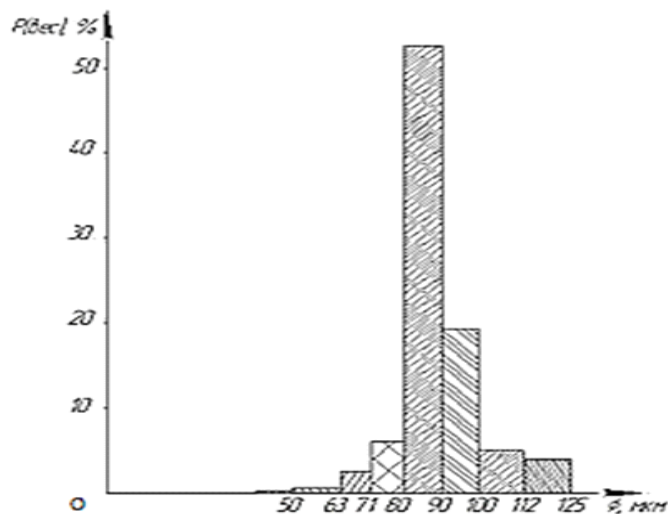


Рис. 2. Распределение частиц (весовое) в зависимости от дисперсности СВМПЭ

Модельные заготовки для исследований получали методом горячего компрессионного спекания [5].

Количественный диапазон вводимых наполнителей располагался в пределе от 3-13% весовых. Характерное изображение поверхности одного из ПКМ представлено на рис. 3.

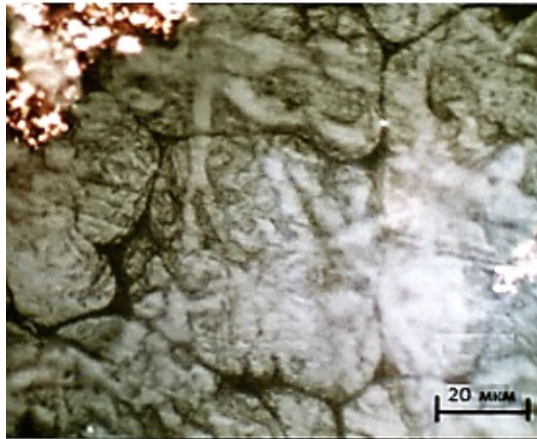


Рис. 3. Изображения поверхности композита с наполнителем в виде порошковой меди в количестве 7%

Исследование механических характеристик образцов изготовленных по ГОСТ 11262-80 было проведено на машине Instron 5582. Графическая интерпретация поведения образцов в плоть до их разрушения приведена на рис. 4.

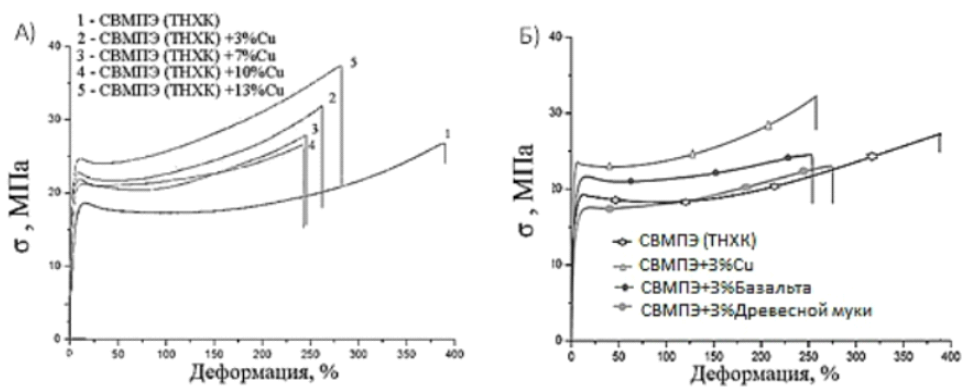


Рис.4. Зависимости напряжения разрушения от деформации для образцов с различными: А) процентным содержанием меди, Б) видом наполнителя

Твердость определялась с использованием твердомера ТКМ-359. Результаты измерений у образцов с различными типами наполнителей и процентным содержанием представлены на рис. 5.

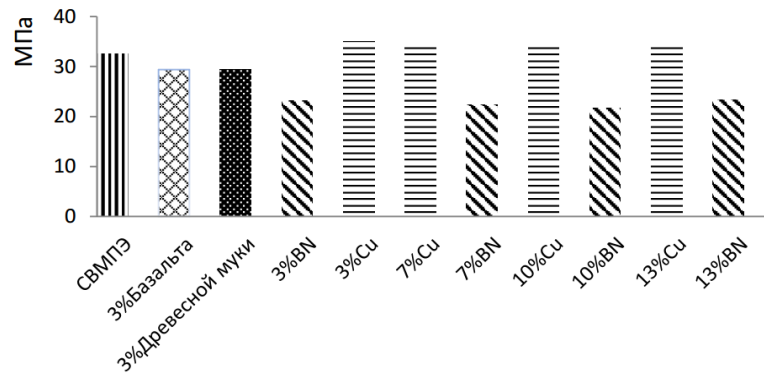


Рис. 5. Твердость по Бринеллю

По результатам анализа прочностных характеристик ПКМ (рис. 4,а) можно сделать вывод о том, что с возрастанием количества вводимого наполнителя увеличивается значения прочности, при одновременном снижении деформации разрушения по сравнению с эталонным образцов СВМПЭ изготовленным без введения наполнителей. Сравнивая аналогичные кривые полученные при исследования ПКМ содержащих по 3% наполнителей различного типа (рис.4.б) делаем вывод о том, что чем прочнее наполнитель, тем механические свойства композита выше (древесная мука – пластична, базальт – хрупок).

Рассматривая изменения значений твердости по типу вводимых наполнителей, очевидно, что введение среднedisперсной меди во всех случаях приводит к увеличению твердости образцов по сравнению с чистым СВМПЭ. Введение мелкодисперсного порошка BN привело к снижению твердости ПКМ по сравнению с не модифицированным СВМПЭ.

Применение в качестве наполнителя базальта и древесной муки понижают твердость полученных ПКМ по сравнению с чистым СВМПЭ, однако она выше, чем у образцов, имеющих в качестве наполнителя BN.

Приведенные экспериментальные данные могут быть использованы инженерно-техническими и научными работниками при создании новой аэрокосмической техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности / Под ред. И.Н. Андреевой, – Л.: Издательство Химия, 1982.–80 с.
2. Молчанов Б.И., Дугимов М.М., Свойства углепластиков и области их применения // Авиационная промышленность. – 1997. - №3. – С. 27-31.
3. Привалов А.А., Кондратюк А.А. О возможности использования композиций на основе СВМПЭ при изготовлении «тепловых труб» // Новые материалы. Создание, структура, свойства – 2012: Труды XII Всероссийской школы семинара, с международным участием. – Томск, 2012. – С. 208-210.
4. Деревянко В.А., Правильная температура – признак здоровья космических аппаратов // Наука в Сибири.- 2012. - №15. – С. 4.
5. Кондратюк А.А., Матренин С.В., Недосекова О.Ю. Исследование влияния количества наполнителя на механические характеристики композиционных полимеров // Известие ВУЗов, Физика. – 2014. – Т57. - №9/3. – С.98-102.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРИКЦИОННОГО НАГРЕВА  
ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ**

Ивкина О.П.

Научный руководитель: Сорокова С.Н., доцент, к. ф.-м. н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: olivkina93@yandex.ru

**MATHEMATIC MODELING OF FRICTIONAL HEATING DURING ROTARY MOTION**

Ivkina O.P.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Sorokova S.N.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: olivkina93@yandex.ru

*В статье формулируется математическая постановка задачи для случая локального фрикционного нагрева в режиме трения верчения. Осуществляется переход от цилиндрической системы координат к декартовой. Дальнейшее решение задачи осуществляется численными методами.*

*A mathematical formulation of the problem for the case of the local frictional heating mode rotary friction was enunciated. The transportation from the cylindrical coordinate system to Cartesian reference system was performed. A further solution of the problem is carried out by numerical methods.*

Трение является неотъемлемой частью функционирования многих систем, особенно это касается элементов механизмов. Многие приборы и аппараты в аэрокосмической области работают в режиме трения верчения с постоянной скоростью вращения. С развитием новых материалов и увеличением темпов производства необходимо не только сокращать время на изучение их свойства при различных режимах нагружения, но также необходимо иметь четкое представление о поведении этих материалов в различных условиях, в частности при их участии в трибоконтактах. Анализ процесса трения представляет собой интерес для изучения и развития современных покрытий. Математическое моделирование позволяет выбрать оптимальные условия для конкретных материалов и сэкономить на дорогостоящих экспериментах.

В безразмерных переменных в цилиндрической системе координат математическая модель локального фрикционного нагрева в процессе верчения включает уравнение теплопроводности [1]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial \theta}{\partial \rho} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left( \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} \right), \quad \rho \geq 0, \quad Z > 0, \quad \tau > 0; \quad (1)$$

и начальные и граничные условия:

$$\theta(\rho, Z, \tau) |_{\tau=0} = 0;$$

$$\left. \frac{\partial \theta(\rho, Z, \tau)}{\partial Z} \right|_{Z=0} = -\phi(\tau, \rho) (1 - \theta(\rho, Z, \tau) |_{Z=0}). \quad (2)$$

Последнее условие является требованием интегрируемости с квадратом функции  $\theta(\rho, Z, \tau)$  по пространственной переменной  $Z \in [0, +\infty)$  при любых фиксированных  $\rho > 0$  и  $\tau > 0$ ; функции  $\theta(\rho, Z, \tau)$  и  $\phi(\tau, \rho)$  являются оригиналами интегрального преобразования Ганкеля нулевого порядка [2] при любых фиксированных  $Z > 0$  и  $\tau > 0$ , что соответствует физически очевидным условиям симметрии.

Реализуемый режим фрикционного теплообразования в области термического контакта задается функцией  $\phi(\tau, \rho)$ , которая является неотрицательной и удовлетворяет условиям Гельдера [6]. В случае [3, 4]

трения вращения при не изменяющемся во времени диаметре области термического контакта постоянной угловой скоростью ( $\omega(t) \equiv \omega_0 - const$ ) функция  $\phi(\tau, \rho)$  принимает следующий вид:

$$\phi(\tau, \rho) \equiv \phi(\rho) = \frac{\rho}{R} [\eta(\rho) - \eta(\rho - R)], \quad (3)$$

где  $\eta(\dots)$  — функция Хевисайда[2].

Подчеркнем, что условия, накладываемые на функцию (3), не являются жесткими и соответствуют существующим режимам теплообразования на локальном термическом контакте. Для исследуемой математической формулировки задачи (1) выполнены все условия теоремы существования и единственности [6].

В задаче приняты следующие обозначения:

$$\partial\tau = \frac{\partial t}{z_*}; \quad \rho = \frac{r}{z_*}; \quad Z = \frac{z}{z_*}; \quad dZ = \frac{dz}{z_*}; \quad z_* = \sqrt{at_*};$$

$$a = \frac{\lambda}{C\gamma}; \quad \tau = \frac{t}{t_*}; \quad t_* = \frac{\lambda}{C\gamma} [q_0^{-1} C\gamma (T_m - T_0)]^2,$$

где  $z$  — пространственная переменная;  $z_*$  — выбранная единица масштаба [5];  $T_m$  — температура плавления материала;  $\gamma, C, a$  — плотность, теплоемкость и коэффициент теплопроводности материала полупространства соответственно; индекс 0 указывает на начальные значения величин.

$$\theta = \frac{T - T_0}{T_m - T_0};$$

при  $T = T_m$        $\theta = 1$ .

$$\partial\theta = \frac{1}{T_m - T_0} \partial T;$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial\tau} = \frac{t_*}{T_m - T_0} \frac{\partial T}{\partial t}.$$

Для численного решения задачи перейдем к декартовой системе координат. То есть к уравнению вида:

$$C\gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial\rho} \left( \rho \frac{\partial T}{\partial\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial Z} \right).$$

Для перевода из одной системы координат в другую воспользуемся следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial\rho} \left( \rho \frac{\partial T}{\partial\rho} \right) &= \frac{1}{\frac{r}{z_*}} \frac{\partial}{\partial \left( \frac{r}{z_*} \right)} \left( \frac{r}{z_*} \frac{\partial T}{\partial \left( \frac{r}{z_*} \right)} \frac{1}{\frac{r}{z_*} T_m - T_0} \frac{\partial}{\partial \left( \frac{r}{z_*} \right)} \right) = \frac{z_*}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{r}{z_*} \frac{1}{\partial r} \frac{\partial T}{T_m - T_0} \right) = \\ &= \frac{z_*^2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{r}{T_m - T_0} \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{at_*}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{r}{T_m - T_0} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial T}{\partial \rho} \right) = \frac{\lambda t_*}{C \gamma r} \left( \frac{r}{T_m - T_0} \frac{\partial T}{\partial r} \right). \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial Z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial Z} \right) = \frac{\partial}{\partial \left( \frac{z}{z_*} \right)} \left( \lambda \frac{1}{T_m - T_0} \frac{\partial T}{\partial \left( \frac{z}{z_*} \right)} \right) = z_*^2 \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{1}{T_m - T_0} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \Rightarrow$$

$$\frac{\partial}{\partial Z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial Z} \right) = \frac{\lambda t_*}{C \gamma} \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{1}{T_m - T_0} \frac{\partial T}{\partial z} \right). \quad (5)$$

$$t_* \frac{1}{T_m - T_0} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda t_*}{C \gamma r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{r}{T_m - T_0} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\lambda t_*}{C \gamma} \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{1}{T_m - T_0} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \Rightarrow$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{C \gamma} \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right]. \quad (6)$$

Таким образом, с учетом выражений (4), (5), (6) задача (1) будет выглядеть следующим образом:

$$C \gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right],$$

где  $C = C(T)$ .

Теплоемкость в данном случае определяется по формуле:

$$C(T) = C_0 + \frac{Q_m}{s \sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{T-T_m}{s}\right)^2}.$$

Граничное условие (3) в новой системе координат примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial z} \frac{\sqrt{a t_*}}{T_m - T_0} &= -\frac{\rho}{R} [\eta(\rho) - \eta(\rho - R)] \left[ 1 - \frac{T - T_0}{T_m - T_0} \right] \Rightarrow \\ \frac{\partial T}{\partial z} &= -\frac{T_m - T_0}{\sqrt{a^2 \frac{[C \gamma (T_m - T_0)]^2}{q_0^2}}} \frac{\rho}{R} [\eta(\rho) - \eta(\rho - R)] (T_m - T_0 - T + T_0) \frac{1}{T_m - T_0} \Rightarrow \\ \frac{\partial T}{\partial z} &= -\frac{\rho}{R} [\eta(\rho) - \eta(\rho - R)] \frac{q_0}{a C \gamma (T_m - T_0)}, \end{aligned}$$

где  $q_0$  – плотность теплового потока в области термического контакта, идущего на нагрев полупространства:

$$q \equiv q(t) = k\tau_f(T)\omega(t)r, \quad r \leq b(t),$$

где  $t$  — время;  $r$  — радиальная переменная;  $\omega$  — угловая скорость вращения;  $k \in (0,1]$  — коэффициент распределения тепловых потоков в материалах трущейся пары [4, 5];  $\tau_f(T)$  — напряжение трения, линейно убывающее с ростом температуры  $T$  [5].

Таким образом, выведена тепловая задача для случая термоконтакта двух поверхностей в процессе вращения. Предполагается решение данной задачи численными методами. Результаты теоретических выкладок будут использованы для исследования свойств температурного поля в пространстве при трении вращения с постоянной угловой скоростью, а также свойств покрытий материалов, изменяющихся под действием температуры в следствие нагрева трением. В уравнении учтены свойства материалов и изменение температуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аттетков А.В., Волков И.К., Тверская Е.С. Температурное поле изотропного полупространства, подверженного локальному фрикционному нагреву в режиме трения вращения // Вестник МГТУ им. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2006. – №2. – С. 35-44.
2. Лыков А. В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1967. – 600 с.
3. Коровчинский М.В. Основы теории термического контакта при локальном трении // Вопросы трения и проблемы смазки: сб. статей. – М.: Наука, 1968. – с. 5-72.
4. Евтушенко А.А., Иваник Е.Г. Термонапряженное состояние по локальном термическом контакте при трении вращения // Инженерно-физический журнал. – 1996. – Т.69, №1. – с.72-78.
5. Аттетков А.В., Волков И.К. Фрикционный разогрев материала движущимся тепловым источником // Химическая физика. – 1998. – Т.17, №1. – с. 120-127.
6. Ладыженская О.А., Солонников В.А., Уралцева Н.Н. Линейные и квазилинейные уравнения параболического типа. – М.: Наука, 1967. – 736 с.

#### **ВЛИЯНИЕ НАНОДИСПЕРСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ**

Пронина А.Е.

Научный руководитель: Назаренко О.Б., профессор, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: prosha\_evgenevna@mail.ru

#### **EFFECT OF NANOSIZED FILLER ON MECHANICAL PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES AFTER ELECTRON IRRADIATION**

Pronina A.E.

Scientific Supervisor: Prof., Ph.D. Nazarenko O.B.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: prosha\_evgenevna@mail.ru

*Введение нанодисперсных наполнителей в полимеры является перспективным способом получения материалов с улучшенными характеристиками и может способствовать повышению радиационной*

стойкости. В данной работе приготовлены образцы из эпоксидной смолы без наполнителя и с наполнителем – нанодисперсным алюминием (0,35 мас. %). Изучены механические характеристики образцов после облучения потоком электронов дозами 30, 100 и 300 кГр. Введение нанопорошка алюминия в эпоксидную смолу привело к повышению устойчивости полимера к радиационному воздействию.

*The introduction of nanosized fillers in polymers is a promising way to obtain materials with improved properties and can enhance the radiation resistance. In this study, the samples were prepared from the epoxy resin without filler and filled with nanodispersed aluminum (0.35 wt.%). The mechanical characteristics of the samples after irradiation with an electron beam of doses 30, 100 and 300 kGy were studied. The introduction of aluminum nanopowder in epoxy resin resulted in increased resistance to radiation.*

Полимерные композиционные материалы находят широкое применение в аэрокосмической отрасли при создании конструктивных элементов космических аппаратов, для крепления экранно-вакуумной теплоизоляции, в качестве заливочных компаундов, клеев. В частности, клеевые системы на основе эпоксидных смол используются для крепления теплозащитных неметаллических материалов, приборного оборудования, при монтаже фотоэлектрических элементов космических станций и спутников [1]. Этому способствуют такие свойства эпоксидных смол как высокая адгезионная способность, возможность соединения разнородных материалов, хорошие механические характеристики, стойкость к действию высоких и низких температур, различных видов ионизирующих излучений, химическая стойкость [2].

В условиях космических полетов материалы и конструктивные элементы космических аппаратов подвергаются воздействию потоков электронов и ионов высокой энергии, космической плазмы, солнечного электромагнитного излучения, твердых частиц естественного и искусственного происхождения, перепада температур от  $-196$  до  $200$  °С [3, 4]. Под воздействием высокоэнергетических ионизирующих излучений полимерные материалы становятся хрупкими и ухудшают свои эксплуатационные характеристики. Поэтому проблема повышения механических характеристик полимерных материалов, устойчивых к действию радиации в условиях космического пространства, является актуальной.

Перспективным способом получения полимерных материалов с улучшенными характеристиками является использование нанодисперсных наполнителей, при введении которых в полимерную матрицу происходит модифицирование структуры и свойств материала [4–6]. Для разработки радиационно-стойких полимерных композитов необходимо провести детальное исследование влияния нанодисперсных наполнителей на свойства полимеров.

Целью данной работы являлось исследование механических свойств полимерных материалов на основе эпоксидной смолы и нанодисперсного порошка алюминия после воздействия на них высокоэнергетических пучков быстрых электронов.

Образцы для исследования были изготовлены из эпоксидной смолы ЭД-20, отвержденной с помощью полиэтиленполиамиона (образец Е0). В качестве наполнителя использовали нанопорошок алюминия, полученный методом электрического взрыва проводников [7]. Концентрация наполнителя составляла 0,35 мас. % (образец ЕА0.35). Полимерные образцы имели следующие размеры: длина 80 мм, ширина 10 мм, толщина 4 мм. Облучение образцов проводилось пучком ускоренных электронов на установке ЭЛУ-4 Института неразрушающего контроля ТПУ дозами 30, 100, 300 кГр при нормальной температуре (293 К). Мощность поглощенной дозы составляла 42,5 Гр/с. Для набора статистики проводились испытания трех образцов при каждой дозе. Механические испытания на статическое растяжение проводили с помощью универсальной испытательной машины Н50КТ (Tinius Olsen). По результатам механических испытаний определяли предел прочности на растяжение, модуль упругости и относительное удлинение после разрыва.



При облучении электронами образцов ненаполненного эпоксидного полимера Е0 происходит изменение окраски от светло-коричневого до темно-коричневого цвета (рис. 1, а). Менее заметно изменение цвета наполненного образца ЕА0.35, который до облучения в результате введения нанопорошка алюминия имел черный цвет (рис. 1, б).

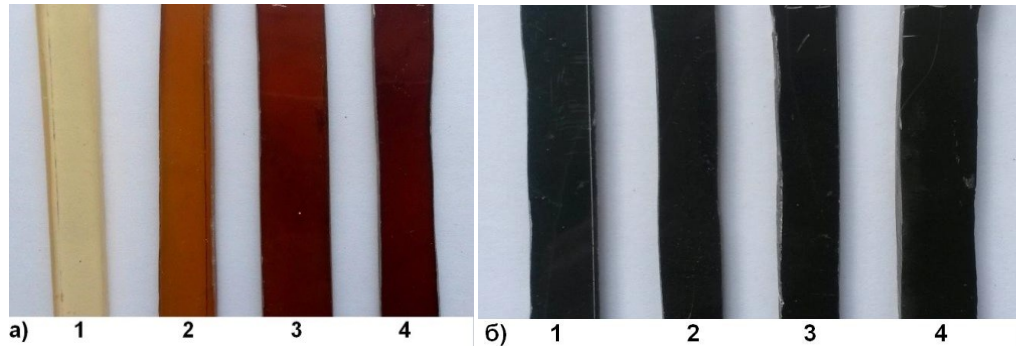


Рис. 1. Образцы эпоксидного полимера Е0 (а) и эпоксидного композита ЕА0.35(б), подвергнутые облучению потоком электронов при дозах: 1 – 0 кГр; 2 – 30 кГр; 3 – 100 кГр; 4 – 300 кГр

Для сравнительной оценки радиационной стойкости исходного эпоксидного полимера и наполненного образца взяли относительные величины предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости. Зависимости механических характеристик полимерных образцов представлены на рис. 2. Критерием радиационной стойкости конструкционных материалов силового назначения, согласно ГОСТ 25645.331–91 «Материалы полимерные. Требования к оценке радиационной стойкости», является снижение механических характеристик на 50 %. Степень сохранения свойств от исходного значения до 80 % характеризуется как незначительная, до 50 % – заметная, до 10 % – значительная [8].

Предел прочности эпоксидного полимера Е0 увеличивается после облучения до поглощенной дозы 100 кГр на 15 %, а затем уменьшается и составляет 83 % от исходной величины при дозе 300 кГр. Аналогичная зависимость получена для модуля упругости образца Е0. Для наполненного образца ЕА0.35 наблюдается увеличение предела прочности на 52 % при дозе 100 кГр, но даже после дальнейшего уменьшения при дозе 300 кГр предел прочности выше исходной величины на 19 %. Модуль упругости образца ЕА0.35 при облучении увеличивается до 223 % от исходного значения при дозе 300 кГр. Относительное удлинение при разрыве уменьшается после облучения потоком электронов для наполненного образца сильнее, чем для ненаполненного.

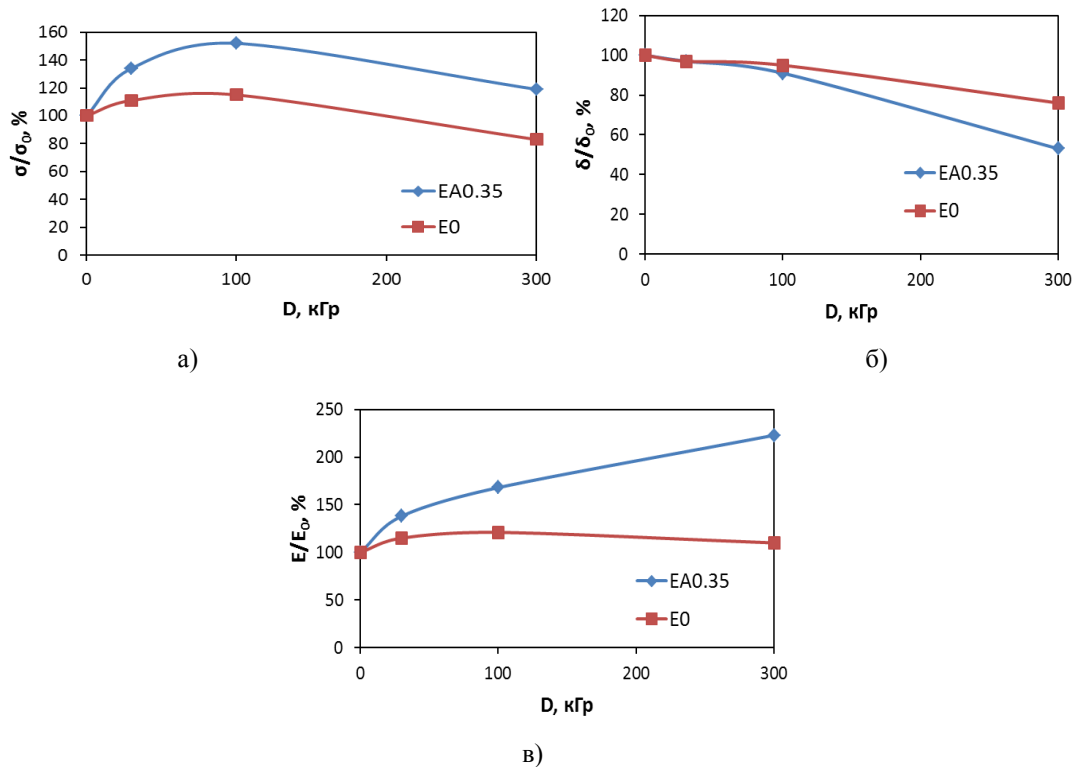


Рис. 2. Относительное изменение предела прочности на растяжение (а), относительного удлинения при разрыве (б) и модуля упругости (в) образцов E0 и EA0.35 в зависимости от дозы

Таким образом, из полученных результатов видно, что механические характеристики ненаполненного эпоксидного полимера деградируют с поглощенной дозой значительней, чем образца, наполненного нанодисперсным алюминием.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кардашов Д.А. Эпоксидные клеи. – М.: Химия, 1973. – 192 с.
2. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. – 232 с.
3. Акишин А.И. Космическое материаловедение. Методическое и учебное пособие. – М: НИИЯФ МГУ, 2007. – 209 с.
4. Новиков Л.С., Воронина Е.Н. Перспективы применения наноматериалов в космической технике. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2008. – 188 с.
5. Ястребинский Р.Н., Соколенко И.В., Иваницкий Д.А., Матюхин П.В. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12–6. – С. 983–986.
6. Nazarenko O.B., Amelkovich Y.A., Plyin A.P., Sechin A.I. Prospects of using nanopowders as flame retardant additives // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 872. – P. 123–127.
7. Nazarenko O.B., Amelkovich Y.A., Sechin A.I. Characterization of aluminum nanopowders after long-term storage // Applied Surface Science. – 2014. – Vol. 321. – P.475–480.
8. Милинчук В.К. Радиационная стойкость органических материалов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2001. – № 4. – С. 77–85.

**ПРОПИТКА ПОЛИМЕРНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ЭПОКСИДНЫМ СВЯЗУЮЩИМ,  
АКТИВИЗИРОВАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ**

Спирина Е.А., Лапышев А.А.  
Научный руководитель: Ляшко Ф.Е. профессор, д.т.н.  
Институт авиационных технологий и управления  
Ульяновский государственный технический университет  
Россия, г. Ульяновск, пр.Созидателей, д. 13 А, 432072  
E-mail: almadan11@mail.ru

**POLYMERIC FILLER IMPREGNATION WITH EPOXY BINDER, ACTIVATED  
ULTRASONIC VIBRATIONS**

Spirina E.A., Lapyshyov A.A  
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Lyashko F.E.  
Institute of Aviation Technology and Management  
Ulyanovsk State Technical University  
Russia, Ulyanovsk, pr. Sozidateley, 13 A, 432072  
E-mail: almadan11@mail.ru

*В данной статье рассматривается проблема пропитки плотных полимерных волокон эпоксидным связующим. Низкое содержание пор приводит к резкому уменьшению коэффициента проницаемости, что снижает скорость пропитки. В результате превышения времени вязкотекучего состояния наблюдается недостаточная пропитка наполнителя связующим и снижение его эксплуатационных характеристик. В качестве возможного решения предлагается активизация связующего с помощью ультразвуковых колебаний. Проведенные исследования показали, что при пропитке связующим, предварительно подвергнутым воздействию ультразвуковых колебаний, массовая доля связующего в препреге увеличивается на 30-50%, что свидетельствует о снижении вязкости связующего и облегчении его проникновения в межволоконное пространство наполнителя.*

*The article covers the issue of polymeric filler impregnation with epoxy binder. A low pore content decreases permeation rate drastically, which leads to impregnation speed falling. Going over the plastic state time limit results in deficient filler impregnation and its operational performance degradation. Polymeric filler activation with ultrasonic vibrations is proposed as a possible solution. The research showed that ultrasonic vibrations action which precedes the filler impregnation increases polymeric filler mass fraction in pre-preg by 30 to 50%. This means filler tenacity reduction and its better interfibrillar space penetration.*

В настоящее время в наукоемких отраслях промышленности, таких как авиа- и ракетостроение, все чаще применяются полимерные композиционные материалы (ПКМ), создаваемые таким образом, чтобы максимально увеличить содержание волокна и, следовательно, уменьшить объемное содержание пор. В современных полимерных волокнах сверхплотного плетения объемное содержание волокна может превышать 71%.

При применении технологии сверхплотного плетения появляется возможность производить более легкие, тонкие и обладающие лучшими механическими свойствами полимерные конструкции. Но при всех достоинствах существенно затрудняется технология пропитки наполнителя связующим за счет резкого снижения скорости пропитки ( $V_{\text{проп}}$ ).

При пропитке связующего в классической проточной ванне, по закону Дарси мы имеем:

$$V_{\text{проп}} = \frac{k\Delta P}{\eta l} = \frac{2kP}{\eta h},$$

где  $k$  – коэффициент проницаемости;

$P$  – давление связующего на глубине  $H$  (рис 2);

$h$  – толщина наполнителя;

$\eta$  – динамическая вязкость связующего.

Принимая толщину наполнителя, динамическую вязкость связующего и давление за величину постоянную мы делаем вывод, что время пропитки имеет прямо пропорциональную зависимость от

коэффициента проницаемости. В 2012 году были проведены исследования, по нахождению зависимости коэффициента проницаемости от объемного содержания волокна, из чего можно сделать вывод, что с повышением объемного содержания волокна в 1,5 раза (с 40 до 60%) коэффициент проницаемости уменьшается в 8 раз (с 0,4 до  $0,05 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$ ) (рис. 1). То есть, при равных условиях, пропитка полимерных волокон сверхплотного плетения будет протекать намного (в 8-10 раз) медленнее, что грозит превысить время вязкотекучего состояния связующего, и, следовательно, привести к недостаточной пропитке и образованию воздушных включений, что ведет к снижению физических свойств изделия (предела прочности при растяжении, сжатии, сдвиге), и, следовательно, преждевременному разрушению изделий из ПКМ.

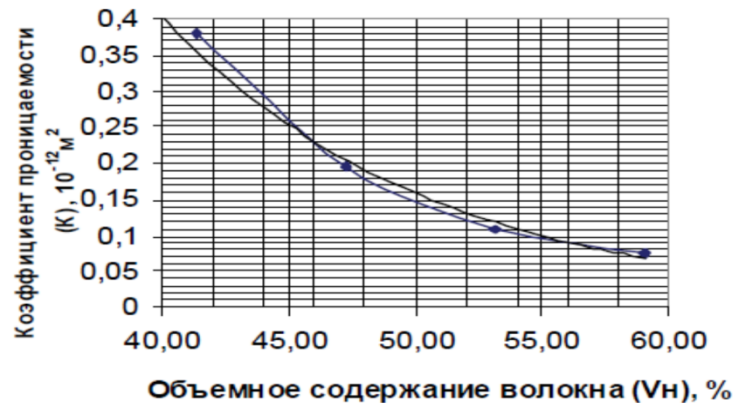


Рис. 1. Зависимость коэффициента проницаемости от объемного содержания волокна

В связи с этим, для того чтобы повысить эксплуатационные характеристики изделий из ПКМ, необходимо повысить эффективность процесса пропитки, то есть облегчить проникновение связующего в межволоконное пространство наполнителя.

Одним из наиболее эффективных методов повышения эффективности пропитки является физическое преобразование полимерного связующего с помощью ультразвуковых колебаний высокой интенсивности.

Важнейшим преимуществом данного метода является, прежде всего, снижение вязкости полимерного связующего в десять и более раз. Это облегчает проникновение полимерного связующего в межволоконное пространство наполнителя и позволяет избежать образования воздушных включений.

Для практической проверки описанного выше эффекта на базе лаборатории "Ультразвук" Института авиационных технологий и управления Ульяновского государственного технического университета был проведен ряд экспериментов по ультразвуковой пропитке.

Для эксперимента использовался ультразвуковой генератор УЗГ 3-4, мощностью 4 кВт, частотой колебаний 14 кГц и амплитудой на преобразователе 15 мкм. Форма волновода - цилиндр. В качестве наполнителя использовалась ткань углеродная УТ-900. Связующее - ЭДТ-69Н. Четыре образца из углеволокна размером 225 на 150 мм пропитывались в ванне связующим, предварительно обработанным ультразвуковыми колебаниями с различными временными промежутками. После чего проводилась отжимка связующего с помощью роликов и измерялся вес препрега.

Данные расчётов были сведены в таблицу. При этом следует отметить, что при пропитке без обработки связующего ультразвуковыми колебаниями массовая доля связующего в препреге была меньше 50%, что не соответствует установленным нормам.

Таблица 1. Результаты эксперимента

№	Время обработки, сек	Масса образца до эксперимента, г	Масса образца после эксперимента, г	Масса связующего в препреге, г
1	Без обработки	11,86	21,58	9,72
2	10	12,33	26,04	13,71
3	20	12,50	27,25	14,75
4	30	11,90	27,61	15,71

Из приведенных данных мы видим, что с увеличением времени воздействия ультразвуковых колебаний на связующее массовая доля его в препреге повышается не менее, чем на 30%. Для наглядного отображения этого изменения был построен график зависимости массовой доли связующего в препреге от времени пропитки (рис. 2.).

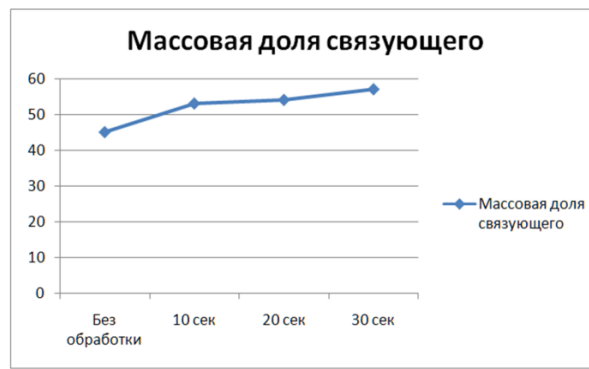


Рис. 2. График зависимости массовой доли связующего в препреге от времени пропитки

Таким образом, можно говорить о том, что применение ультразвука способствует облегчению проникновения связующего в межволоконное пространство волокнистого наполнителя. Данное улучшение происходит при воздействии на полимерные композиционные материалы УЗК, чем больше время воздействия на связующее, тем выше процентная доля связей, а значит качественней выпускаемая данная продукция. Но при этом при длительном воздействии происходит значительное испарение летучих и, следовательно, повышение его вязкости. Дальнейшие эксперименты будут направлены на установление оптимального времени воздействия ультразвуковых колебаний и проверке прочности изделий из полученных образцов на разрывной машине.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хмелёв В.Н. Ультразвуковая пропитка полимерных композиционных материалов / В.Н. Хмелёв, С.С. Хмелёв, С.Н. Цыганок, Г.А. Титов // Южно-сибирский научный вестник – 2012. - №2. - с. 192-196.
2. Хозин В.Г. Модифицирование эпоксидных композиций ультразвуком / В.Г. Хозин, А.А. Каримов, А.М. Череватский, А.А. Полянский, А.В. Мурафа. – Механика композиционных материалов – 1984. – № 4. – с. 702-706.
3. Прохоренко П.П. Ультразвуковой капиллярный эффект/ П.П. Прохоренко, Н.В. Дежунов, Г.Е. Коновалов. – Минск: Наука и техника, 1981. – Ч.1. – 135 с.

4. Галимов Э.Р. Основные тенденции в развитии и применении композиционных материалов в современной технике / Э.Р. Галимов. - Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева - 2000. - № 4. - с.20-25.
5. Колосов А.Е. Пропитка волокнистых наполнителей полимерным связующим. Ультразвуковая интенсификация пропитки / А.Е. Колосов, А.А. Каримов, В.Г. Хозин, В.В. Клявин // Механика композитных материалов. - 1988. - № 4. - С. 651
6. Хмелёв В.Н. Повышение эффективности ультразвукового воздействия при производстве высоконаполненных композиционных материалов / В.Н. Хмелёв, С.С. Хмелёв, С.Н. Цыганок, Г.А. Титов // Южно-сибирский научный вестник – 2012. - №2. - с. 192-196.
7. Коган Д.И. Свойства конструкционных углепластиков, изготовленных пропиткой под вакуумом / Д.И. Коган, М.И. Душин, А.В. Борщёв, Е.А. Вешкин, П.А. Абрамов, К.В. Макрушин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 14. -2012. - №4(2).
8. Магсумова А.Ф. Влияние ультразвуковой обработки на технологические свойства эпоксидного олигомера / А.Ф. Магсумова, Л.М. Амирова, М.М. Ганиев // Вестник КГТУ им. Туполева. – 2005. – №2.
9. Мийченко И.П. Технология полуфабрикатов полимерных материалов / Мийченко И.П. – М.: Научные основы и технологии, 2012. – 374 с.

**ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОГО СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ТИТАНА VT1-0 НА ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МИКРОТВЕРДОСТИ ЕГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ**

Хайруллин Р.Р.

Научный руководитель: Панин А.В., доцент, д.ф.-м.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: hairullin@list.ru

**EFFECT OF COMMERCIAL PURITY TITANIUM INITIAL STRUCTURAL STATE ON ITS SURFACE LAYER MICROSTRUCTURE AND MICROHARDNESS CHANGE DURING ULTRASONIC TREATMENT**

Hairullin R.R.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Dr. Panin A.V.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: hairullin@list.ru

*В настоящее время ультразвуковая обработка успешно применяется для поверхностного упрочнения металлов и сплавов. Однако в литературе нет ясного понимания влияния исходного структурного состояния технического титана VT1-0 на изменение его микроструктуры и механических свойств в процессе последующей ультразвуковой обработки. В данной работе исследовано влияние ультразвуковой обработки на микроструктуру и микротвердость поверхностного слоя образцов технического титана VT1-0, взятых в состоянии поставки и подвергнутых предварительному рекристаллизационному отжигу. Установлено, что в зависимости от исходного структурного состояния образцов VT1-0 наблюдается различный эффект по увеличению плотности дислокаций и двойников с границами специального типа  $\Sigma 7b$  и  $\Sigma 11b$  в поверхностных зернах в процессе ультразвуковой обработки. Показана связь между изменением структурных параметров и величиной микротвердости поверхностного слоя образцов VT1-0, подвергнутых ультразвуковой обработке.*

*Currently ultrasonic treatment is widely used for the surface hardening of metals and alloys. However there is not clear understanding in the literature about the effect of commercial purity titanium structural state on its microstructure and mechanical properties change during ultrasonic treatment. The work presents a study of the ultrasonic treatment effect on the surface layer microstructure and microhardness of as-received and recrystallized commercial purity titanium specimens. Different effect of the dislocations density growth and the twins with special*

*boundaries  $\Sigma 7$  and  $\Sigma 11$  increase within the surface grains during ultrasonic treatment depending on initial structural state of commercial purity titanium specimens was found. The relationship between the surface layer structural parameters change and the microhardness value of commercial purity titanium specimens subjected to ultrasonic treatment was shown.*

Титан и его сплавы благодаря наличию высоких удельной прочности, коррозионной стойкости, биоинертности и хладостойкости являются одним из наиболее перспективных конструкционных материалов для создания деталей и узлов самолетов и ракет в авиационно-космической промышленности, имплантов в медицине, а также агрегатов в химической промышленности [1]. С целью улучшения механических и физико-химических свойств материалов, в т. ч. и титановых сплавов, активно используются различные методы поверхностного упрочнения (химико-термическая обработка, поверхностная закалка, обработка электронным пучком, ионная имплантация и др.), среди которых своей относительной простотой технической реализации и низкой себестоимостью выделяется ультразвуковая обработка [2]. Хорошо известно, что воздействие индентора, колеблющегося с ультразвуковой частотой, позволяет в широких пределах изменять дислокационную субструктуру материала, измельчать зерна и субзерна до размеров нано- и субмикронного диапазона, формировать сжимающие напряжения в поверхностном слое материала и, тем самым, существенно улучшать физические и механические свойства конструкционных материалов, такие как твердость, предел текучести, износостойкость, усталостная прочность и коррозионная стойкость [3]. Однако влияние исходного структурного состояния материала на закономерности изменения его микроструктуры в процессе ультразвуковой обработки и связанного с этим повышения механической прочности к настоящему времени не выявлено. Целью данной работы являлось исследование влияния исходного структурного состояния технического титана ВТ1-0 на изменение микроструктуры и микротвердости его поверхностного слоя в процессе ультразвуковой обработки.

В качестве материала для исследований были выбраны образцы технического чистого титана марки ВТ1-0 (0.2 % Al, 0.4 % Zr, 0.3 % Mn, 0.01 % Cr, 0.06 % Si, 0.2 % Fe, 0.02 % Cu и 98.8 % Ti), взятые в состоянии поставки и после отжига в вакууме при температуре 750 °С в течение 1 часа. Средний размер зерна образцов, находящихся в состоянии поставки, составлял 40 мкм, а рекристаллизованных образцов – 100 мкм. Ультразвуковую обработку проводили инструментом, представляющим собой колебательную систему, состоящую из ультразвукового магнитострикционного преобразователя и волновода-концентратора, к торцу которого присоединен сферический индентор из твердого сплава марки ВК8. В процессе ультразвуковой обработки инструмент прижимается к обрабатываемой поверхности титановых образцов с силой 200 Н, совершая колебания с частотой ~22 кГц и амплитудой ~40 мкм. Диаметр индентора и скорость его движения вдоль образцов составляли 10 мм и 0,015 м/с, соответственно. Микроструктуру образцов титана ВТ1-0 исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO EVO 50 с системой регистрации дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD) Oxford Instruments CHANNEL5. Дефектную субструктуру исследуемых образцов определяли методами дифракционной электронной микроскопии тонких фольг на просвечивающем электронном микроскопе JEM-2100. Рентгеноструктурные исследования образцов выполняли на дифрактометре ДРОН-7 с использованием  $\text{CoK}_\alpha$ -излучения. Измерения микротвердости  $H_{\mu}$  исследуемых образцов выполняли на микротвердомере “ПМТ-3” с нагрузкой 50 г.

По результатам EBSD-исследований установлено, что в исходном состоянии как в образцах, находящихся в состоянии поставки, так и в рекристаллизованных образцах, зерна имеют различную ориентацию. Ультразвуковая обработка титановых образцов приводит к уменьшению среднего размера

поверхностных зерен в два раза, увеличению доли малоугловых границ (МУГ) и к формированию деформационных двойников с когерентными границами специального типа  $\Sigma 7b$  и  $\Sigma 11b$ . Сравнительный анализ доли формирующихся МУГ и двойникованных границ продемонстрировал, что относительная доля МУГ в образцах, находящихся в состоянии поставки, в три раза меньше, а доля двойникованных границ специального типа  $\Sigma 7b$  и  $\Sigma 11b$  в четыре раза больше, чем в рекристаллизованных образцах.

Исследования, проведенные методом просвечивающей электронной микроскопии, показали, что плотность дислокаций в образцах ВТ1-0, находящихся в состоянии поставки, и в рекристаллизованных образцах составляет  $10^9$  и  $10^8$  см<sup>-2</sup>, соответственно. Последующая ультразвуковая обработка приводит к росту плотности дислокаций в поверхностном слое исследуемых образцов до  $10^{10}$  см<sup>-2</sup>.

Рентгеноструктурными исследованиями выявлено, что после ультразвуковой обработки в образцах ВТ1-0, находящихся в состоянии поставки, величина микроискажений кристаллической решетки и средний размер областей когерентного рассеяния (ОКР) составляют 0,3 % и 80 нм, соответственно. В свою очередь в рекристаллизованных образцах, подвергнутых ультразвуковой обработке, величина микроискажений и средний размер ОКР в два раза меньше. Кроме того, установлено, что величина остаточных макронапряжений после ультразвуковой обработки не зависит от исходного состояния материала и составляет -210 МПа.

Согласно данным измерений микротвердости образцов ВТ1-0, установлено, что в предварительно рекристаллизованных образцах микротвердость на поверхности увеличивается на 900 МПа после ультразвуковой обработки. В свою очередь, в образцах, находящихся в состоянии поставки, после ультразвуковой обработки микротвердость на поверхности увеличилась только на 650 МПа. Глубина упрочненного слоя также определяется исходным структурным состоянием и составляет 70 и 120 мкм для образцов, находящихся в состоянии поставки, и для рекристаллизованных образцов, соответственно.

На повышение микротвердости поверхностных зерен образцов ВТ1-0 после ультразвуковой обработки в общем случае влияют размер зерна, плотность дислокаций и двойников. Согласно известному закону Холла-Петча предел текучести поликристаллического материала возрастает с уменьшением среднего размера зерна. Средний размер зерна на поверхности образцов ВТ1-0 уменьшается после ультразвуковой обработки примерно в два раза независимо от исходного структурного состояния. В связи с этим объяснить больший прирост по микротвердости рекристаллизованных образцов большим уменьшением размера зерна не представляется возможным. Главной причиной более высокого прироста микротвердости в образцах, подвергнутых предварительному отжигу, является больший на порядок прирост по плотности дислокаций в поверхностных зернах после ультразвуковой обработки. В то же самое время, в образцах, находящихся в состоянии поставки, также наблюдается существенное увеличение микротвердости поверхности после ультразвуковой обработки относительно исходного состояния. Данный эффект связан с более выраженным образованием двойников с границами типа  $\Sigma 7b$  и  $\Sigma 11b$  в поверхностных зернах данных образцов. Несмотря на то, что указанные двойники не являются эффективными барьерами для движения дислокаций [4], они вносят вклад в повышение микротвердости поверхности образцов ВТ1-0, находящихся в состоянии поставки, за счет увеличения микроискажений кристаллической решетки.

Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Ультразвуковая обработка образцов ВТ1-0 приводит к фрагментации структуры их поверхностного слоя, интенсивному двойникованию, увеличению плотности дислокаций и внутренних напряжений, что способствует росту микротвердости поверхности. Двойникование, приводящее к



формированию границ специального типа  $\Sigma 7b$  и  $\Sigma 11b$ , оказывается более выраженным в образцах ВТ1-0, находящихся в состоянии поставки.

2. Глубина поверхностного упрочнения титановых образцов в результате ультразвуковой обработки определяется средним размером зерна и исходной плотностью дислокаций. С уменьшением среднего размера зерна и с увеличением плотности дислокаций уменьшается глубина упрочненного поверхностного слоя после ультразвуковой обработки.

3. Большее увеличение твердости поверхностного слоя рекристаллизованных образцов ВТ1-0, подвергнутых ультразвуковой обработке, связано с более существенным увеличением плотности дислокаций в поверхностных зернах. Несмотря на то, что двойники с когерентными границами специального типа  $\Sigma 7b$  и  $\Sigma 11b$ , формирующиеся в поверхностном слое титановых образцов в процессе ультразвуковой обработки, не являются барьерами для внутризеренного скольжения, они дополнительно способствуют упрочнению поверхностного слоя образцов ВТ1-0, находящихся в состоянии поставки, за счет роста микроискажений кристаллической решетки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-19-00766). Экспериментальные исследования проводились на приборах ЦКП «НАНОТЕХ» Института физики прочности и материаловедения СО РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E.O. Ezugwu, Z.M. Wang. Titanium alloys and their machinability – a review // *Journal of Materials Processing Technology*. –1997. – V. 68 (3). – P. 262–274.
2. M.A. Vasylyev, S.P. Chenakin, L.F. Yatsenko. Ultrasonic impact treatment induced oxidation of Ti6Al4V alloy // *Acta Materialia*. – 2016. – V. 103. – P. 761-774.
3. Chang Ye, Abhishek Telang, Amrinder S. Gill et al. Gradient nanostructure and residual stresses induced by Ultrasonic Nano-crystal Surface Modification in 304 austenitic stainless steel for high strength and high ductility // *Materials Science & Engineering A*. – 2014. – V.613. – P. 274–288.
4. Panin A.V., Kazachenok M.S., Kozelskaya A.I., Hairullin R.R., Sinyakova E. A. Mechanisms of surface roughening of commercial purity titanium during ultrasonic impact treatment // *Materials Science and Engineering A*. – 2015. – V. 647. – P. 43-50.

## РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ

Шамиева А.Р., Лопатин И.В., Петрикова Е.А., Тересов А.Д., Толкачев О.С., Шугуров В.В.

Научный руководитель: Иванов Ю.Ф., профессор, д.ф.-м.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: shamieva\_nastya@mail.ru

## DEVELOPMENT OF THE COMBINED METHOD OF HARDENING OF THE SURFACE OF ALUMINIUM

Shamieva A.R., Lopatin I.V., Petrikova E.A., Teresov A.D., Tolkachev O.S., Shugurov V.V.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Ivanov Yu.F.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: shamieva\_nastya@mail.ru

*Представлены результаты, полученные при исследовании фазового и элементного состава, дефектной субструктуры поверхности технически чистого алюминия марки А7, подвергнутого комбинированной обработке, сочетающей напыление металлической пленки, электронно-пучковое перемешивание системы пленка/подложка и последующее азотирование в плазме газового разряда низкого давления. Выполнен анализ закономерностей, выявлены режимы воздействия, позволяющиекратно повышать микротвердость и износостойкость материала.*

*The results are presented, received at research of phase and elemental composition, defective substructure of surface technically pure aluminium of the A7, subjected to the combined processing combining spraying metal film, electron-beam mixing of system film/substrate and subsequent nitriding in plasma of the gas discharge of low pressure. The analysis of regularities is made, revealed the modes of influence allowing multiple to raise a microhardness and wear resistance of material.*

Алюминий и его сплавы широко используются в промышленности благодаря достаточно большой удельной прочности, удовлетворительной коррозионной стойкости и хорошей обрабатываемости механическими методами [1]. Однако наряду с этими преимуществами алюминий обладает малой твердостью и невысокой износостойкостью, что существенно сужает сферу его применения. Диффузионное насыщение поверхности алюминия ионами азота позволяет в той или иной мере минимизировать эти недостатки, однако для реализации процесса азотирования алюминия необходимо решить ряд специфических проблем [2]. Во-первых, сокращение длительности процесса азотирования. Широкие возможности в этом направлении дает повышение температуры насыщения, однако высокотемпературное азотирование сопровождается существенным понижением твердости диффузионного слоя и детали в целом. Во-вторых, присутствие на поверхности алюминия и его сплавов оксидной пленки, препятствующей поступлению азота на обрабатываемую поверхность, – необходима эффективная очистка поверхности в процессе азотирования. В-третьих, формирование на поверхности образца пленки нитрида алюминия, которая препятствует поступлению азота вглубь образца и не позволяет сформировать протяженные упрочненные слои.

Одним из направлений решения указанных проблем является разработка методов азотирования в плазме газового (дугового) разряда низкого давления [3]. В этом подходе налетающий поток плазмы позволяет распылять тонкий поверхностный слой, интенсифицируя процесс проникновения азота в объем образца. Проблема, затрудняющая развитие данного подхода, – нитрид алюминия, являясь диэлектриком, осложняет подачу потенциала на обрабатываемое изделие в процессе ионного азотирования. Наличие диэлектрической пленки на азотируемой поверхности приводит к тому, что заряд ионов не может стекать во внешнюю цепь и накапливается на поверхности, что приводит к электрическому пробое пленки нитрида алюминия и ее разрушению с образованием катодного пятна на обрабатываемой поверхности. Для преодоления указанной проблемы в настоящей работе на поверхность образцов алюминия перед

азотированием напыляли тонкий (0,5 мкм) слой сплава 12Х18Н10Т. После напыления часть образцов (система пленка/подложка) облучалась интенсивным электронным пучком для вплавления пленки в подложку.

Целью настоящей работы является анализ структуры и свойств алюминия, подвергнутого комбинированной обработке, включающей напыление пленки сплава 12Х18Н10Т, облучение интенсивным электронным пучком и, на завершающей стадии, насыщение поверхностного слоя материала азотом.

В качестве модифицируемого материала использовали технически чистый алюминий марки А7. Комбинированная обработка алюминия проводилась в три этапа: 1) формирование пленки сплава 12Х18Н10Т (модернизированная установка ионно-плазменного напыления «Квинта»); 2) облучение системы «пленка (сплав 12Х18Н10Т) / (А7) подложка» интенсивным импульсным электронным пучком (установка «СОЛО»); 3) азотирование модифицированной поверхности алюминия (установка ННВ-6.6-И1, дооснащенная плазмогенератором «ПИНК»), температура азотирования 540 °С, длительность азотирования 8 часов. Механические испытания модифицированной поверхности осуществляли, определяя микротвердость (прибор ПМТ-3, метод Виккерса) при нагрузках на индентер 0,2 Н и 0,5 Н, нанотвердость и модуль Юнга (ультрамикротвердомер Shimadzu DUH-211S; нагрузка на индентор изменялась в интервале от 10 мН до 300 мН). Трибологические испытания модифицированной поверхности осуществляли на трибометре «CSEM Tribometer High Temperature S/N 07-142», CSEM Instruments, Швейцария; скорость износа оценивали по площади поперечного сечения трека износа, используя 3D-профилометр MICROMEASURE 3D station французской фирмы STIL. Дефектную структуру материала изучали методами оптической (микроскоп «Микровизор металлографический  $\mu$  Vizo - МЕТ-221»), сканирующей (сканирующий электронный микроскоп "SEM-515 Philips") и просвечивающей дифракционной (прибор JEM-2100F JEOL) электронной микроскопии. Элементный состав поверхностного слоя определяли методами микрорентгеноспектрального анализа (микроанализатор EDAX ECON IV, являющийся приставкой к электронному сканирующему микроскопу SEM-515 «Philips»). Анализ фазового состава, состояния кристаллической решетки, величины микронапряжений, размера областей когерентного рассеяния поверхностного слоя выполняли методами дифракции рентгеновских лучей (дифрактометр XRD-7000s, Shimadzu, Япония).

Выполнены исследования структуры поверхности образцов технически чистого алюминия, подвергнутых комбинированной обработке, включающей напыление пленки сплава 12Х18Н10Т, облучение интенсивным электронным пучком и, на завершающей стадии, насыщение поверхностного слоя материала азотом. Выявлено формирование островковой структуры с размерами островков до 5 мкм (рис. 1, а). Размеры субструктуры островков изменяются в пределах от 100 нм до 500 нм (рис. 1, б). Основной причиной формирования островковой структуры при азотировании в плазме газового разряда низкого давления является бомбардировка поверхности материала ионами плазмы, что сопровождается растравливанием поверхностного слоя образца.

Исследования фазового состава модифицированного слоя алюминия, выполненные методами рентгеноструктурного анализа и просвечивающей электронной дифракционной микроскопии, позволили выявить в поверхностном слое многофазное состояние, основными фазами которого являются нитрид алюминия AlN ( $\approx 75$  мас.%) и алюминий. Показано, что в слое, прилегающем к поверхности модифицирования, размеры частиц второй фазы (100-250) нм. При удалении от поверхности модифицирования на расстояние (5-10) мкм выявляются области, содержащие частицы нитрида алюминия, размеры которых (2-5) нм.

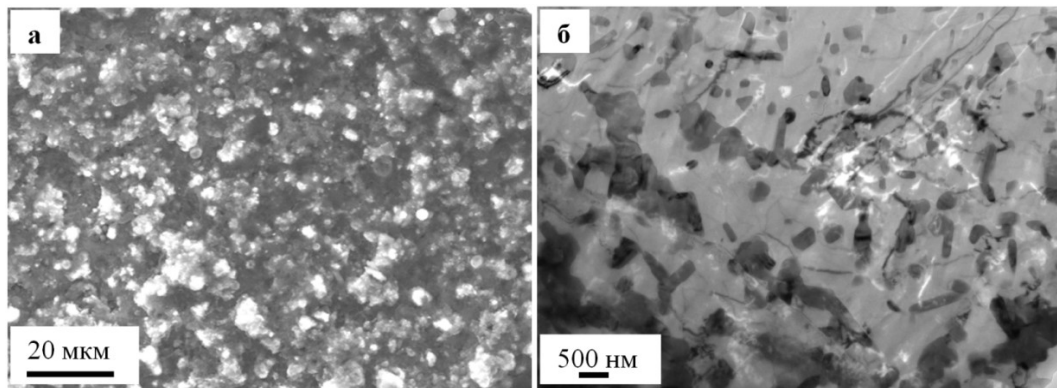


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение поверхности (а) и приповерхностного слоя (б) технически чистого алюминия марки А7, подвергнутого комбинированной обработке, заключающейся в облучении электронным пучком (16 кэВ, 30 Дж/см<sup>2</sup>, 200 мкс, 0,3 с<sup>-1</sup>, 10 имп.) системы «пленка (сплав 12Х18Н10Т) / (А7) подложка» и последующем азотировании в плазме газового разряда низкого давления; а – сканирующая электронная микроскопия; б – просвечивающая дифракционная электронная микроскопия

Выполнены трибологические испытания модифицированных образцов технически чистого алюминия А7. Показано, что наиболее высокие результаты обнаруживаются для следующего режима модифицирования: азотирование (температура 540 °С (8 час.), ток 120 А, напряжение 250 В, давление газа 0,9 Па) комплексно легированного поверхностного слоя, сформированного путем облучения системы «пленка (сплав 12Х18Н10Т, 0,5 мкм) / (А7) подложка» интенсивным электронным пучком (30 Дж/см<sup>2</sup>, 200 мкс, 20 имп., 0,3 с<sup>-1</sup>). А именно, выявлено увеличение износостойкости в ≈9 раз и снижение коэффициента трения в ≈1,3 раза. Методами наноиндентирования установлено, что толщина упрочненного слоя при данном режиме модифицирования достигает 30 мкм. Твердость поверхностного слоя более чем в 4 раза превышает твердость исходного материала.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-29-00091).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов Н.А. Фазовый состав промышленных и перспективных алюминиевых сплавов. – М.: Изд-во МИСиС, 2010. – 510 с.
2. Будилов В.В., Коваль Н.Н., Киреев Р.М., Рамазанов К.Н. Интегрированные методы обработки конструкционных и инструментальных материалов с использованием тлеющих и вакуумно-дуговых разрядов. – М.: Машиностроение, 2013. – 320 с.
3. Ivanov Yu.F., Akhmadeev Yu.H., Lopatin I.V., Petrikova E.A., Krysina O.V., Koval N.N. Structure and properties of commercially pure titanium nitrided in the plasma of a low-pressure gas discharge produced by a PINK plasma generator // Journal of Physics: Conference Series 652 (2015) 012013.

---

## СЕКЦИЯ №3

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ В АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛЯХ

---

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ТЕРМОЭДС

Абуеллаиль А.А., Обач И.И., Сорокин П.В.

Научный руководитель: Солдатов А.А., профессор, д.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: demo\_092@icloud.com

### INVESTIGATION OF THERMOCOUPLES ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Abouellail A.A., Obach I.I., Sorokin P.V.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Soldatov A.A.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: demo\_092@gmail.com

*В этой статье продемонстрированы результаты экспериментальных исследований электрических характеристик термопар. Измерения проводились с использованием различных типов термоэлементов, каждая из них была изучена в одиночном и параллельном включении, что эквивалентно многоточечному контакту горячего электрода с контролируемой поверхностью. В исследовании были использованы термопары хромель-алюмель и нихром-константан. Термоэлектрические характеристики были измерены в температурном диапазоне 160° – 400° по Цельсию для определения оптимальной температуры горячего электрода. Кроме того, было исследовано влияние сопротивления нагрузки в диапазоне от 1 Ом до 10 кОм на электрические характеристики термопар. В дальнейшем эти характеристики помогут определить требования к усилителям термоЭДС.*

*This paper demonstrates the outcome of experimental studies on thermoelectric characteristics of thermocouples. Measurements were carried out using different types of thermocouples; each studied alone then investigated when they are connected in parallel, in order to simulate the imperfect nature of the various multi-contact surface of the tested object. The investigated types were Chromel-Alumel and Nichrome-Constantan. The thermoelectric characteristics were measured at the temperature range 160° – 400° Celsius, in order to identify the best operating temperature for the hot electrode. Furthermore, the load resistance is another important factor that has been investigated and therefore varied from 1 Ω to 10 kΩ, in order to determine its effect on the electrical characteristics of thermocouples. Accordingly, these characteristics will help defining the requirements for thermoelectric power amplifiers.*

#### Введение

Термоэлектрический метод довольно широко применяется в неразрушающем контроле металлов и сплавов. Но на результат контроля влияет неоднородность и шероховатость исследуемой поверхности, вследствие чего контакт получается многоточечным. Влияние качества исследуемой поверхности на результат контроля отражено в работе [1]. Многоточечный контакт приводит в эквивалентной схеме к параллельному соединению нескольких термопар, имеющих различные характеристики за счет локальных колебаний химического состава исследуемого металла или сплава.

Для того, чтобы учитывать влияние термопар на результаты контроля, нужно изучить их характеристики. Анализ литературы показал, что до настоящего времени не проводились исследования характеристик источника термоЭДС. Учет этих характеристик и степени влияния выше перечисленных факторов позволит существенно повысить технические характеристики приборов термоэлектрического контроля.

### Исследование

В данной работе были исследованы характеристики нескольких термопар в диапазоне (160 – 400)°С. Были исследованы характеристики термопар хромель-алюмель, нихром-константан и их параллельное соединение.

Экспериментальная установка, структурная схема которой приведена на рис. 1, состоит из:

- 1) Термокамеры;
- 2) Термопары (хромель-алюмель, нихром-константан);
- 3) Сопротивления нагрузки (номиналом 1 Ом; 5,2 Ом; 10 Ом; 100 Ом; 1000 Ом; 10 кОм);
- 4) Измерительные приборы (вольтметр и амперметр).



Рис. 1. Структурная схема эксперимента

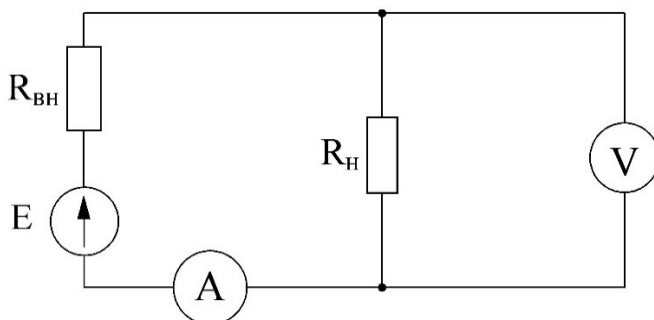


Рис. 2. Принципиальная схема эксперимента

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 2. Термопара представлена в схеме (рис. 2) как источник напряжения  $E$  с внутренним сопротивлением  $R_{вн}$ . В ходе эксперимента производился поочередный нагрев термопары № 1 (нихром-константан) и термопары № 2 (хромель-алюмель) в термокамере при температуре от (160 – 400) °С. В ходе исследований измерялось падение напряжения на сопротивлении нагрузки  $R_n$ . Измерения производились в одиночном и в параллельном включении термопар, с сопротивлением нагрузки  $R_n$  номиналом (1 Ом; 5,2 Ом; 10 Ом; 100 Ом; 1000 Ом; 10 кОм). Затем проводился расчет термоЭДС, внутреннего сопротивления  $R_{вн}$ , тока в цепи  $I$ , максимальной мощности  $P$ , по формулам, представленным ниже.

$E$  – источник термоЭДС,  $R_{вн}$  – внутреннее сопротивление,  $R_n$  – сопротивление нагрузки

#### Методика расчета внутреннего сопротивления источника термоЭДС $R_{вн}$

Из второго закона Кирхгофа [2] сумма ЭДС в контуре равна сумме падений напряжений на сопротивлении, поэтому:

$$E = U_{вн} + U_n = IR_{вн} + IR_n \quad (1)$$

где:  $E$  – термоЭДС,  $U_{вн}$  – падение напряжения на внутреннем сопротивлении,  $U_n$  – напряжение на нагрузке.

Преобразовав выражение (1), получим:

$$R_{вн} = \frac{E - IR_n}{I}$$

Е будет максимальным при условии холостого хода:

$$E = E_{\max} = U_{n_{xx}}$$

где: E– термоЭДС,  $E_{\max}$ – максимальное измеренное термоЭДС,  $U_{n_{xx}}$ – напряжение нагрузки холостого хода.

Результаты измерения напряжения на нагрузке для четырех значений температуры представлены на рис. 3. Рис. 3, а отображает результаты исследования термопары хромель-алюмель. Рис. 3, б отображает результаты исследования термопары нихром-константан. А на рис.3, в показан случай их параллельного соединения.

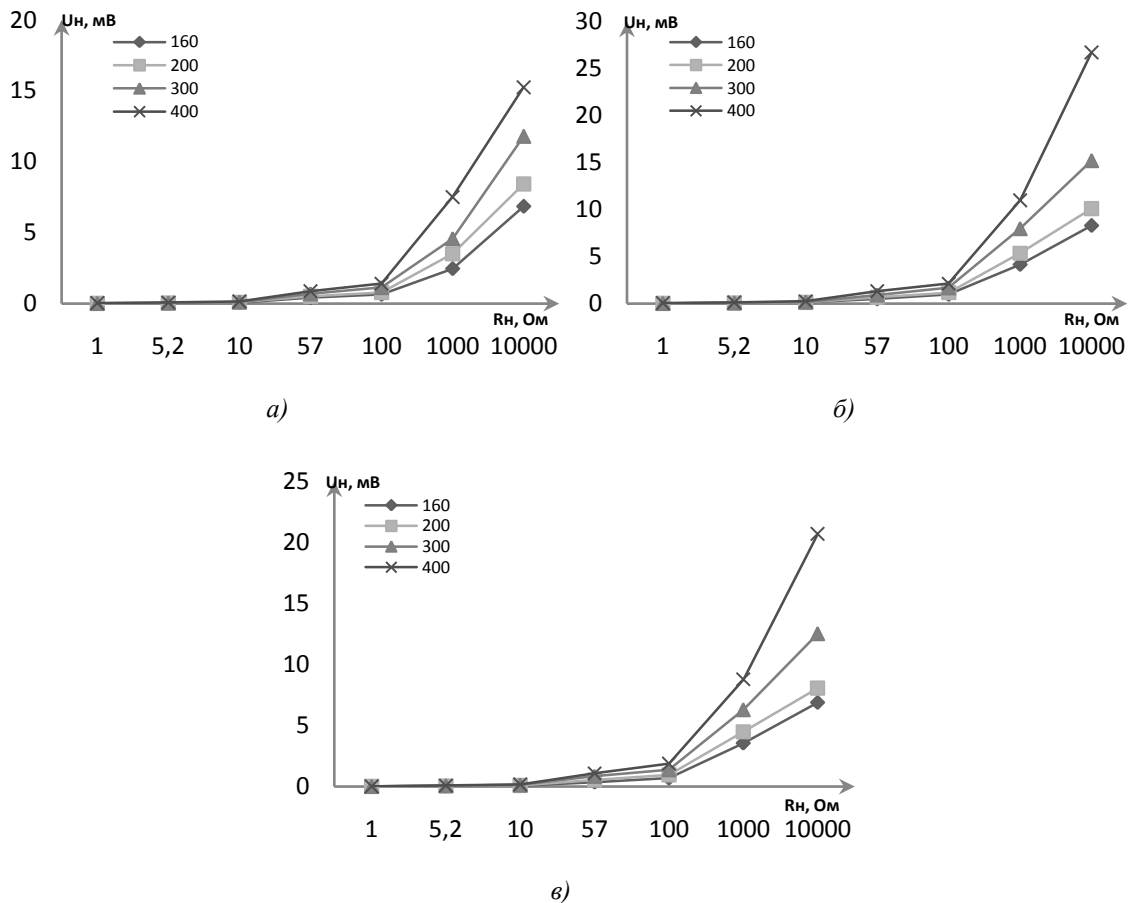


Рис. 3. Зависимость напряжения на нагрузке от сопротивления нагрузки для различных термопар при температуре (160–400)°С градусов: а) хромель-алюмель б) нихром-константан в) параллельное соединение хромель-алюмель и нихром-константан

Как видно из графиков с увеличением  $R_n$  напряжение на нагрузке увеличивается, приближаясь к значению термоЭДС при холостом ходе. С увеличением температуры значение  $U_n$  увеличивается вследствие увеличения термоЭДС, которое пропорционально температуре.

Результаты расчета внутреннего сопротивления источника термоЭДС от сопротивления нагрузки представлены на рис. 4. На рис. 4, а приведены результаты расчета внутреннего сопротивления источника термоЭДС, образованного термопарой хромель-алюмель. На рис. 4, б приведены результаты расчета внутреннего сопротивления термопары нихром-константан и на рис. 4, в приведены результаты расчета внутреннего сопротивления эквивалентного источника, образованного параллельным подключением термопар нихром-константан и хромель-алюмель.

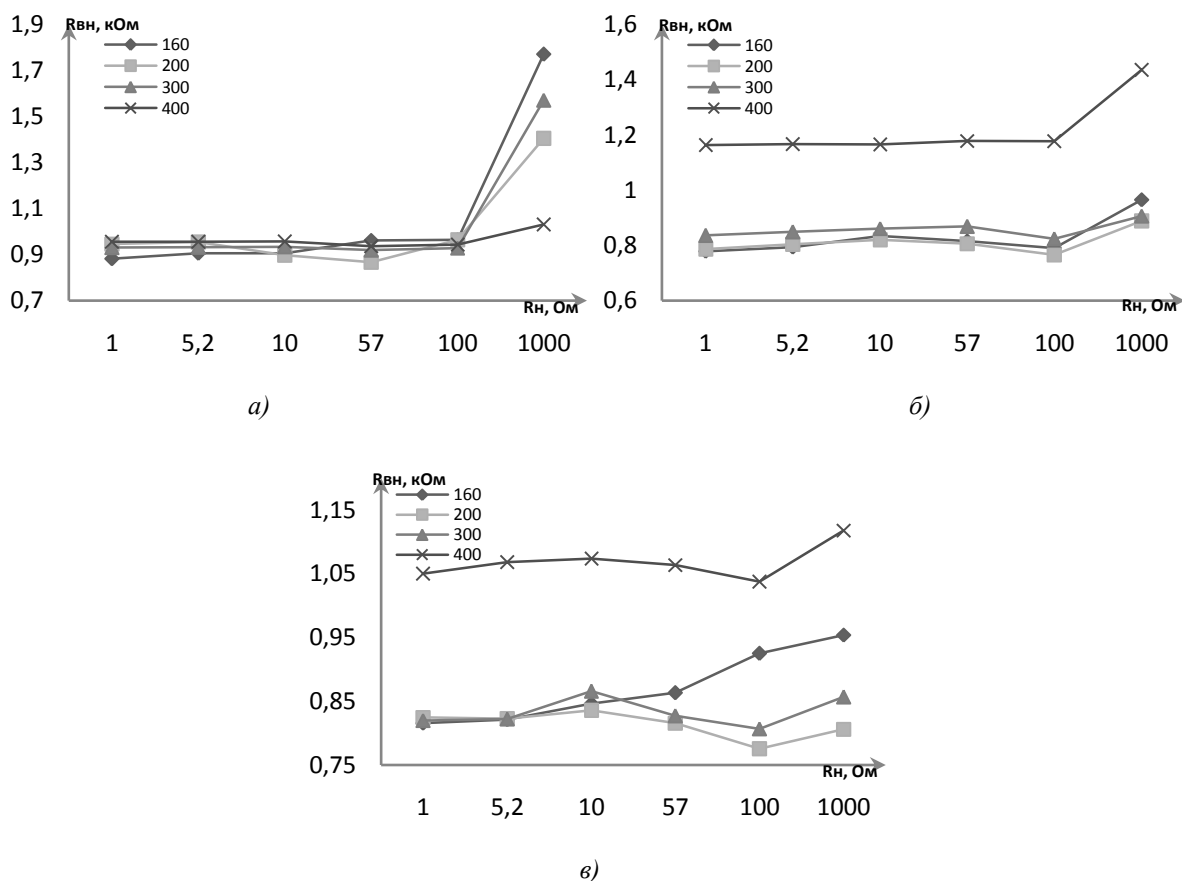


Рис. 4. Зависимость внутреннего сопротивления термопар от сопротивления нагрузки при температуре (160°–400°)С градусов а) хромель-алюмель б) нихром-константан в) параллельное соединение хромель-алюмель и нихром-константан

Из рисунков можно сделать вывод, что с ростом сопротивления нагрузки увеличивается внутреннее сопротивление. Кроме того, из рис. 4, в можно сделать вывод о том, что при параллельном соединении термопар эквивалентное внутреннее сопротивление равно среднему значению внутреннего сопротивления термопар хромель-алюмель и нихром-константан.

#### Методика расчета мощности источника термоЭДС $P_{max}$

Мощность определяется из выражения [3]

$$P = I^2 R_n \quad (2)$$

где  $I$ – ток ,  $R_n$ – сопротивление нагрузки

Из рис. 2 найдем ток в цепи:

$$I = \frac{E}{R_{вн} + R_n} \quad (3)$$

Теперь подставим значение  $I$  из формулы (2) в формулу (3) и получаем:

$$P = \frac{E^2 \times R_n}{(R_{вн} + R_n)^2}$$

Для поиска точки максимума возьмём производную от  $R_n$

$$\frac{dP}{dR_n} = \frac{E^2 (R_{вн} + R_n)^2 - 2E^2 R_n (R_{вн} + R_n)}{(R_{вн} + R_n)^4}$$

После объединения общих слагаемых получаем:



$$\frac{dP}{dR_n} = E^2 \frac{(R_{вн}^2 - R_n^2)}{(R_{вн} + R_n)^4}$$

Е не может быть равно 0,  $R_{вн}$  не может иметь отрицательное значение. Это означает, что есть только одно решение:

$$(R_{вн}^2 - R_n^2) = 0$$

И получаем, что точка максимума P будет при выполнении условия  $R_{вн} = R_n$ .

И как видно на рис. 5, эксперимент подтверждается расчётами, приведенными выше. Максимальное значение мощности наблюдается при  $R_{вн} = R_n$ .

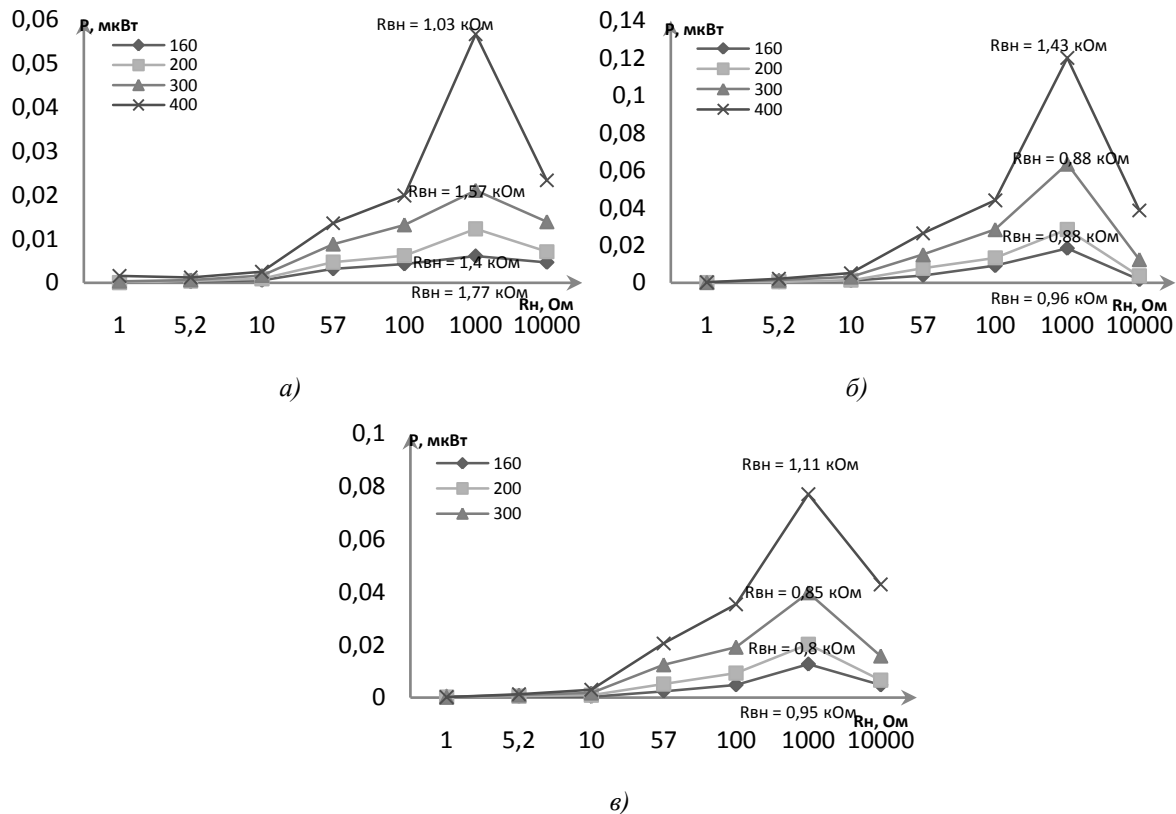


Рис. 5. Зависимость мощности источников термоЭДС от сопротивления нагрузки при температуре (160–400)°С градусов а) хромель-алюмель б) нихром-константан в) параллельное соединение хромель-алюмель и нихром-константан

### Заключение

В рамках данной статье были проведены исследования электрических характеристик двух источников термоЭДС и их параллельного соединения, для изучения влияния многоточечного контакта электрода с контролируемым образцом в приборах термоэлектрического контроля.

Было проведено исследование параллельного включения термопар. Благодаря которому стало понятно, что при параллельном соединении термопар, такие характеристики как внутреннее сопротивление, мощность и термоЭДС эквивалентны средним значениям термопар, хромель-алюмель и нихром-константан при одиночном включении.

Также было выяснено из эксперимента, что самое оптимальное сопротивление нагрузки для источников термоЭДС равно 1 кОм. При этом сопротивлении  $R_{вн}=R_n$  и мощность источника термоЭДС

самая большая. Выбор этого сопротивления позволит улучшить точность измерения приборов термоэлектрического контроля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солдатов А.А. Аппаратно-программный комплекс для контроля пластически деформированных металлов дифференциальным термоэлектрическим методом. дис. канд. техн. наук / А.А. Солдатов. – Томск: ТПУ, 2014. – 155 с.
2. Oldham, Kalil T. Swain (2008). The doctrine of description: Gustav Kirchhoff, classical physics, and the "purpose of all science" in 19th-century Germany (Ph. D.). University of California, Berkeley. p.52. Docket 3331743.
3. Croft, Terrell; Summers, Wilford I. (1987). American Electricians' Handbook (Eleventh ed.). New York: McGrawHill. ISBN 0-07-013932-6.

#### **ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

Ананьева Е.С.

Научный руководитель: Бритова Ю.А., ассистент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: elena\_girl\_16@mail.ru

#### **DEVICES FOR VIBRATION TESTS OF PRODUCTS FOR INFLUENCE OF MECHANICAL FACTORS**

Ananyeva E.S.

Scientific Supervisor: Ph.D. Britova Yu.A.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: elena\_girl\_16@mail.ru

*Электромеханические и электротехнические изделия должны сохранять свои параметры в пределах норм, установленных в техническом задании или стандартах, в процессе и после воздействия механических и климатических факторов. Для обеспечения высокого качества выпускаемой продукции различного назначения предприятия-разработчики проводят вибрационные испытания на воздействие механических факторов посредством современного испытательного оборудования – электродинамических вибростендов.*

*Electromechanical and electrotechnical products have to keep the parameters within the norms established in the specification or standards in process and after influence of mechanical and climatic factors. For quality providing products of different function the enterprise developers carry out vibration tests for influence of mechanical factors by means of the modern test equipment – electrodynamic vibrostands.*

На современном рынке испытательного оборудования представлен широкий выбор вибростендов как российского, так и зарубежного производства. Вибростенды бывают электромеханическими и электродинамическими.

Схема, отражающая принцип действия электродинамического вибростенда, представлена на рис 1.

Сигнал, генерируемый системой управления, подается на усилитель. Затем усиленный сигнал передается на актюатор. В актюаторе электрический сигнал преобразуется в механическое перемещение стола вибростенда, обеспечивая необходимую частоту и амплитуду колебаний. Ускорение колебаний преобразуется снова в электрический сигнал акселерометром и передается на входной канал системы управления в качестве сигнала обратной связи. С помощью данного сигнала минимизируется ошибка

регулирования системы: выход системы управления, усилитель, актюатор, акселерометр, вход системы управления [1].



Рис. 1. Схема принципа действия вибростенда

Существуют как одноосевые, так и многоосевые испытательные системы.

Для установки и фиксации изделий (объектов испытания) на столе вибростенда используются различные приспособления, функция которых – передача вибрации от стола вибростенда к изделию.

Приспособления могут быть как универсальными, так и специальными. Универсальное приспособление используется для испытаний изделий различного типа. Специальное приспособление используется для одного конкретного изделия.

Приспособление должно обеспечивать

- возможность закрепления изделия на вибростенде в соответствии с требованиями технических условий (по трем ортогональным осям изделия);
- значение собственной частоты приспособления должно быть больше минимально требуемого значения собственной частоты изделия;
- удобство монтажа, а также возможность контроля электрических параметров изделия (при необходимости).

Приспособление не должно повреждать места посадок и пристыковок изделия. Крепление приспособления к столу вибростенда осуществляется при помощи болтов или винтов.

Центр тяжести изделия и приспособления следует размещать на одной оси (продольной) арматуры. В противном случае возможно перегрузка объекта испытаний и повреждение вибростенда.

Конструкция вибростенда обеспечивает передачу толкающего воздействия по данной оси арматуры, поэтому смещение изделия и приспособления от продольной оси вызывает "опрокидывание" арматуры. Опрокидывающий момент воспринимается направляющими арматуры, что, в крайнем случае, может привести к повреждению подшипников направляющих и подвижной катушки. Изделие также подвергается воздействию поперечных нагрузок, которые не предусмотрены режимами испытаний. Если приспособление обладает недостаточной жесткостью, то возможно возникновение резонанса в поперечном направлении, при котором на изделие действует значительная неконтролируемая вибрация [2].

Приспособления могут быть различны в зависимости от конструкций и габаритных размеров испытываемых изделий. В качестве примера на рис.2 представлены приспособления в виде а - плиты; б – уголка; в – основания.

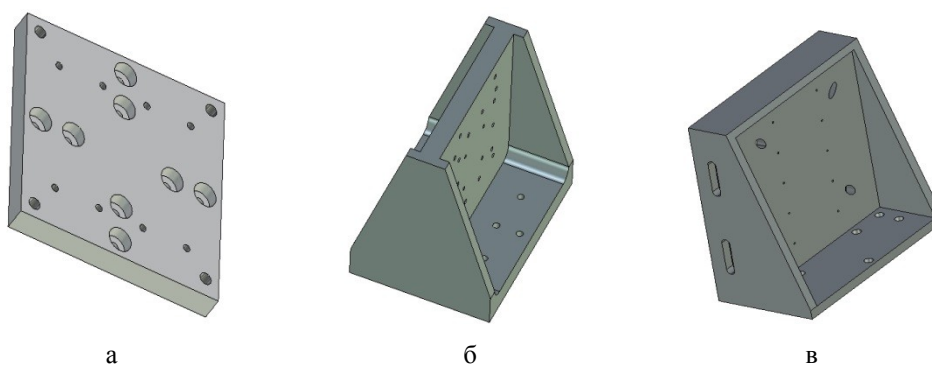


Рис. 2. Конструкции приспособлений

Посредством плиты осуществляется испытание изделия по оси Z, посредством уголка – по осям X и Y, основание позволяет испытывать изделие по всем трем ортогональным осям.

Для выполнения вышеуказанных требований на этапе проектирования приспособлений проводится анализ конструкций посредством современных CAD-систем, например, T-Flex CAD и модуля T-Flex Анализ. T-Flex CAD предоставляет широкий спектр команд для проведения геометрического анализа 3D-моделей посредством метода конечных элементов. Суть метода конечных элементов заключается в замене исходной 3D-модели на математическую модель, отражающую физическую сущность и свойства исходного изделия.

Для проведения частотного анализа конструкции последовательно выполняются следующие действия [3]:

- создается 3D-модель;
- выбирается оптимальный материал для удовлетворения требований массогабаритных характеристик;
- накладывается конечно-элементная сетка;
- определяется вариант закрепления модели (полное или частичное);
- проводится расчет на собственные частоты и соответствующие им формы мод колебаний.

Таблица 1. Расчет при анализе конструкций приспособлений

Плита			
параметр / материал	чугун	алюминий	сталь
Масса, кг	36.4	13.1	37.9
Собственная частота, Гц по оси Z	767.4	1167	1339.6
Основание			
Масса (кг)	53	19.1	55.1
Собственная частота, Гц по осям X, Y	107.1	290.8	297.9
Собственная частота, Гц по оси Z	330	690.1	707.4
Уголок			
Масса (кг)	164.6	59.2	171.1
Собственная частота, Гц по осям X, Y (Гц)	207.5	354.1	363.1

В системе T-FlexCAD также возможна оценка массоинерционных характеристик моделей.

По результатам проведенных расчетов, возможно, оптимизировать 3D-модель в части массогабаритных характеристик и выбора материала.

Оценив спектр собственных частот колебаний конструкции на стадии проектирования, можно оптимизировать конструкцию с целью достижения условия частотной виброустойчивости.

При анализе конструкций рассматриваемых приспособлений осуществлялся выбор материала, оценивались масса и собственные частоты при различных закреплениях по осям испытания изделия. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Анализ полученных результатов позволяет выбрать оптимальное приспособление удовлетворяющее требованиям массогабаритных и жесткостных характеристик.

По представленному алгоритму в рамках научно-исследовательской работы проектируется приспособление для испытаний электротехнического устройства, предназначенного для питания систем космического аппарата.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маквцов Е.Н., Тартаковский А.М. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры – М.: Радио и связь, 1993.
2. Вибрация в технике. Справочник в 6 томах. – Т.3 Колебания машин, конструкций и их элементов. – М.: Машиностроение, 1980.
3. Все о T-FLEX CAD (<http://www.tflexcad.ru/t-flex-cad/functionality>).

#### **ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Гореликов Е.Ю., Орлов С.А., Брагин О.А., Прокопьев Ю.М., Прокопьев В.Ю., Задорожный А.М.  
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет  
Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, 630090  
E-mail: Gorelikov.e@gmail.com, sergalor@yandex.ru

#### **EQUIPMENT AND METHODS OF IMPACT LOADING OF SPACECRAFT ON-BOARD EQUIPMENT**

Gorelikov E., Orlov S., Bragin O., Prokopen Yu., Prokopen V., Zadorozhny A.  
Novosibirsk State University  
Russia, Novosibirsk, Pirogova str., 2, 630090  
E-mail: Gorelikov.e@gmail.com, sergalor@yandex.ru

*В настоящей работе рассматриваются оборудование и методики испытаний на ударное нагружение бортовой спутниковой аппаратуры, проектируемой в НГУ в рамках СЧ ОКР по заказу АО «ИСС». В работе рассмотрены достоинства и недостатки различных методов создания ударных нагрузок на бортовую аппаратуру, описана конструкция ударного стенда, созданного в НГУ. Приведены ударные спектры ускорения, полученные при испытании бортовой аппаратуры в рамках наземной отработки.*

*This paper considers tools and test method for shock loading of spacecraft on-board equipment, designed at NSU under R&D agreement with JSC "ISS". Advantages and disadvantages of various methods of creating shock loading of a payload are observed. The construction of shock acceleration setup, designed and manufactured at NSU, is described. In addition several SRS are presented as the result of on-board equipment development verification.*

Космические аппараты (КА) – сложные электромеханические конструкции, оснащённые бортовой радиоэлектронной аппаратурой. КА и его составные части, начиная со стадии подготовки к эксплуатации и вплоть до выведения на целевую орбиту, подвергаются воздействию различных механических нагрузок (при

проведении приемо-сдаточных испытаний, при транспортировании, на этапе выведения и отделении КА от ракеты-носителя и т.д.). Требования по стойкости к механическим воздействиям предъявляются ко всем подсистемам КА, в том числе и к бортовой аппаратуре (БА). Одним из видов механических нагрузок, требующих специальных стендов и методик – это ударные нагрузки. В настоящей работе приведена конструкция стенда и описание методики проведения испытаний БА на ударные нагрузки по методу ударных спектров ускорений, обеспечивающие ударные спектры ускорений, близкие к требуемым спектрам (в пределах допустимой погрешности).

Требования к БА задаются разработчиком КА. Существующая нормативно-техническая документация регламентирует методики ударных испытаний по методу ударных спектров ускорений (УСУ), (например, отечественный ГОСТ Р 53190-2008). Согласно как отечественных, так и зарубежных стандартов (например, NASA-STD-7003) требования (и соответственно уровни при испытаниях аппаратуры на удар) могут достигать нескольких тысяч g по ударному спектру в частотном диапазоне до 10 кГц. Такая нагрузка представляет серьезную угрозу для силовой конструкции БА, кварцевых генераторов и резонаторов, ЭРИ и т.д.

Основываясь на опыте выполнения СЧ ОКР по заказу АО «ИСС», сложившейся практикой по уровням УСУ, предъявляемых к вновь разрабатываемой БА, считаются уровни ~5 000 g в частотном диапазоне 1 000 – 10 000 Гц. Отработка БА на такие уровни обеспечивает максимальную степень заимствования текущих разработок в будущих КА, когда нет возможности предугадать заранее место установки БА. При подтверждении стойкости БА к заданным уровням ударных воздействий такая БА считается пригодной для установки в любое место КА. Очевидно, что это значительно упрощает процесс общей компоновки КА и расширяет спектр возможных применений конкретной БА.

На рисунке 1 приведен типичный спектр ударного воздействия, задаваемый в технических заданиях на разрабатываемую БА. Это воздействие является обобщением результатов измерений всех УСУ в месте установки контрольных датчиков у приборов на КА с учетом коэффициента безопасности 2 для аппаратом АО «ИСС». На графике также приведены допустимые уровни отклонения на величину  $\pm 3$ дБ от заданных требований.

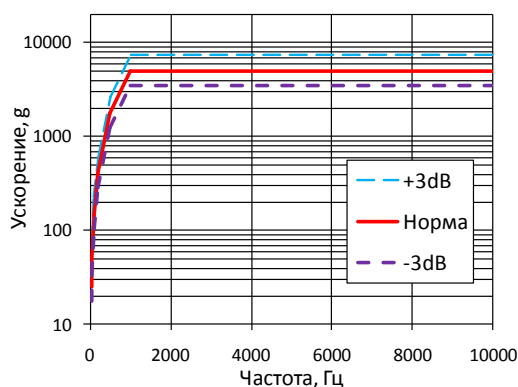


Рис. 1. Ударный спектр УСУ, задаваемый требованиями ТЗ, и границы допустимых отклонений  $\pm 3$ дБ

Для получения ударного спектра ускорения, близкого к заданному в ТЗ, был применен расчёт ударных спектров ускорения на основе алгоритма Смоллвуда с добротностью  $Q=10$  [4, 5]. На рисунке 2 показан результат расчета полусинусоидального импульса амплитудой 3 500 g и длительностью 0,3 мс и УСУ данного импульса. Из расчетов видно, что данный импульс соответствует заданному в ТЗ ударному

спектру с погрешностью  $\pm 3$  дБ. Ударные импульсы с характеристиками близкими к расчетному могут быть получены на копровых стендах и стендах с пороховым источником энергии.

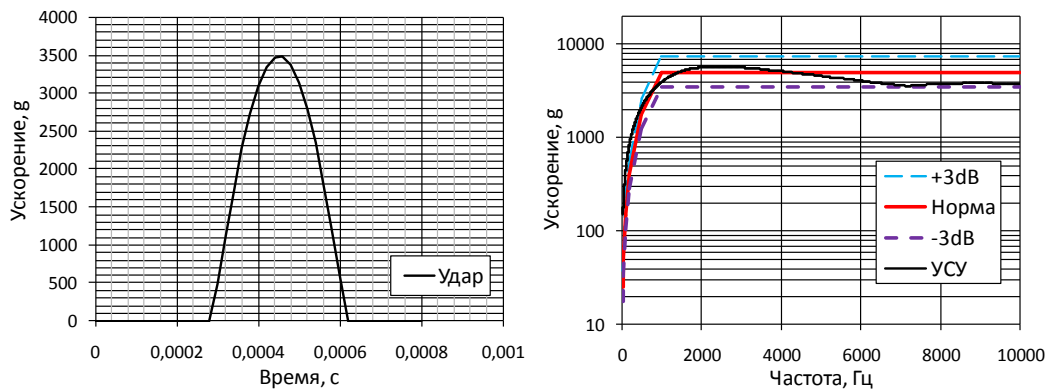


Рис. 2. Полусинусоидальный удар (слева) и соответствующий ему УСУ (справа)

При испытании аппаратуры на воздействие ударных нагрузок используют следующие методы:

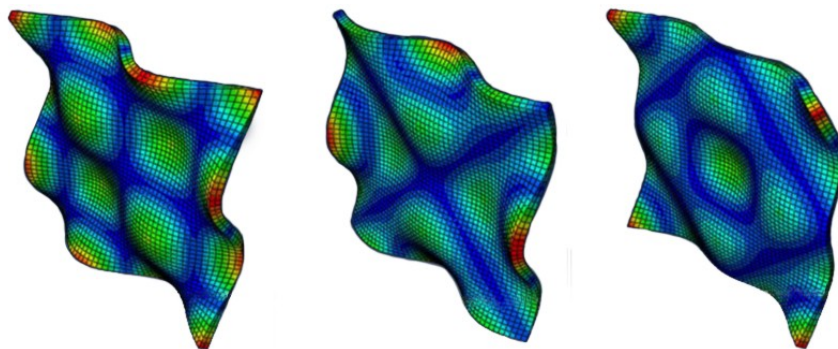
- Испытания на вибростенде. Ударные воздействия задаются в виде серии полусинусоидальных импульсов длительностью 2 – 7 мс и амплитудой 40 – 150 г, что соответствует ГОСТ РВ серии 20.39 и другим стандартам. Стоит отметить, что для вибростендов амплитуда удара в 150 – 200 г является предельной. Как видно из сравнения этих цифр с данными на рисунке 2, данные нагрузки не соответствуют ударному спектру от пиросредств КА.
- Копровые испытания по принципу «падающий стол». Испытания аппаратуры на падающем столе приводит к перегрузкам конструкции БА из-за резкого скачка скорости при торможении плиты, что довольно сильно перегружает изделие в низкочастотной области. Данное испытание плохо имитирует воздействие пиротехнического средства вследствие другой физики процесса.
- Копровые испытания по принципу «молот-наковальня». Испытания аппаратуры, связанные с ударом молота о резонансную плиту, на которой закреплена аппаратура, позволяют получить довольно близкие УСУ, укладывающиеся в заданные нормы (см. рисунок 1). Достигается это благодаря подбору массы молота, скорости удара, материала и формы бойка и т.д. Большинство стендов ориентировано на создание одиночного импульса, т.к. его можно контролировать при задании воздействия, а не по результатам расчетов УСУ после. Особая отличительная черта данного метода испытания, в отличие от методов, приведенных выше – это создание на резонансной плите нестационарной вибрации, что наиболее близко по физике ударного воздействия на БА от пиросредств. Этот метод испытаний и будет рассмотрен далее в работе.
- Испытательные стенды с пороховым источником энергии (газогенераторы). Данные стенды требуют особых условий эксплуатации, допуска персонала и помещения, а также необходимостью специальной лицензии и разрешений у предприятия. Отличаются хорошей повторяемостью результатов испытаний. Существуют различные конструкции таких стендов, применяемых как на отечественных предприятиях, так и зарубежом [3].
- Испытания со штатными пиросредствами. Данные испытания дают подтверждения стойкости аппаратуры к реальным ударным воздействиям без коэффициента безопасности по уровню воздействия. Данный способ имеет большие технические сложности в реализации, а также штатные

пиросредства имеют высокую стоимость. Как и с пороховыми источниками энергии, необходимы специальные разрешения, условия хранения, эксплуатации и т.д.

На рынке представлено множество различных моделей ударных стендов выполненных по принципу падающего стола или маятникового стенда таких фирм, как STI, Yoshida Seiki Co. Ltd, LANSMONT, TIRA и т.д. Такие стенды имеют ряд недостатков, связанных с перегрузкой аппаратуры в низкочастотной области из-за невозможности отстройки частоты вследствие процессов деформации при соударении с плавающей массой, большими габаритами и массой, необходимостью специальной подготовки помещения и обучения персонала, а также с длительным сроком поставки и высокой ценой.

Для имитации ударных воздействий от пиротехнических средств было принято решение о разработке ударного стенда с падающим молотом и резонансной плитой. Стенд состоит из дюралюминиевой плиты, размещенной на точечных резиновых демпферах. Демпферы расположены на стальной раме из замкнутого профиля. Плита возбуждается ударным воздействием с помощью бойка. Маятник оснащен угломером со стопором, который позволяет фиксировать один и тот же угол начального отклонения для проведения серии ударов.

Для получения нужного ударного импульса используется варьирование кинетической энергии удара, материала наконечника бойка, материала демпферов, материала плиты и т.д. Для обеспечения частоты перехода в 1 кГц была применена плита 1000×1000 мм и толщиной 30 мм. Форма колебаний плиты на частотах близких к 1000 Гц приведены на рисунке 3.



*Рис. 3. Расчетные формы колебаний плиты на частотах в области 1000 Гц*

Для каждой испытуемой аппаратуры подбирается индивидуальная установочная оснастка, которая состоит из приспособлений, необходимых для монтажа аппаратуры за штатные узлы крепления на копровую плиту и обеспечивающих необходимую форму УСУ. Испытания проводятся в два этапа. На первом этапе на оснастку устанавливается весовой макет испытуемой аппаратуры, закрепляющийся на оснастке штатным креплением. Выбор схемы установки проводится экспериментально путём механического возбуждения платформы бойком. Такая схема испытаний позволяет подобрать необходимый угол отклонения бойка и зафиксировать его при помощи стопора. В случае необходимости скорректировать ударный спектр можно использовать втулки, шайбы, переходные плиты или резиновые подкладки. На рисунке 4а показан вариант установки испытываемого прибора на переходную оснастку.



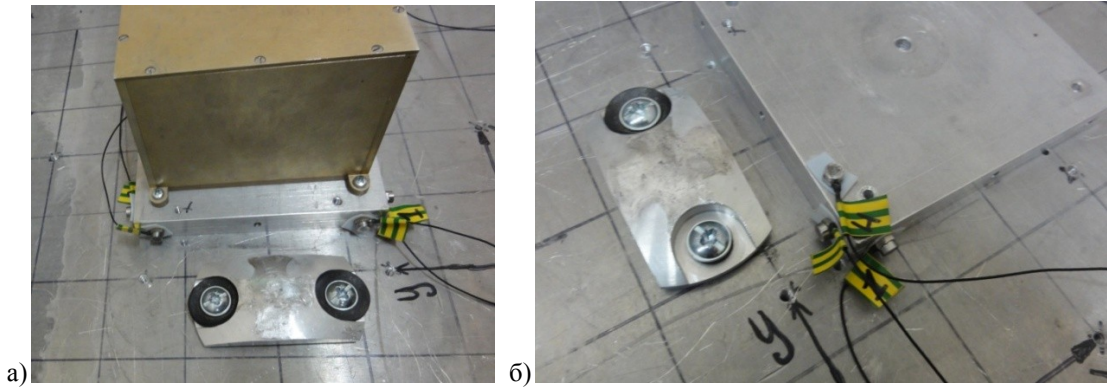


Рис. 4. Оснастка с прибором и места установки датчиков на оснастке: а - крепление блока МБКАП к копровой плите через переходную оснастку, б - вариант установки датчиков по оси X,Y,Z

Для регистрации ударного импульса используется полностью российская система сбора и анализа данных: анализатор спектра ZET 017-U4 и ПО фирмы ZETLAB, г. Зеленоград и ударные вибропреобразователи AP31 фирмы «Глобалтест», г. Саров. На рисунке 4б показан вариант установки датчиков по осям X,Y,Z.

Данная схема установки блока позволяет контролировать ударное нагружение в местах крепления блока по всем осям одновременно и у различных точек крепления прибора. Закрепление датчиков на переходную плиту исключает влияние резонансов бобышек или розеток при классическом креплении датчиков.

Такая конструкция стенда (рисунок 5) позволяет широко изменять параметры системы возбуждения плиты, не требует специальных лицензий и разрешений, имеет относительно небольшие размеры и массу по сравнению со стендами по типу «падающий стол».

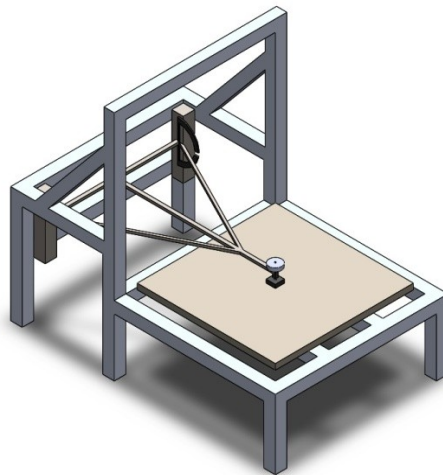


Рис. 5. Ударный стенд UC-10T

Результаты ударных спектров, полученных по трем осям с прибором на плите приведены на рисунке 6.

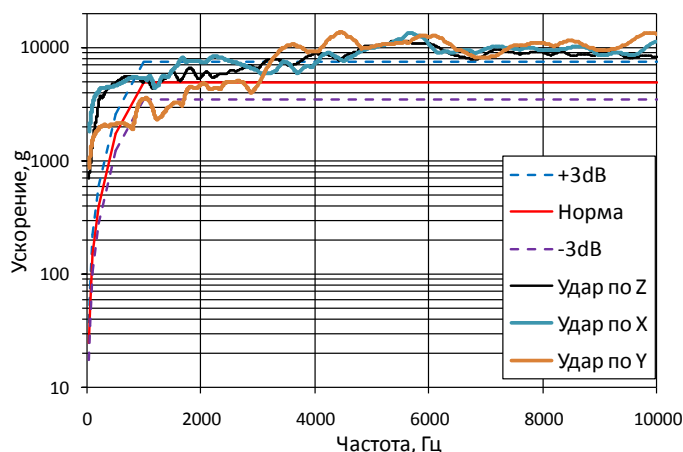


Рис. 6. Ударный спектр ускорения по ТЗ и реальные уровни ударного нагружения полученные на стенде

### ВЫВОДЫ

В результате выполнения инженерно-конструкторских разработок спроектирован и изготовлен ударный стенд для испытаний бортовой спутниковой аппаратуры на высокие ударные нагрузки по заданному ударному спектру ускорения. Разработана методика испытания приборов на одиночный удар согласно требованиям ТЗ. В рамках наземной экспериментальной отработки успешно проведены испытания по заданным требованиям опытных образцов бортовой аппаратуры, разработанных и изготовленных в НГУ по заказу АО "ИСС". Приведенный стенд отличается высокой степенью повторяемости результатов и хорошим приближением к заданным спектральным характеристикам удара. В конструкцию вложен большой потенциал для дальнейшей модернизации стенда.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович С.Ф., Крючков Ю.С. Динамическая прочность судового оборудования / С.Ф. Абрамович, Ю.С. Крючков. - Л.: Судостроение», 1967. – 512 с.
2. ISO Standard 18431-4, 2007 Mechanical Vibration and Shock – Signal Processing. – Part 4: Shock Response Spectrum Analysis.
3. Harris' Shock and Vibration Handbook, edited by Harris and Piersol. – McGraw Hill. – 5th Edition, 2002. – 1199 с.
4. Субботин С.Г., Мельникова А.Ю. Спектральные характеристики для сравнения и идентификации ударных нагружений. – «заводская лаборатория. Диагностика материалов» № 12, 2009. Том 75. - с 53.
5. ГОСТ 28213-89. Испытания на одиночный удар. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 34с.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ELCUT ДЛЯ ПОДБОРА ПАРАМЕТРОВ  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ БЕТАТРОНА**

Затонов И.А.

Научный руководитель: Штейн М.М., доцент, к.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: ivan.zatonov@yandex.ru

**USING ELCUT SOFTWARE FOR SELECTION OF BETATRON'S MAGNETIC PARAMETERS**

Zatonov I.A.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D., Shtein M.M.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: ivan.zatonov@yandex.ru

*В данной статье рассматривается возможность применения программных пакетов для решения мультифизических задач в бетатроностроении. Указана роль радиационного контроля в аэрокосмической индустрии с использованием в качестве источника ионизирующего излучения малогабаритного импульсного бетатрона. При помощи программного пакета Elcut рассчитаны основные характеристики магнитного поля бетатрона. Исследовано зависимость точности расчета от количества узлов сетки. Проанализированы фокусирующие свойства магнитного поля бетатрона.*

*The article investigates the potential of applying Elcut software to settle multipurpose objective in betatron engineering. It accentuates radiation control in aerospace industry applying small-size pulse betatron as a fount of ionizing radiation. Elcut software give opportunity to calculate main characteristic of the betatron magnetic field. Dependency of computation accuracy on the grid quantity is explored. Focusing properties of the betatron magnetic field are dissected.*

Аэрокосмическая индустрия играет важную роль в обеспечении военной безопасности, научно-технического и экономического развития Российской Федерации. На данном этапе развития своей экономики и технологий Россия переходит от мер поддержания прежнего уровня развития аэрокосмической отрасли к реализации новых амбициозных проектов с целью повышения производственного потенциала данного направления [1]. Столь важная роль в российской стратегии военно-технического и экономического развития требует от аэрокосмической индустрии высокую степень надежности, которая, в первую очередь, определяется использованием средств и методов неразрушающего контроля на всех этапах производства.

Радиационный контроль в связи с его высокой информативностью широко используется в контроле изделий, относящихся к аэрокосмической отрасли. Суть метода цифрового рентгенографического контроля - визуализация структуры объекта с идентификацией инородного материала и определением его геометрического положения в структуре контролируемого изделия. В последние годы аналогичным методом решаются и задачи авиационной безопасности. Для контроля крупногабаритных изделий и досмотра авиаконтейнеров требуются источники рентгеновского излучения с высокой энергией, в качестве которых сейчас применяются бетатроны и линейные ускорители [2]. Отличительной особенностью бетатронов являются малые габариты и низкая стоимость, что делает их конкурентоспособными, несмотря на меньшую мощность дозы излучения.

В стенах Томского политехнического университета в 1948 году был запущен первый отечественный бетатрон на энергию 4 МэВ. С тех пор ТПУ является опорным вузом не только в России, но и во всем мире, по разработке бетатронов.

При производстве бетатронов, обычно возникают трудности, связанные с их настройкой, которая заключается в подборе параметров магнитного поля для получения номинальной энергии электронов и максимальной мощности дозы.

Настройка бетатронов производится несколькими способами:

- Настройка бетатрона путем перебора составных частей, влияющих на распределение магнитного поля бетатрона и измерения получаемой для каждого варианта мощности дозы излучения. Для уверенности в том, что бетатрон хорошо настроен и дает близкую к максимально-возможной мощность дозы, в таком случае требуется десятки, а иногда и сотни переборок.

- Проведение магнитных измерений и на их основе более целенаправленное изменение параметров магнитного поля в межполюсном зазоре, тогда удастся получить хороший результат за несколько переборок.

Принцип действия бетатрона основан на том, что в спадающем по радиусу и нарастающем во времени магнитном поле возможно движение электрона по круговой орбите постоянного радиуса с набором энергии. Прирост энергии за один оборот пропорционален скорости изменения магнитного потока внутри орбиты. Любое отклонение электрона от постоянной орбиты приводит к появлению магнитных сил, возвращающих его назад на эту орбиту, поэтому ее радиус  $r_0$  называется равновесным.

Одна из основных задач настройки - найти оптимальный радиус равновесной орбиты электронов, так как этот радиус определяет и энергию ускоренных электронов, и область действия магнитных фокусирующих сил, следовательно, их количество [3]. В свою очередь, наиболее полную информацию о фокусирующих свойствах магнитного поля дает его потенциальная функция [4].

В данной работе ставилась задача показать, что вместо трудоемких магнитных измерений характеристики магнитного поля для реальных конструкций бетатронов с необходимой точностью можно получить численным моделированием. Численное моделирование может существенно сократить время настройки бетатрона.

Такое моделирование возможно осуществить при помощи программных пакетов, предназначенных для конечно-элементного анализа в различных областях физики и инженерного дела, включая рассмотрение мультифизических задач. Сейчас находят применение такие пакеты, как Ansys, Comsol Multiphysics, Elcut и другие.

Для численного моделирования основных характеристик магнитного поля бетатрона был использован программный пакет Elcut, как наиболее простой и доступный. Анализ производился на примере конструкции малогабаритного бетатрона.

Геометрия электромагнита бетатрона представлена на рисунке 1.

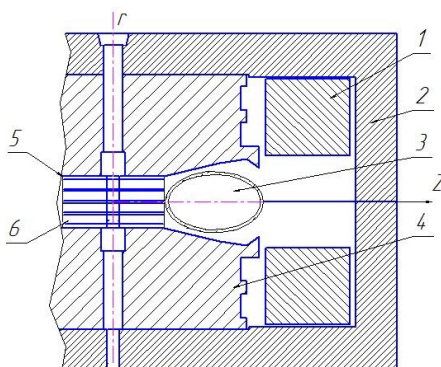


Рис. 1. Геометрическая модель бетатрона, симметричного относительно оси  $r$ , где 1- Катушка с током 12000 ампер-витков; 2- Обратный магнитопровод; 3- Камера рентгеновская бетатронная; 4- Магнитные полюса; 5- Пять одинаковых магнитных прокладок толщиной по 2,4 мм; 6- Четыре магнитные галетки толщиной по 8 мм

С учетом осесимметричной конструкции бетатрона МИБ-10 в программном пакете Elcut была начерчена геометрическая модель с последующим заданием физических параметров объектов. Работа с геометрической моделью производится в цилиндрической системе координат в полуплоскости  $zr$  ( $r \geq 0$ ).

Для задания магнитной проницаемости, в программу были занесены данные, характеризующие кривую намагничивания для электротехнической стали 3408 (Рисунок 2). Проницаемость воздушных областей и областей, занятых немагнитными материалами, равна 1. Приведенные ниже результаты соответствуют общему числу ампер-витков 24000.

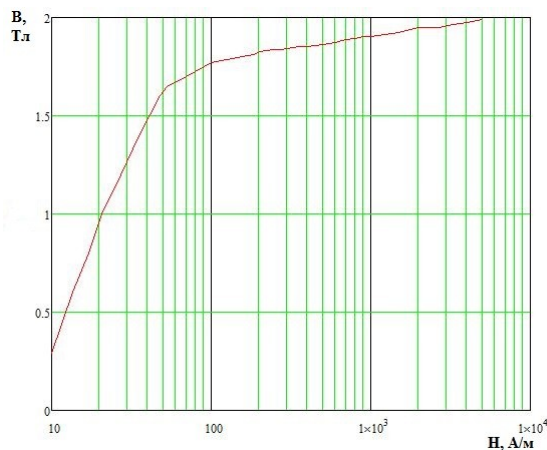


Рис. 2. Кривая намагничивания для электротехнической стали 3408

Границы выбранной расчетной области отстояли от наружного контура магнитопровода на расстоянии 20 мм. Магнитный потенциал на границе расчетной области был принят равным нулю. Дальнейшие расчеты подтвердили, что за пределами обратного магнитопровода поле, исчезающее мало, так как оно полностью экранируется материалом с большой магнитной проницаемостью.

Программа Elcut решает уравнение Пуанкаре для векторного магнитного потенциала  $A$ , но в осесимметричной задаче вычисляет связанную с ним величину-функцию потока  $\Phi=r \cdot A$ . После этого численным дифференцированием находят составляющие вектора магнитной индукции  $B_z$  и  $B_r$ .

В первую очередь было определено значение радиуса равновесной орбиты в предположении, что орбита полностью лежит в плоскости  $z$ . Для этого в программе был исследован контур при  $z = 0$  мм на отрезке  $r \in [43; 130]$  мм и получены значения индукции в зависимости от радиуса  $B_z(r)$ .

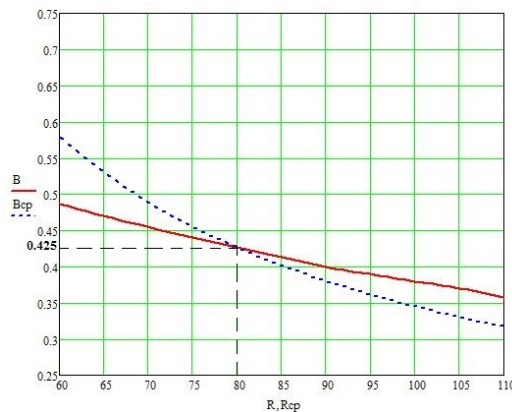


Рис. 3. Определение равновесного радиуса

Точка пересечения графика распределения индукции  $B_z$  с  $\frac{B_{cp}}{2}$  является значением равновесного радиуса (рисунок 3). При указанных выше размерах галетного блока значение равновесного радиуса составило 80 мм, а индукция в нем 0,425 Тл.

Параллельно с расчетом равновесного радиуса было определено значение энергии электронов в рассматриваемом контуре. Расчет дал величину 8 МэВ, что близко к ожидаемому значению

Показатель спадания напряженности магнитного поля в плоскости  $z=0$ , приведен на рисунке 4.

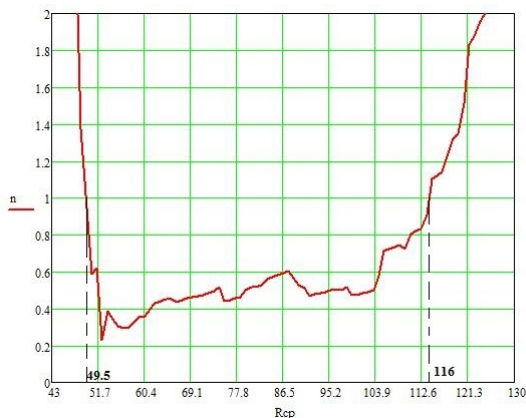


Рис. 4. Зависимость показателя спадания от радиуса  $r$

Наличие одновременно фокусирующих сил в радиальном и аксиальном направлениях обеспечивается при выполнении неравенства  $0 < n < 1$ . Согласно полученному графику устойчивыми являются орбиты с радиусами от 49.5 до 116 мм.

Как уже упоминалось наглядной и полной характеристикой, описывающей фокусирующие свойства магнитного поля, является потенциальная функция  $V_\mu$ . Поверхность, описываемую потенциальной функцией принято называть потенциальной ямой [5].

Построенная для плоскости  $z=0$  потенциальная яма представлена на рис. 5.

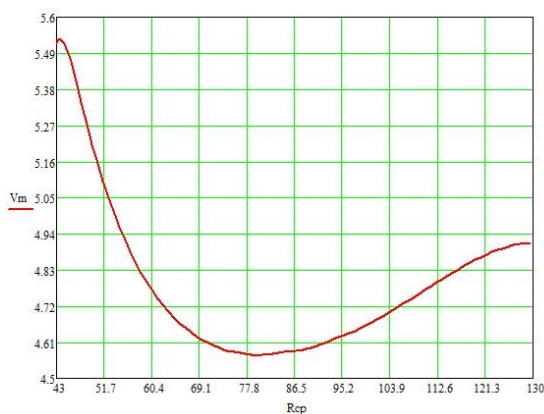


Рис. 5. Потенциальная яма для плоскости  $Z=0$

Как и следует из теории бетатрона, минимум потенциальной ямы находится на равновесном радиусе.

Для того, чтобы иметь полную картину фокусирующих сил по всему сечению межполюсного пространства, в том числе по сечению ускорительной камеры, потенциальная яма рассчитывается как функция двух координат и обычно на плоскости представляется линиями равного уровня. Контуром на рисунке 6 обозначена область, где рассчитывались значения потенциальной функции с дальнейшим построением потенциальной ямы.

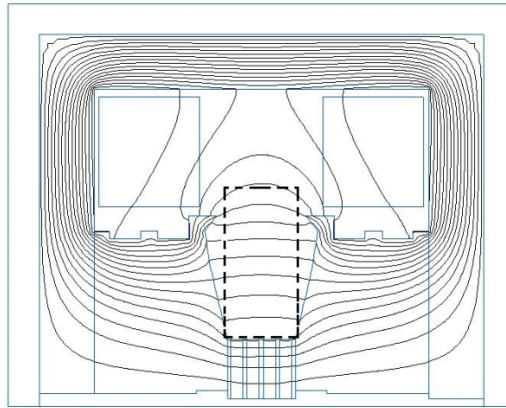


Рис. 6. Область модели, где рассчитывалась потенциальная функция

Для заданных условий расчета получаем картину потенциальной ямы, представленную на рисунке 7. Красным контуром обозначена вакуумная камера, внутри которой теоретически могут существовать любые орбиты электронов. Зеленый контур обозначает инжектор камеры. Наличие инжектора сужает полезный объем камеры, но без него бетатрон не работоспособен.

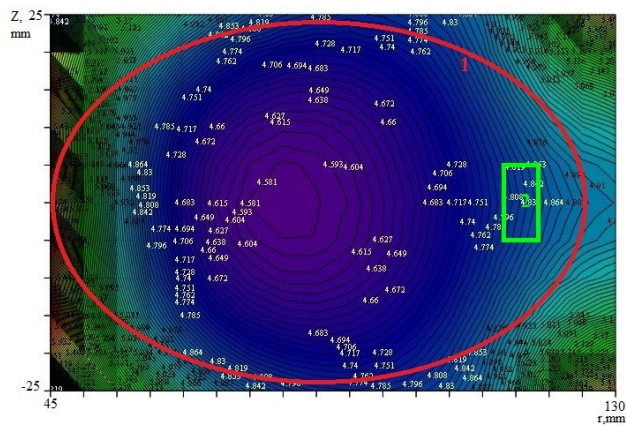


Рис. 7. График линий уровня потенциальной функции . 1- вписанная рентгеновская камера; 2-инжектор

Программная система Elcut, предназначенная для решения мультифизических задач методом конечных элементов, является эффективным средством для численного моделирования магнитного поля бетатрона. Оно во многих случаях может заменить процесс магнитных измерений и сократить время настройки бетатронов. Машинное время, затраченное на сам процесс моделирования, невелико и составило 87 секунд. Значительно большее время уходит на обработку результатов решения. В связи с этим актуальной становится задача импорта данных решения Elcut в более мощные современные программы обработки массивов данных, и создание командного файла для полной автоматизации процесса получения результатов решения в привычной и удобной для пользователя форме.

Что касается конкретных результатов моделирования представленного варианта электромагнитного бетатрона, то видно, что размеры галетного блока выбраны неправильно. Равновесный радиус находится близко к инжектору и полезным является лишь малая часть поперечного сечения камеры. Радиус смещен наружу, и уже первая линия равного уровня касается инжектора (рис. 6). Только внутри этой линии могут существовать устойчивые орбиты электронов. Электроны, колебательная энергия которых выше потенциальной энергии первого уровня, могут сделать несколько оборотов, но в итоге преодолеют этот барьер и столкнутся с инжектором.

Для уменьшения равновесного радиуса следует уменьшить высоту галет и одновременно увеличить толщину немагнитных прокладок, оставив общий зазор между полюсами неизменным. Выполнив численное моделирование нескольких вариантов, можно определить приемлемое положение равновесного радиуса и соответствующую ему структуру галетного блока.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпов А.С. Ракетно-космическая промышленность Российской Федерации: современное состояние и перспективы и безопасность// Национальные интересы: приоритеты – 2008. – Т.1. -№ 33.- С. 43-48.
2. J. Accardo, M. Ahmad Chaudhry Radiation exposure and privacy concerns surrounding full-body scanners in airports// Journal of radiation researches. – 2014. – Vol. 7 . – P. 198-200.
3. Гришин К.С. К методике проектирования полюсов простейших бетатронов// Известия ТПИ.- 1957.- Т.87.- С.95-100.
4. Родимов Б.Н. Закономерности магнитного поля бетатрона// Известия ТПИ. -1957. –Т.87 .- С.3-10.
5. Носков Д.А. Потенциальная функция фокусирующих сил магнитного поля бетатрона и ее практическое применение при настройке ускорителей //Известия ТПИ.- 1957. – Т.87. – С. 151-156.

#### **БОРЬБА С КОНДУКТИВНЫМИ ПОМЕХАМИ В СИСТЕМЕ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ СКВАЖИННОГО ПРИБОРА**

Ильясов Б.Б.

Научный руководитель: Белянин Л.Н, доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: liyassov@tpu.ru

#### **AVOIDING CONDUCTED INTERFERENCE IN THE SYSTEM OF TEMPERATURE CONTROL OF THE DOWNHOLE TOOL**

Ilyassov B.B.

Scientific Supervisor: .Associate Professor, Ph.D., Belyanin L.N

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: liyassov@tpu.ru

*В данной статье описывается система термостатирования для скважинного прибора. Особенность этой системы состоит в использовании активного нагревателя и охладителя, управляемых с использованием широтно-импульсной модуляции. За основу системы взята схема термостатирования инклинометра ИГН 100-100/60-А. Однако у такой схемы присутствует серьезный недостаток – кондуктивные помехи, которые оказывают влияние на работу скважинного источника питания, а значит, и всей электронной аппаратуры инклинометра. Во введении кратко описывает принцип работы системы термостатирования. Далее подробно рассмотрены причины кондуктивных помех, рассчитана величина провалов в отборе мощности, приведены графики, наглядно показывающие изменения сигнала. Выявлены*



проблемные элементы схемы, влияющие на возникновение помех. Проведен анализ возможных решений для устранения помехи, указаны недостатки каждого из решений.

*This article describes the temperature control system for a downhole tool. The peculiarity of this system is that it is using a heater and an active cooler which are controlled by pulse width modulation. The basis of such a system is taken from the thermostatic scheme of the inclinometer IGN 100-100 / 60-A. However, this scheme has serious drawback - conducted interference. These disturbances affect the operation of a downhole power supply, and therefore the entire electronic inclinometer instrumentation. This article briefly describes the principle of the temperature control system. Furthermore, reasons for this interference are discussed in detail, calculated the value of failures in the selection of power, the graphs clearly show the changes in the signal. The problematic elements of the scheme, affecting the appearance of interference, are identified. The possible solutions to eliminate this interference are analyzed, stating the shortcomings of each of the solutions.*

Для обеспечения надежной работы и высокой точности скважинных приборов, таких как гироскопические инклинометры, существует необходимость в их термостатировании. При этом нижняя граница температуры окружающей среды находится на уровне 50 °С, а верхняя - +120°С и выше. В данный момент на кафедре точного приборостроения Национального исследовательского Томского политехнического университета ведутся работы по созданию такой системы термостатирования.

Проведенные на кафедре работы показывают, что для таких условий лучше всего подходит активная система термостатирования, состоящая из нагревателя и охладителя [1]. Для обеспечения высокой точности закон управления должен быть линейным (как минимум вблизи температуры статирования). Здесь будет оптимальным реализовать управление нагревателем и охладителем посредством широтно-импульсной модуляций (ШИМ). Схема, поясняющая принцип работы такой системы, показана на рис. 1.

За основу такой системы была взята схема термостатирования инклинометра ИГН 100-100/60-А, разработанного на указанной кафедре. Система термостатирования инклинометра ИГН 100-100/60-А имеет существенный недостаток – кондуктивные помехи.

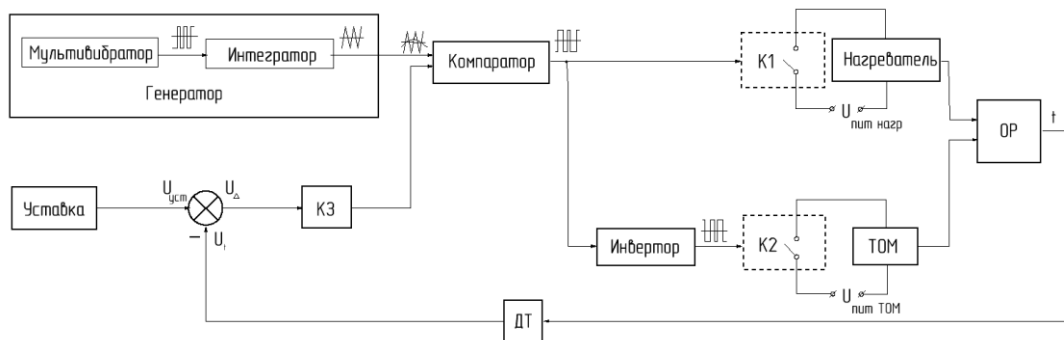


Рис. 1. Принципиальная схема системы термостатирования

На рис. 1 введены обозначения: ДТ – датчик температуры; КЗ – корректирующее звено; ТОМ – термоохлаждающий модуль; ОР – объект регулирования; К1, К2 – ключи управления нагревателем и охладителем.

В качестве охладителя выступает полупроводниковый охлаждающий модуль на основе элемента Пельтье.

С целью повышения точности, упрощения схемы и повышения чувствительности в работу на полную мощность включается либо охладитель, либо нагреватель. Такой принцип работы выбран, чтобы обеспечить постоянство мощности, потребляемой системой термостатирования, от скважинного источника питания [2].

Однако детальный анализ работы схемы термостатирования показывает, что существуют интервалы времени, в течение которых не производится отбор мощности от источника ни нагревателем, ни охладителем. Это приводит к появлению скачков напряжения на выходе скважинного источника питания.

Так как система термостатирования – основной потребитель энергии в инклинометре, то это сказывается на работе всей электронной аппаратуры, размещенной в приборе.

Изменение сопротивления резистивного датчика температуры описывается линейным законом

$$R_t = R_{t0}(1 + \alpha t) \quad (1)$$

где  $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления (ТКС),  $R_{t0}$  - сопротивление при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ .  $t$  - рабочая температура. Для данного датчика  $R_{t0} = 521,8 \text{ Ом}$ ,  $\alpha = 7,78 \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ .

Используя полученные значения, вычислим значения сопротивлений при граничных значениях температуры ( $70^\circ\text{C}$  и  $80^\circ\text{C}$ ) подставим в формулу (1), получим  $R(80^\circ\text{C}) = 846,6 \text{ Ом}$ ,  $R(75^\circ\text{C}) = 826,3 \text{ Ом}$ ,  $R(70^\circ\text{C}) = 806 \text{ Ом}$ . Мост балансируется подбором резистора  $R_3$  при температуре статирования, равной  $75^\circ\text{C}$ .

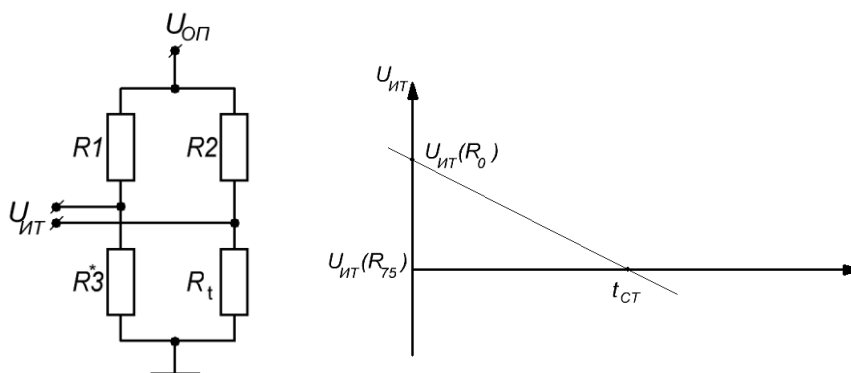


Рис. 2. Измерительный мост датчика температуры

Из схемы на рис. 2 можно получить зависимость напряжения  $U_{ит}$  от сопротивления  $R_t$

$$U_{ит}(R_t) = \left( \frac{R_3}{R_3 + R_1} - \frac{R_t}{R_t + R_2} \right) * U_{оп}, \quad (2)$$

где  $U_{оп}$  - напряжение питания моста, то есть  $-15\text{В}$ ,  $U_{ит}$  - выходной сигнал моста.

Как следует из формулы (2) зависимость напряжения от температуры носит нелинейный характер, однако, вблизи температуры статирования эту зависимость можно считать линейной.

Получим  $U_{ит}(70^\circ\text{C}) = 1,63\text{В}$ ,  $U_{ит}(80^\circ\text{C}) = 1,55\text{В}$ ,  $\Delta U = 0,08\text{В}$ .

В качестве компаратора используется операционный усилитель.

На рис. 3а показан сигнал на одном из входов компаратора, на второй вход подается сигнал с измерительного моста.

На рис. 3б показан сигнал на выходе компаратора, где  $U_c$  – ограничение амплитуды сигнала стабилитроном, а  $t_\phi$  – длительность фронта импульсов, управляющих ключами.

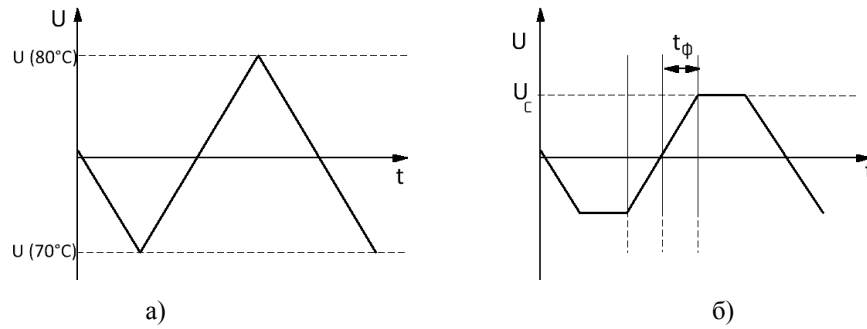


Рис. 3. Сигнал на одном из входов и выходе компаратор

Скорость нарастания фронта напряжения определяется

$$\dot{U} = \frac{2\Delta U}{T} k_y,$$

где  $T$  – период напряжения треугольной формы,  $\Delta U$  – амплитуда пилообразного сигнала,  $k_y$  – коэффициент усиления операционного усилителя в разомкнутом состоянии.

При  $f=27$ Гц,  $k_y=50000$ ,  $U_c=9$ В,  $\dot{U}=210 \cdot 10^3$  В/с,  $t_\phi=42,8$ мкс.

Указанное напряжение подается на транзисторы, выполняющие роль ключей. Коэффициент усиления транзисторов по току составляет 750. Схема включения транзистора такова, что открываться транзистор начинает при напряжении, поданным на него, равное 2 В. Требуется время  $\Delta t$ , которое можно определить по формуле

$$\Delta t = \frac{2}{\dot{U}}$$

При  $\dot{U}=210 \cdot 10^3$  В/с,  $\Delta t=9,5$ мкс. На рис. 4 показано потребление тока системой термостатирования.

Скорость нарастания фронта тока после транзисторов

$$\dot{i} = \dot{U} \cdot 750$$

При  $\dot{U}=210 \cdot 10^3$ В/с,  $\dot{i}=157,5 \cdot 10^6$ А/с. Длительность фронта нарастания тока составит  $t_\phi'=6,8$  нс, показано на рис. 4.

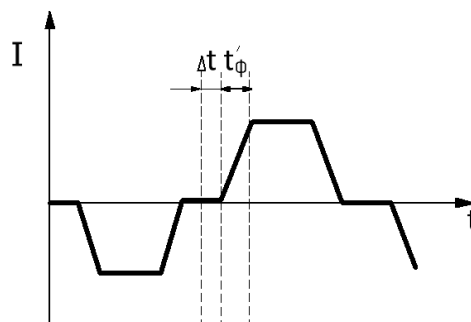


Рис. 4. Сигнал на выходе транзистора

После выяснения причин провалов в отборе мощности от источника питания, были рассмотрены возможные способы их устранения.

1) увеличение крутизны фронтов импульсов за счет подключения на выходе компаратора дополнительных операционных усилителей. При использовании усилителей с коэффициентом усиления 50000 скорость нарастания напряжения возрастет до  $10,5 \cdot 10^6$  В/с, и, соответственно, возрастет величина промежутка времени, когда мощность от источника не отбирается сократиться до 0,85 мкс. Недостаток

способа – усложнение и удорожание схемы за счет использования дополнительных операционных усилителей;

2) подключение на выходе компаратора триггера Шмитта. Недостатки – наличие гистерезиса триггера. Результатом этого является появление ошибок системы термостатирования. Кроме того, применение триггера Шмитта не избавляет от необходимости использования инвертора;

3) применение сглаживающего LC-фильтра в цепи питания нагревателя и охладителя. Расчеты показывают, что для эффективного сглаживания необходимо применение фильтра с большой постоянной времени, реализовать которую в условиях скважинного прибора не представляется возможным;

4) использование компаратора с основным и инверсным выходами, что позволяет отказаться от использования инверторов и дополнительных усилителей. Основной и инверсные выходы компаратора подключаются непосредственно к цепи базы транзисторов, выполняющих роль ключей. Примером такого компаратора является микросхема K554CA4.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белянин Л.Н., Мартемьянов В.М. Термостатирование чувствительных элементов скважинных приборов. Российская научно-техническая конференция «Научно-технические проблемы приборостроения и машиностроения», г.Томск, 28 –29 сентября 2004 года. Сборник трудов. – Томск: издательство ТПУ, 2004, с.59 – 62.

2. Пакулько С.Ю. Система термостатирования узла чувствительных элементов скважинного прибора. 15 международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Современная техника и технологии», г. Томск 04 – 08 мая 2009. Сборник трудов. – Томск: издательство ТПУ, 2009. – С. 205, 206.

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОРИЕНТАЦИИ НА ОСНОВЕ МЭМС АКСЕЛЕРОМЕТРА И МАГНЕТОМЕТРА**

Ло Ван Хао

Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: lovanhao.pro@gmail.com

#### **DETERMINING THE ORIENTATION PARAMETERS USING THE MEMS ACCELEROMETER AND MAGNETOMETER**

Lo Van Hao

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D., Nesterenko T.G.,

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: lovanhao.pro@gmail.com

*Для определения положения объекта на поверхности Земли наибольшее распространение получили географические координаты, с помощью которых можно наблюдать ориентацию и навигацию объекта. Информация об ориентации объекта в пространстве является основополагающей для задач навигации этого объекта на Земле [2]. В географической системе координат задача ориентации понимается как определение углового положения относительно горизонтальной плоскости и направления на север. Одним из самых известных устройств, используемых для определения углового положения объекта относительно направления на магнитный север, является магнитный компас. В этой работе будет рассмотрен современный электронный компас, основанный на трёхосных МЭМС акселерометре и магнетометре.*

Through geographic coordinate, the orientation and navigation of the object are used to determine the position of an object on the Earth's surface. The information about the orientation of the object in space is a fundamental task for the navigation of the object in the world [2]. The geographic coordinate system is understood as a task orientation determining the angular position relative to the horizontal plane and the direction of the north. One of the most popular devices used to determine the angular position of the object connected with the direction of magnetic north is a magnetic compass. In this work it will be considered as a modern electronic compass based on triaxial MEMS accelerometer and magnetometer.

Ориентация объекта в географической системе координат описывается тремя углами Эйлера-Крылова:  $\Psi$  - курс,  $\theta$  - крен и  $\gamma$ -тангаж (рисунок 1). Эти три угла ориентации можно определять бесплатформенной системой ориентации (БСО), которая состоит из трёхосных МЭМС акселерометра MPU6050 и магнетометра HMC8553L (рисунок 2).

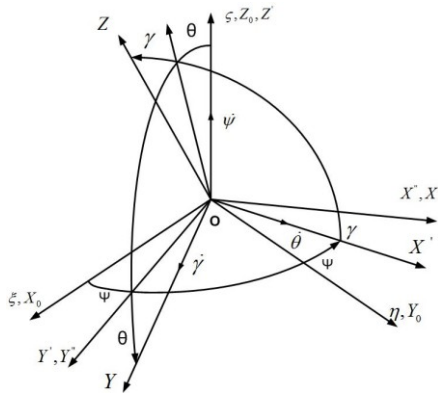


Рис. 1. Повороты на углы Эйлера-Крылова

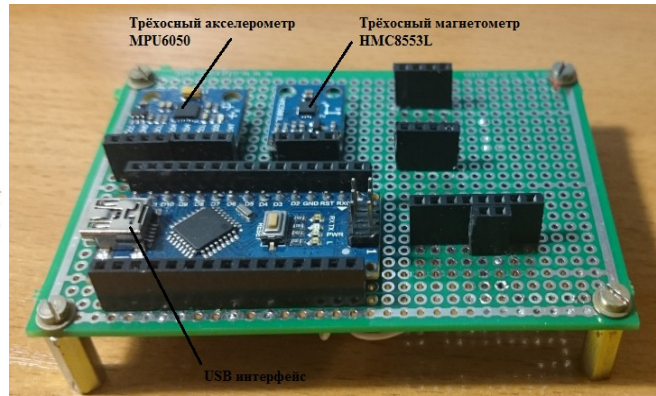


Рис. 2. БСО на основе трёхосных МЭМС акселерометра MPU6050 и магнетометра HMC8553L

Акселерометр чувствителен к линейному ускорению и местному гравитационному полю. В статическом положении на чувствительные оси акселерометра действует только сила гравитации Земли с ускорением свободного падения  $+1g$ . Проекция ускорения свободного падения на чувствительные оси акселерометров после последовательных поворотов выражены в формулах (2) и (3) [4]:

$$R \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta \cos \psi & \cos \theta \sin \psi & -\sin \theta \\ \cos \psi \sin \theta \sin \gamma - \cos \gamma \sin \psi & \sin \psi \sin \theta \sin \gamma + \cos \gamma \cos \psi & \cos \theta \sin \gamma \\ \cos \gamma \sin \theta \cos \psi + \sin \gamma \sin \psi & \cos \gamma \sin \theta \sin \psi - \cos \psi \sin \gamma & \cos \theta \cos \gamma \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$R \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \sin \gamma \\ \cos \theta \cos \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}, \quad (3)$$

где  $A_x$ ,  $A_y$ ,  $A_z$  - ускорения, измеренные акселерометрами. Из уравнения (3) углы крена  $\gamma$  и тангажа  $\theta$  определяются выражениями (4) и (5):

$$\gamma = \arctg\left(\frac{A_y}{A_z}\right), \quad (4)$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{-A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right), \quad (5)$$

После того, как углы крена  $\theta$  и тангажа  $\gamma$  были рассчитаны, угол рыскания  $\Psi$  (рис. 3) вычисляется по формуле:

$$\psi = \arctg\left(\frac{H_y}{H_x}\right), \quad (6)$$

$$\begin{aligned} H_x &= T_x \cdot \cos \theta + T_z \cdot \sin \theta, \\ H_y &= T_x \cdot \sin \theta \cdot \sin \gamma + T_y \cdot \cos \gamma - T_z \cdot \sin \gamma \cdot \cos \theta, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $T_x, T_y, T_z$  - магнитные компоненты вектора напряжённости магнитного поля Земли, измеренные магнетометром.

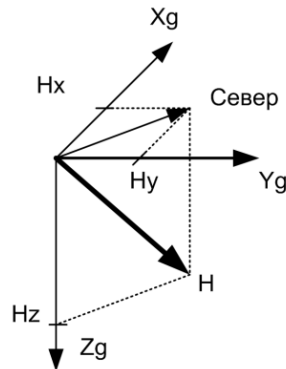


Рис. 3. Магнитное поле Земли

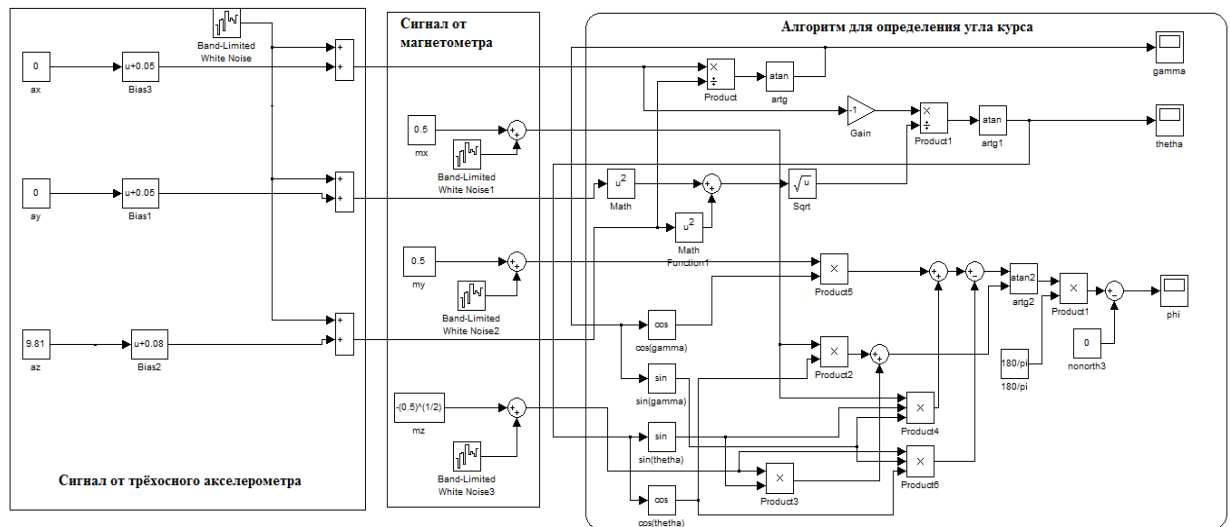


Рис. 4. Схема моделирования алгоритма определения углов ориентации в MATLAB

Схема моделирования уравнений (4), (5), (6) и (7) в пакете Simulink программы Matlab приведена в рисунке 4. В схеме отсутствуют средства оценки точности моделирования. Для устранения этого недостатка введена в схему разность истинного значения курса и сигнала на выходе алгоритма ориентации. Результаты и погрешности вычисления угла курса алгоритмом с заданными шумовыми и смещенными коэффициентами (таблица 1) показаны в рисунках 5, 6 и 7.

Таблица 1. Значения смещения нуля и уровня белого шума акселерометра и магнетометра [1, 3]

	Акселерометр MPU6050			Магнетометр HMC5883L		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Смещение нуля	5mg	5mg	8mg	-	-	-
Белый шум	$400\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	$400\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	$400\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	2mGass	2 mGass	2 mGass

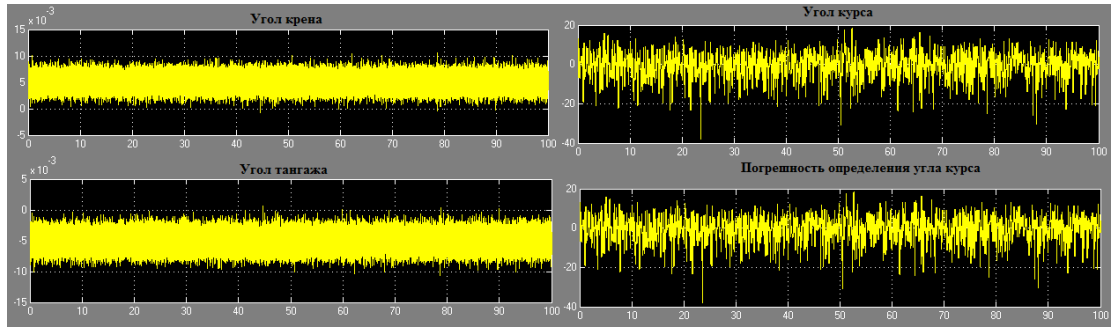


Рис. 5. Значение и погрешность измерения углов крена, тангажа и курса при повороте по курсу на 0 градусов

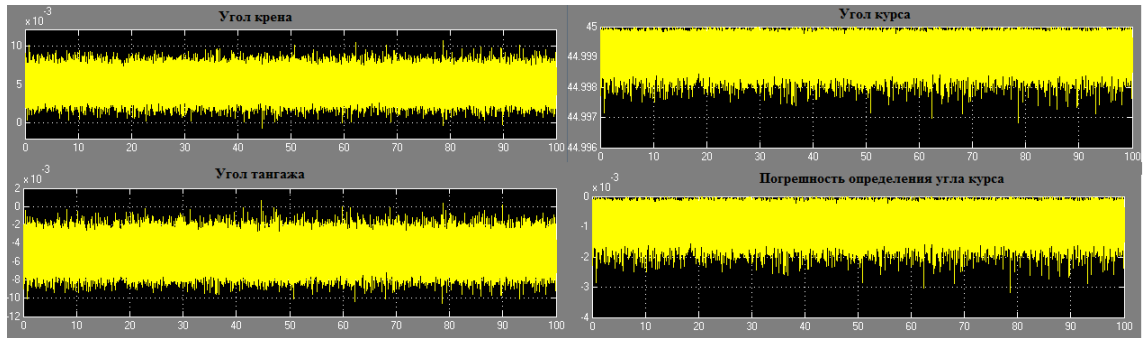


Рис. 6. Значение и погрешность измерения углов крена, тангажа и курса при повороте по курсу на 45 градусов

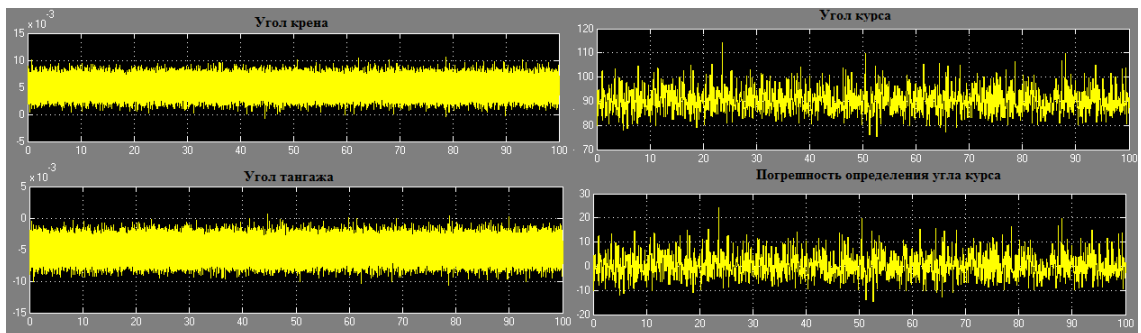


Рис. 7. Значение и погрешность измерения углов крена, тангажа и курса при повороте по курсу на 90 градусов

### Заключение

Из рисунков 5, 6, 7 видно, что погрешность измерения акселерометром и магнетометром большая. Такая высокая погрешность вызывается основными причинами: смещением нуля и шумом датчиков. Для применения микроэлектромеханического акселерометра MPU6050 и магнетометра HMC8553L необходимо их калибровать и устранить влияние шума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Honeywel. 3-Axis Digital Compass ICHMC5883L.-2013.-20с.
2. Курков Сергей. Прибор для определения положения тела в пространстве (North Seeking Device). - 2014. [Электронный ресурс]: <https://www.startbase.ru/projects/650/view/>.
3. InvenSense.MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification.- 11/16/2011.-57с.
4. Mark Pedley.Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer.Rev. 6, 03/2013.-22с.

**УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И АЭРОУПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЛЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Павлов А.М., Арефьев А.Д., Зегжда И.С., Бурлуцкий С.Г., Фетисова Н.А.

Научный руководитель: Ковалев А.П, профессор, д.т.н.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67, 190000

E-mail: sa807@bk.ru

**UNIVERSAL MEASUREMENT SYSTEM OF AERODYNAMIC AND AEROELASTIC CHARACTERISTICS FOR IN-FLIGHT EXPERIMENTS**

Pavlov A.M., Arefyev A.D., Zegjda I.S., Burluckiy S.G., Fetisova N.A.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Kovalev A.P.

Saint-Petersburg University of Aerospace Instrumentation

Russia, Saint-Petersburg, Bolschaya Morskaya, 67, 190000

E-mail: sa807@bk.ru

*Перспективным направлением развития авиационной техники является создание атмосферных спутников – летательных аппаратов, способных совершать длительный полет (более месяца) на высотах более 20 000 метров. Важным отличительным преимуществом атмосферного спутника является возможность барражирования над заданным районом, что космический спутник, в силу особенностей своего движения, сделать не может. Создание атмосферного спутника является сложной задачей и требует комплексного подхода – когда аэродинамика, аэроупругость и системы управления взаимосвязаны. В рамках исследования вопросов аэродинамики, систем управления и аэроупругости подобных летательных аппаратов ведется разработка универсальной измерительной системы аэродинамических и аэроупругих характеристик предназначенной для летных испытаний дистанционно-управляемых моделей. В предлагаемой статье представлено описание этой системы, ее особенности и состав. А также приведены основные требования к ней.*

*One of the most promising direction of development of aviation is the creation of atmospheric satellites - aircrafts those are capable to fly for long time (over a month) and at altitudes of over 20,000 metres. In competence with space satellites, atmospheric satellites has an important distinctive advantage, the ability to patrol above a given area. Creation of an atmospheric satellite is a complex task that requires integrated approach, when aerodynamics, aeroelasticity and control systems are interrelated. For research of aerodynamics, control systems and aeroelasticity of such aircrafts, nowadays a universal measurement system of aerodynamic and aeroelastic characteristics for in-flight experiments of UAV is developing. The article presents a description of the system, its features, composition and general requirements.*

Одним из перспективных направлений развития авиационной техники является создание высотных барражирующих летательных аппаратов, способных совершать полет на высотах 20 000 – 30 000 метров продолжительностью более месяца. Данные летательные аппараты, именуемые также атмосферными спутниками, предназначены для решения задач: аэрофотосъемки, ведение разведки полезных ископаемых, поиска терпящих бедствие судов, самолетов, групп людей [1]. Важным отличительным преимуществом атмосферного спутника является возможность барражирования над заданным районом, что космический спутник, в силу особенностей своего движения, сделать не может.



Считается, что стоимость мультиспектральной съемки, выполненной с борта атмосферного спутника, будет значительно меньше стоимости съемки выполненной космическим спутником при сопоставимом качестве снимков.

Существенный прогресс в создании высокоэффективных солнечных батарей и энергоемких аккумуляторов [2], а также практически полное отсутствие затенения от облаков на крейсерской высоте атмосферного спутника, позволяет в качестве силовой установки рассматривать электродвигатели, питаемые через литий-ионные аккумуляторы от солнечных батарей, расположенных на всей верхней поверхности несущих плоскостей летательного аппарата [1].

Исходя из особенностей работы атмосферного спутника, основным требованием к его аэродинамической компоновке является обеспечение высокого аэродинамического качества в условиях небольшой скорости полета (около 100 км/ч) и пониженной плотности воздуха. Данная задача требует применения крыла большого удлинения со сверхкритическим профилем, имеющим большую относительную вогнутость. А также применения "высоконесящих" аэродинамических схем компоновки: тандем, сочленное крыло, летающее крыло.

Эффективное управление аэроупругим летательным аппаратом с крыло большого удлинения является достаточно сложной задачей [3]. Если на крейсерской высоте полета атмосферного спутника скорость воздушных возмущений не превышает 10 км/ч, то на малых и средних высотах воздушные возмущения значительны, и могут достигать более 100 км/ч [4]. Таким образом, атмосферный спутник, либо будет иметь значительные ограничения по погодным условиям его запуска, либо необходимо будет повышать жесткость его конструкции, что вызовет одновременно и уменьшение полезной нагрузки из-за увеличения массы планера [5].

Применение развитой адаптивной механизации крыла, с соответствующими законами управления, позволит организовать эффективное изменение формы профиля и несущей поверхности крыла, в зависимости от условий полета, реализуя, так называемый, полет по «оггибающей» поляр [6]. Существенно расширит диапазон крейсерских высот полета атмосферного спутника. Кроме того, это позволит обеспечить борьбу со статическими и динамическими деформациями крыла, в частности, организовать борьбу с флаттером и дивергенцией, а также снизить нагрузки на крыло при наборе высоты [3].

Резюмируя: создание атмосферного спутника, требует комплексного подхода – когда аэродинамика, система управления и вопросы аэроупругости взаимосвязаны. Это требует исследования аэродинамики малых чисел Рейнольдса, отработки высоконесящих аэродинамических компоновок и синтеза эффективных законов управления аэроупругим летательным аппаратом.

Основными методами исследования аэродинамических и аэроупругих характеристик летательного аппарата являются математическое моделирование, продувка моделей в аэродинамической трубе и летные испытания натурных летательных аппаратов или их свободнолетающих динамически подобных моделей [3, 7].

В рамках исследования вопросов аэродинамики и систем управления высотных летательных аппаратов, было разработано различное оборудование для измерения аэродинамических и аэроупругих характеристик в трубных испытаниях: 6-компонентные цифровые аэродинамические весы, цифровая система снятия распределения давления и температуры по поверхности крыла, оборудование для измерения аэроупругих динамических и статических характеристик.

На основе данного оборудования ведется разработка Универсальной системы измерения аэродинамических и аэроупругих характеристик экспериментальных дистанционно-управляемых моделей, предназначенных для отработки вопросов аэродинамики и законов управления в летных испытаниях.

Основные требования к предлагаемой системе диктуются особенностями условий эксплуатации исследуемых объектов [1]: способность работать при низком давлении и в широком диапазоне температур от +90 до –70, единомоментное снятие показаний с Измерительных блоков, наращиваемость количества Измерительных блоков и их миниатюрные размеры.

#### **Описание системы**

Представленная система включает в себя Блок сбора и передачи данных, к которому подключаются: Измерительный блок силы, Измерительный блок деформации, Измерительный блок колебаний, Измерительный блок распределения профиля давлений; Измерительный блок профиля скоростей.

#### **Блок сбора и передачи данных**

Блок сбора и передачи данных подключается к системе воздушных сигналов летательного аппарата, для соотнесения полученных данных с условиями полета. Предусмотрена возможность подсоединения к нему Измерительных блоков не только по проводному каналу, но и по беспроводному, с целью обеспечить их установку в местах, где невозможно провести проводной канал, например, из-за конструктивных особенностей исследуемого объекта. Полученные показания с Измерительных блоков сохраняются на дополнительную внешнюю память Блока сбора и передачи данных, а также передаются наземный пульт оператора по радиоканалу через подключаемый радиомодуль.

Данный блок прорабатывается в двух исполнениях. В первом случае, он представляет собой, по сути, преобразователь USB – RS485, что позволяет подключать к нему по шине до 20 измерительных блоков. Синхронизационная команда обеспечивает синхронное, единомоментное снятие данных со всех Измерительных блоков.

Во втором случае, Блок сбора и передачи данных имеет встроенный контроллер с большим количеством встроенной периферии, обеспечивая, таким образом, увеличение количества шин передачи данных, и соответственно, количество подключаемых Измерительных блоков. Синхронизационная команда так же обеспечивает синхронное, единомоментное снятие данных со всех Измерительных блоков.

#### **Измерительный блок**

Измерительный блок состоит из Универсальной платы аналогового датчика и подключенного к ней, в зависимости от задачи, одного аналогового датчика. Измерительный блок может быть выполнен в корпусе или без корпуса, в зависимости от необходимости.

Универсальная плата аналогового датчика позволяет подключать широкую номенклатуру аналоговых датчиков. Ее архитектура идентична разработанной плате тензодатчика примененной в конструкции цифровых шестикомпонентных аэродинамических весов. Основное ее отличие заключается в измененной элементной базе и повышенной частоте до 1 кГц (вместо 200 Гц, аналогичной платы, примененной в весах) снятия данных с датчика.

Универсальная плата аналогового датчика усиливает сигнал согласно заданным значениям усиления и значения 0, и дает возможность усиления прямого и дифференциального сигнала. Преобразует аналоговый сигнал в цифровой, переводит его в физическую величину, согласно калибровочных коэффициентов и далее передает в блок сбора и передачи данных.

Она имеет раздельное питание аналоговой и цифровой части с развязанными землями, так как к аналоговому питанию датчика предъявляются повышенные требования по стабильности и пульсации напряжения. Цифровая часть питается от 5 вольт, аналоговая от 6.5 – 25 вольт.

При необходимости предусмотрена возможность организовать питание аналоговой части платы от цифровой. В таком случае, земля цифровой и аналоговой части будут разъединены фильтром по питанию.

Для фильтрации сигнала на ней расположены встроенные аналоговые RC-фильтры. Кроме этого, предусмотрена возможность использования программируемых аналоговых RC-фильтров, что даст возможность варьировать параметры фильтрации входного сигнала, изменяя, таким образом, частоту среза сигнала. Это позволит улучшить качество снимаемого сигнала с датчика при измерении статических, так и динамических характеристик.

Датчик крепится непосредственно к Универсальной плате аналогового датчика для обеспечения их общего температурного режима. Универсальная плата аналогового датчика имеет встроенный датчик температуры необходимый для работы с калибровочными коэффициентами в различных температурных условиях. Для защиты от внешнего воздействия и обеспечения единого температурного режима всех элементов плата покрыта специальным компаундом.

Кроме того, рассматривается восьмиканальное исполнение Универсальной платы аналогового датчика, что позволит получать данные одновременно с восемью датчиков. Для этого на ней необходимо заменить АЦП, и увеличить количество усилителей сигнала и фильтров.

#### **Номенклатура измерительных блоков**

На основе Универсальной платы аналогового датчика строятся следующие Измерительные блоки:

- Блок измерения силы, предназначенный для определения приложенной аэродинамической силы к элементам конструкции летательного аппарата. В качестве датчика в нем применяется тензодатчик.
- Блок измерения деформации, предназначенный для определения статической деформации элементов конструкции летательного аппарата, например, дивергенции крыла. В качестве датчика в нем применяется тензодатчик.
- Блок измерения колебаний, предназначенный для определения собственных частот колебаний элементов конструкции летательного аппарата, вызванных воздушными возмущениями и приложенной аэродинамической силой. В качестве датчика в нем применяется акселерометр.
- Блок измерения профиля распределения давлений, предназначенный для определения подъемной силы и силы сопротивления с помощью определения разности давлений на нижней и верхней поверхности элементов конструкции летательного аппарата. В качестве датчика в нем применяется датчик давления.
- Блок измерения профиля скоростей предназначен для исследования профиля скоростей при обтекании объекта воздушным потоком. В качестве датчиков в нем применяются последовательно расположенные за источником тепла термоанемометры.

#### **Калибровка**

Большое внимание при создании Измерительных блоков уделяется вопросу их калибровки. Предварительно производится оценка нелинейности, дрейфа, гистерезиса датчиков и принимается решение о возможности их применения в измерительном блоке.

Калибровка датчиков выполняется в составе Измерительных блоков, на всем эксплуатационном диапазоне температур от +90 до – 70 градусов для получения калибровочной таблицы, которая служит для

создания штатной прошивки Измерительного блока. Она выполняется в климатической камере, на специальных оснастках, в зависимости от типа датчика Измерительного блока.

Во время калибровки производится определение масштабного коэффициента и коэффициента смещение нуля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Broadbent M. Powered by the Sun// Air International. – 2014. №3. – С. 90 – 93.
2. Грузков С.А. Электрооборудование летательных аппаратов: учебник для вузов. В двух томах- М.: Издательство МЭИ, 2005. Том I. Системы электроснабжения летательных аппаратов. – 2005. – 568 с.
3. Белоцерковский С.М. Введение в аэроупругость – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 384 с.
4. Селенов В.С. Метрологическое обеспечение полетов. Изд. 2 – е, испр. – М.: книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2010. – 192 с.
5. Миртова К.Д. Конструкция и прочность самолетов и вертолетов – М.: Книга по требованию, 2013. – 440 с.
6. Бюшгенс Г.С. Аэродинамика и динамика полета магистральных самолетов – М.: Издательский отдел ЦАГИ, 1995. – 772 с.
7. Пэнкхёрст Р. Техника эксперимента в аэродинамических трубах – М.: Издательство иностранной литературы, 1955 – 654 с.

#### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕДУРЫ АКТИВНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ В СОТОВЫХ ПАНЕЛЯХ САМОЛЕТОВ**

Пань Я.

Научный руководитель: Вавилов В.П., профессор, д.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050 E-mail: panytj@163.com

#### **OPTIMIZING PARAMETERS OF NUMERICAL MODELLING OF THERMAL NONDESTRUCTIVE TESTING OF WATER INGRESS IN AVIATION HONEYCOMB PANELS**

Pan Y.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Vavilov V.P.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: panytj@163.com

*Оптимизированы параметры пространственно-временной сетки при численном моделировании теплового контроля влагосодержания в авиационных сотовых панелях. Использована программа ThermoCalc-2D, реализующая двухмерную модель теплового контроля в цилиндрических координатах. В качестве эталона выбрано аналитическое решение задачи нагрева трехслойной пластины, реализованное в программе Layer-3 Analytic.*

*Parameters of spatial-temporal numerical grid are optimized in the framework of the solution to heat conduction in honeycomb panels containing hidden water. The 2D numerical model in cylindrical coordinates is implemented in the ThermoCalc-2D software, and the Layer-3 Analytic program is used as a reference.*

С увеличением объема использования композиционных материалов в авиакосмической промышленности возрастают требования к технологиям неразрушающего контроля. В авиационной промышленности, выполненные из композиционных материалов сотовые панели составляют основу

конструкции рулей высоты и направления, фюзеляжа и гондол двигателей. Существенным недостатком таких панелей при эксплуатации самолетов является попадание воды в ячейки сот, что вызывает коррозию клеевого слоя и разрушение панелей в целом вследствие циклов замерзания/размерзания. Для обнаружения скрытой воды наиболее перспективен тепловой/инфракрасный метод контроля [1-2]. Однако, в выполненных к настоящему времени исследованиях, включая соответствующие нормативы корпораций Airbus и Boeing, основное внимание уделено качественному обнаружению воды, в то время как оценка массы воды на практике проводится ультразвуковым методом, который является контактным и малопродуктивным. Наши исследования посвящены разработке теплофизического метода оценки массы воды в процедуре активного теплового контроля. Двухмерное моделирование задачи теплового контроля в цилиндрической системе координат выполнено численным методом с использованием неявной конечно-разностной схемы. Вопросы погрешностей численного моделирования хорошо изучены для однородных материалов, в то время как в тепловом контроле целью моделирования является расчет дифференциальных температурных сигналов в зонах дефектов, погрешность расчета которых малоизучена. На рис. 1 показана модель авиационной сотовой панели, использованная для численного анализа.

В реальных изделиях обшивка из стекло- или углепластика представляет большее тепловое сопротивление, нежели слой связующего (эпоксидного клея) и стенки бумажных (бумага Nomex) ячеек. Поэтому модель рис. 1 можно упростить до вида, показанного на рис. 2.

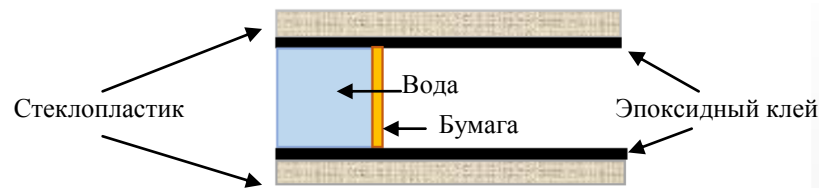


Рис. 1. Модель авиационной сотовой панели

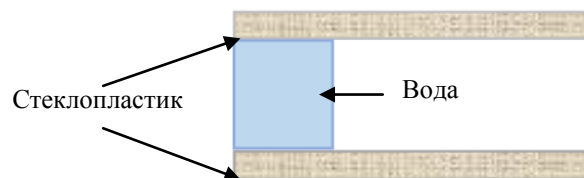


Рис. 2. Упрощённая модель авиационной сотовой панели

Для обнаружения воды применяли активный односторонний тепловой контроль, причем результатом моделирования являлось динамическое температурное поле обшивки во время и после действия теплового импульса. Двухмерная модель, реализованная в программе ThermoCalc-2D, показана на рис. 3: пересечение осей R и Z – центр дефектной зоны; зона 1- вода; зона 2- воздух. Геометрические параметры модели и теплофизические характеристики материалов приведены в Табл. 1 и Табл. 2.

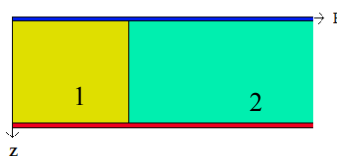


Рис. 3. Двухмерная модель сотовой панели с водой (ThermoCalc-2D)

Таблица 1. Геометрические параметры образца и характеристики теплообмена на наружной поверхности

Радиус дефекта	5 см	Толщина сотовой панели	13 мм
Радиус образца	15 см	Мощность стимуляции	10000 Втм <sup>-2</sup>
Толщина обшивки	0.5 мм	Коэффициент теплообмена на поверхности панели	10 Втм <sup>-2</sup> °С <sup>-1</sup>

Таблица 2. Теплофизические характеристики материалов

Материал	Теплопроводность, Втм <sup>-1</sup> °С <sup>-1</sup>	Температуропроводность, м <sup>2</sup> с <sup>-1</sup>
Стеклопластик	0.3	1.3e-7
Воздух	0.07	2.29e-5
Вода	0.59	1.4e-7

Очевидным результатом моделирования является констатация факта, что амплитуда и динамика температуры зависят от влагосодержания. В качестве информативных параметров выбрали максимальный температурный сигнал  $\Delta T_m$  и время его появления  $\tau(\Delta T_m)$ , а также максимальный контраст температуры  $C_m = (\Delta T/T)_m$  и время его появления  $\tau(C_m)$  [3]. Целью нашего исследования явилась оптимизация шагов пространственной сетки по координатам R и Z, а также шагов временной сетки.

При выбранных размерах сотовой панели и дефекта диффузия тепла по направлению R незначительна, иными словами, дефектная и бездефектная зоны не влияют друг на друга, и теплопередача является одномерной по координате Z. Для одномерной трехслойной пластины, нагреваемой прямоугольным тепловым импульсом, имеется аналитическое решение, реализованное в программе Layer-3 Analytic (разработка Томского политехнического университета). Оптимальные шаги дискретизации обеспечивают минимальное различие аналитических и численных результатов (см. Табл. 3).

Таблица 3. Результаты аналитического и численного решений при оптимальных шагах дискретизации пространственно-временной сетки

Решение	$\Delta T_m, ^\circ\text{C} (\tau_m, \text{с})$	$C_m (\tau_m, \text{с})$
Аналитическое	-31.47, (10.92)	-0.8961, (46.77)
Оптимальное численное	-31.33, (11.00)	-0.8945, (46.70)

Оптимальное численное решение получено методом проб и ошибок при шаге дискретизации по направлению R, равным 0.3 мм, по направлению Z - 0.02 мм и шаге по времени - 0.1 секунды. Значение выполненного исследования состоит в том, что для решения практических задач теплового контроля воды, в том числе, малой массы, аналитическое решение непригодно, а применение численного метода требует выбора оптимальных параметров расчета. Полученные результаты будут в дальнейшем использованы для разработки алгоритма количественного определения воды в сотовых панелях эксплуатируемых самолетов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Vavilov, A. Klimov, D. Nesteruk. Detecting water in aviation honeycomb structures by using transient IR thermographic NDT. Proc SPIE "Thermosense-XXV", 2003, Vol. 5073, pp. 345-354.

2. Вавилов В.П., Нестерук Д.А., Ширяев В.В., Григорьев С.В. (2002). Тепловизионный контроль воды в авиационных неметаллических сотовых конструкциях. *Изв. ТПУ*, 305(5), 118-122.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ.ред. В.В. Ключева. Т. 5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль. /В.П. Вавилов. Кн. 2:Электрический контроль. /К.В. Подмастерьев, Ф.Р. Соснин, С.Ф. Корндорф, Т.И. Ногачева, Е.В. Пахолкин, Л.А. Бондарева, В.Ф. Мужижский. – М.: Машиностроение, 2004. – 679 с.: ил.и цветная вкладка 24 с.- 17 с.

**КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ  
И ДИАГНОСТИКИ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Панычев С.А., Гузик В.Ф., Самойленко А.П., Панычев А.И.

Научные руководители: Гузик В.Ф., профессор, д.т.н; Самойленко А.П., доцент  
Южный федеральный университет, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности  
Россия, г. Таганрог, Некрасовский пер., 44, 347928  
E-mail: ruu2011@mail.ru

**INTEGRATION OF HARDWARE AND SOFTWARE FOR MONITORING AND DIAGNOSTICS  
ONBOARD SPACECRAFT CONTROL COMPLEX**

Panychev S.A., Guzik V.Ph., Samoilenko A.P., Panychev A.I.

Scientific Supervisors: Prof., Dr. Guzik V.Ph.; As. Prof. Samoilenko A.P.  
Southern Federal University, Institute of Computer Technology and Information Security  
Russia, Taganrog, Nekrasovsky, 44, 347928  
E-mail: ruu2011@mail.ru

*Показана актуальность проблемы совершенствования средств контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата. Предложена методология синтеза самодиагностирующегося автомата контроля работоспособности в базе порядковой логики, основным элементом которого является реляторный процессор, функционирующий по алгоритму «дейзи-кольцо». Приведен марковский граф состояний, позволяющий описать изменения вероятностного состояния диагностируемого комплекса системой дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена.*

*The urgency of the problem of improving the means of control and diagnostics of onboard spacecraft control complex is shown. The methodology of synthesis of self-diagnosing performance control machine in the basis of ordinal logic, the main element of which is the relator processor that operates according to the algorithm «daisy-ring» is proposed. An Markov state graph that allows you to describe the changes in the state diagnosed probabilistic complex system by means of Kolmogorov-Chapman differential equations is given.*

Отказоустойчивость бортового комплекса управления космического аппарата (БКУ КА) обеспечивается аппаратными и программными методами контроля работоспособности и локализации отказавшего элемента с последующим его замещением одним из способов резервирования [1-3]. Всякое резервирование предполагает введение в систему аппаратной, временной, информационной, программной избыточности. В связи с жесткими ограничениями на массу, габариты, энергопотребление КА живучесть БКУ должна достигаться комплексированием аппаратно-программных средств, гарантирующим решение диагностической задачи при минимальной степени избыточности.

БКУ КА относятся к классу объектов, параметры которых наряду со случайным изменением внутри регламентируемых допусков имеют тенденцию к случайным выбросам значений в сторону увеличения или уменьшения. Диагностическая модель БКУ КА отображается  $N$  контролируемыми параметрами  $x_i \in X$ ,  $i = \overline{1, N}$  с соответствующими допусками  $[x_i^H, x_i^B]$ , каждый из которых представляет собой случайную функцию  $x_i(t, \xi_i, S_i)$  времени  $t$ , режима функционирования  $\xi_i$ , динамического состояния  $S_i$ -го элемента системы и других флуктуационных факторов. Наступление сбоев и отказов БКУ КА может

характеризоваться последовательностью случайных выбросов параметров  $X = \{x_1(t, \xi_1, S_1), \dots, x_N(t, \xi_N, S_N)\}$  относительно установленных допусков [4].

Предлагаемый подход к статистической диагностике состояний БКУ КА состоит в следующем: 1) использование нового диагностического параметра – выброса случайного процесса, т.е. кратковременных превышений контролируруемыми параметрами пределов априорно заданных допусков; 2) учет свойств выброса не как переменной во времени величины, а как представителя генеральной совокупности значений случайного процесса; 3) установление связи стохастических свойств выброса с изменением состояния (характера отказа и адреса отказавшего элемента) диагностируемого БКУ КА.

БКУ КА комплексуется из набора совместимых по информационным, логическим, энергетическим, конструктивным интерфейсам блоков и прикладных программных модулей. Для каждого из элементов разрабатываются функционально-контрольные точки (ФКТ) подачи и съёма диагностической информации, тем самым БКУ КА, как объект контроля, наделяется свойством контролепригодности. Методы организации ФКТ позволяют значительно сократить время пребывания БКУ КА в неработоспособном состоянии. Информацию, снимаемую с ФКТ, можно представить в виде матрицы сигналов состояний  $\|X\|$ , являющихся входными сигналами автомата контроля (АК).

Разработана методология синтеза самодиагностирующегося АК работоспособности БКУ КА в базисе порядковой логики с использованием реляторных процессоров [5]. На рис. 1 представлена структура реляторной сети, решающей задачу сбора, обработки и сжатия информационных потоков о состоянии ФКТ:  $\lambda_{И}$  – входной информационный поток задач;  $\lambda_0$  – поток отказов и сбоев БКУ КА;  $X_1, X_2, \dots, X_N$  – воздействие на систему поддержки;  $Y_1, Y_2, \dots, Y_M$  – воздействие на БКУ КА; ША – шина адреса; ШД – шина данных.

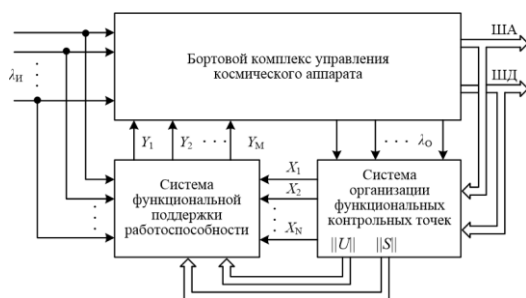


Рис. 1. Структурная схема организации процесса поддержки работоспособности БКУ КА

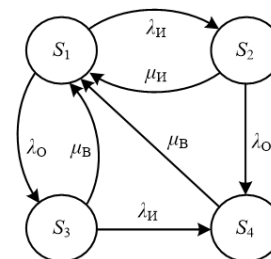


Рис. 2. Граф состояний «Объект контроля – Автомат контроля»

В качестве базового элемента АК использован реляторный процессор, функционирующий по алгоритму «дейзи-кольцо»:

$$\|Y\| = A_n^r \|X\| \& \|S\| \& \|U\|,$$

где  $A_n^r$  – логический определитель;  $r = \overline{1, N}$ ;  $\|X\|$  – квазиматрица сигналов ФКТ о состоянии контролируемых блоков;  $\|S\|, \|U\|$  – матрицы сигналов, управляющих режимами контроля [6]. Число состояний реляторного процессора равно  $N!$ .

АК в базисе реляторных процессоров представляет собой логическую сеть, наделенную свойством однородности, магистральности, перестраиваемости. Необходимое быстроедействие АК определяется моделью марковского графа (рис. 2), в котором БКУ КА и АК отображаются соответствующими системами массового обслуживания при априорно заданных характеристиках входного потока задач и потока отказов. Граф содержит вершины:  $S_1$  – система исправна и находится в дежурном состоянии;  $S_2$  – система исправна и



находится в рабочем состоянии;  $S_3$  – система неисправна и находится в дежурном состоянии;  $S_4$  – система неисправна и находится в рабочем состоянии. Дуги графа соответствуют интенсивностям переходов:  $\lambda_{И}$  – интенсивность входного информационного потока задач;  $\mu_{И}$  – интенсивность решения задач;  $\lambda_0$  – интенсивность потока отказов;  $\mu_{В}$  – интенсивность потока восстановлений.

Предложенный граф описывает изменения вероятностного  $P_i(t)$  состояния диагностируемого БКУ КА и позволяет отразить этот процесс системой дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_j P_{ij}(t) \lambda_{ij}, \quad i = \overline{1,4}, \quad (1)$$

где  $j$  – число входящих и выходящих дуг для  $i$ -й вершины.

В статическом режиме, когда  $\lim_{t \rightarrow \infty} dP_j(t)/dt = 0$ , система дифференциальных уравнений (1) переходит в систему алгебраических уравнений, решение которой приводит к получению верхней границы быстродействия АК. В динамическом режиме решение системы (1) методом преобразования Лапласа-Стильеса позволяет определить время, необходимое для обеспечения переходного процесса диагностирования, тем самым найти нижнюю границу быстродействия.

Поскольку БКУ АК является многопроцессорной системой, то процедуру контроля и самодиагностики можно построить по принципу мажоритарно-динамической реконфигурации [6]. В расчетный момент времени БКУ АК посредством АК на определенный промежуток времени декомпозируется на работающую и эталонную подсистемы. При этом декомпозиция может выполняться в различных вариантах. Например, в некоторый момент времени четные процессоры являются работающими, а нечетные – эталонными. Элементы с порядковыми номерами  $i$  и  $i + 1$ ,  $i = \overline{1, N}$  объединяются попарно для выполнения одной и той же задачи с одновременным сравнением результатов ее решения. В этом состоит первый этап реконфигурации, результат которого отображается  $N/2$ -элементным кодом. Отсутствие единичных ординат в коде определяет БКУ АК как работоспособный, следовательно, АК производит обратную реконфигурацию в исходное состояние. Наличие единичной ординаты в коде состояния говорит о возникновении отказа, причем её адрес указывает на неисправную пару, элементы которой затем реконфигурируются и объединяются попарно с элементами соседних пар:  $(i - 1)$ -йс-м и  $(i + 1)$ -й с  $(i + 2)$ -м. Результаты очередных сравнения решений одной и той же задачи формируют новый  $N/2$ -элементный код, тем самым реализуется второй этап мажоритарно-динамической реконфигурации. Анализ выработанного кода позволяет идентифицировать один из процессоров БКУ АК как отказавший и определить его адрес для исключения из архитектуры системы и последующего восстановления на основе стандартного диагностического тестирования. На место отказавшего элемента подключается резервный процессор, а в случае его отсутствия входной поток задач посредством операционной системы АК перераспределяется между работоспособными процессорами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савкин Л.В., Ширшаков А.Е., Новичков В.М. Построение реконфигурируемой системы функционального контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. – № 6. – С. 8-13.
2. Абрамов Н.С., Заднепровский В.Ф., Талалаев А.А., Фраленко В.П., Хачумов М.В. Перспективная система мониторинга и прогнозирования состояния космического аппарата на основе анализа интегрированной информации // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. – № 6. – С. 33-48.
3. Русанов В.Н., Киселев А.Ю., Сильянов Н.В. Самодиагностируемая трехканальная бортовая

- вычислительная система с резервированием замещением // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. – № 3. – С. 23-31.
4. Самойленко А.П., Панычев А.И., Панычев С.А. Метод оценки надежности комплекса радиоэлектронного оборудования летательного аппарата // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 3 (164). – С. 102-110.
5. Гузик В.Ф., Самойленко А.П., Панычев С.А. Логико-порядковая модель контроллера доступа к каналным ресурсам локальной сети // Новые технологии и проблемы технических наук: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – Красноярск, 2014. – С. 103-106.
6. Самойленко А.П., Панычев А.И., Панычев С.А. Синтез системы автоматического контроля работоспособности бортового радиоэлектронного комплекса // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 11 (172). – С. 166-177.

### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРИБОРА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ ГОРНОПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

Пожарский Т.С.

Научный руководитель: Белянин Л.Н., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: tim-pozharskij@yandex.ru

### CONSTRUCTION FEATURES AUTOMATIC INSTRUMENT SYSTEM OF ORIENTATION AND NAVIGATION OF MINING COMBINE

Pozharsky T.S.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Belyanin L.N.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: tim-pozharskij@yandex.ru

*Рассматриваются вопросы конструирования автоматического гироскопического прибора ориентации. Прибор является составной частью системы ориентации и навигации горнопроходческого комбайна функции, выполняемые прибором – определение трех углов Эйлера – Крылова характеризующих ориентацию системы координат связанную с корпусом прибора по отношению к горизонтальной, географически ориентированной системе координат. Ожидается, что действующий макет прибора обеспечит точность определения каждого из трех названных углов Эйлера – Крылова с погрешностью, не превышающей одной, двух угловых минут, при отсутствии жестких требований к вертикализации прибора. Макет строится с использованием динамически настраиваемого гироскопа, макет должен обеспечивать реализацию двух принципиальных схем прибора. Первая основана на использовании двухкомпонентного датчика угловых скоростей, на основе динамически настраиваемого гироскопа, установленного на одноосной платформе. Последняя приводится во вращение с помощью управляющего интегрирующего привода. Информация с двух акселерометров закрепленных на корпусе используется для вычисления двух углов характеризующих положение прибора относительно вертикали места. Вторая схема строится на базе одноосного индикаторного датчика угловых скоростей закрепленном на платформе стабилизации. В этом случае одна измерительная ось гироскопа используется в качестве датчика угла, на базе другой строится датчик угловой скорости компенсационного типа. При разработке конструкции в максимальной степени использованы детали и узлы от отечественной малогабаритной гировертикали МГВ-1. Представлены три проекции и 3Dмодель макета выполненного в среде SolidWorks2015.*

*This work focuses on the designing problems of automatic position sensing gyroscopic device. The device is a component part of the position control system of the tunneling machine. The main function performed by the device is to evaluate three Euler-Krylov angles which define the coordinate system position, associated with the enclosure with respect to the horizontal, geographically oriented coordinate system. It is expected that the actuated device model will ensure the evaluation accuracy of three Euler- Krylov angles with an error of no more than one or*

two arc minutes in the absence of strict requirements for vertical adjustment of the device. The model is constructed with the use of the tuned rotor gyroscope and should ensure the implementation of two basic device circuits. The first circuit is based on the use of two-component angular rate sensor on the base of the tuned rotor gyroscope mounted on the single axis platform. The latter is driven by the integrating control drive. The data from two accelerometers mounted on the enclosure is used to evaluate two angles that define the position of the device relative to the location vertical. The second circuit is constructed on the basis of the single axis angular rate sensor mounted on the stabilization platform. In this case one sensitive gyroscope axis is used as the angle sensor, on the basis of another one the force-balance angular rate sensor is constructed. During the designing process to the most extent were used parts and components of the small-scale attitude gyroscope (МГВ-1) that is produced in Russia. Three projections and 3D model made in framework SolidWorks2015 are also presented in this work.

Подземная навигация является одной из важных проблем при управлении горнопроходческими комбайнами (ГПК) в шахте. Рост энерговооруженности и производительности проходческих комбайнов, с одной стороны, и возросшие требования к точности обеспечения проектных параметров по местоположению, направлению и геометрическим формам штреков, с другой стороны, делают актуальными разработку и внедрение новых систем ориентации и навигации проходческих комбайнов. Такие системы должны строиться с использованием новейших достижений в области гироскопической и навигационной техники, лазерной техники, радиосвязи и радиолокации, и т. д.

На кафедре точного приборостроения разрабатывается такая система, основным прибором которой является автоматический прибор ориентации. Этот прибор в автоматическом режиме (без участия оператора) с высокой точностью способен определять угловое положение объекта в пространстве. В данном случае - ориентацию горнопроходческого комбайна при прокладке подземного штрека [1, 2].

В статье рассматриваются особенности конструкции макета автоматического прибора ориентации. Предлагаются два варианта реализации прибора: первый вариант прибора с двухкомпонентным датчиком угловых скоростей (ДУСом) и интегрирующим приводом (рис. 1.); второй вариант прибора с приводом на основе одноосного индикаторного гиросtabilизатора и однокомпонентным ДУСом (рис. 2.).

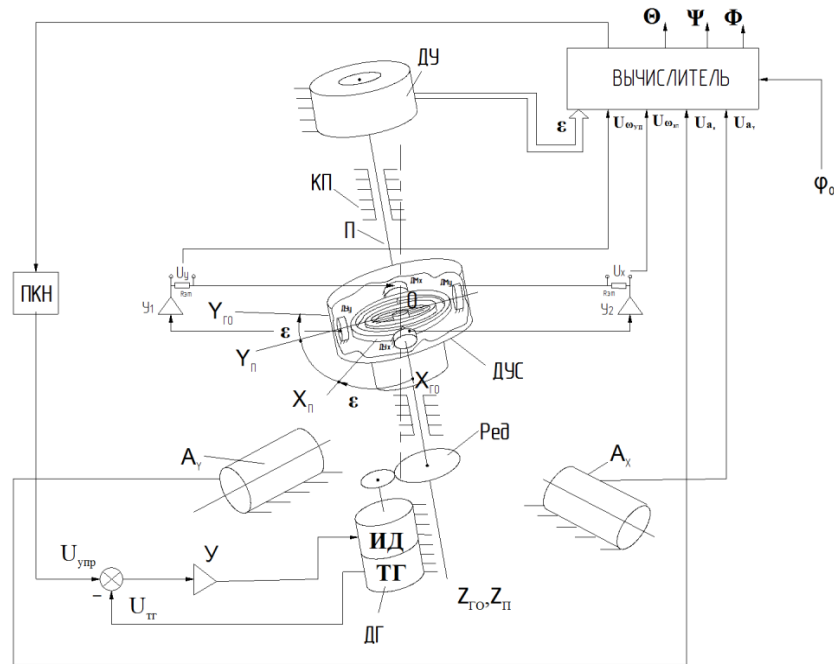


Рис. 1. Вариант схемы прибора с двухкомпонентным ДУСом и интегрирующим приводом

На рис. 1 обозначено:

КП - корпус прибора;

П – платформа;

ДУС – датчик угловой скорости, на основе динамически настраиваемого гироскопа;

ДУ – датчик угла (энкодер);

ДГ – двигатель - генератор;

ИД – исполнительный двигатель;

ТГ – тахогенератор;

У – усилитель;

$A_x, A_y$  – датчики линейных акселерометров, оси чувствительности которых направлены параллельно осям  $OX_{г0}$  и  $OY_{г0}$ ;

$OX_{г0}, Y_{г0}, Z_{г0}$  – система координат, связанная с корпусом автоматического прибора ориентации (АПО);

$OX_{п}, Y_{п}, Z_{п}$  – система координат, связанная с платформой и датчиком угловой скорости, оси чувствительности которого совпадает с осями  $OX_{п}, OY_{п}$ ;

$\varepsilon$  – угол поворота платформы П и датчика угловой скорости ДУС вокруг оси  $OZ_{г0}$  относительно корпуса прибора КП;

$U\omega_{xp}, U\omega_{yp}$  – выходные напряжения ДУСа, прямо пропорциональные проекциям угловой скорости вращения платформы на оси  $OX_{п}, OY_{п}$  соответственно;

$Ua_x, Ua_y$  – выходные напряжения линейных акселерометров, прямо пропорциональные проекциям ускорения силы тяжести на оси  $OX_{п}, OY_{п}$  соответственно;

$\varphi_0$  – широта места установки АПО прибора;

$\Psi, \Theta, \Phi$  – углы Эйлера – Крылова, характеризующие ориентацию корпуса АПО по отношению к горизонтальной, географически ориентированной системе координат;

$DU_x$  – датчик угла ДНГ по оси  $OX_{п}$ ;

$DU_y$  – датчик угла ДНГ по оси  $OY_{п}$ ;

$DM_x$  – датчик момента ДНГ по оси  $OX_{п}$ ;

$DM_y$  – датчик момента ДНГ по оси  $OY_{п}$ ;

$U_1, U_2$  – усилители - преобразователи в каналах измерения угловых скоростей вокруг осей  $OY_{п}$  и  $OX_{п}$  соответственно;

$U_x$  – сигнал с датчика угла  $DU_x$ ;

$U_y$  – сигнал с датчика угла  $DU_y$ ;

Ред – редуктор;

ПКН – преобразователь код-напряжение;

$R_{эт}$  – эталонное сопротивление.

В нашей системе интегрирующий привод состоит из усилителя УС, двигателя ИД, редуктора Ред и тахогенератора ТГ. С тахогенератора снимается напряжение, прямо пропорциональное угловой скорости вращения вала двигателя. Входное напряжение  $U_{упр}$  сравнивается с выходным напряжением тахогенератора  $U_{тг}$  и сигнал, прямо пропорциональный разности этих напряжений  $U_{упр} - U_{тг}$ , попадает на вход усилителя. Интегрирующий привод обеспечивает достаточную точность интегрирования при большом коэффициенте усиления прямой цепи [3].

В данной схеме информация об угловой скорости снимается с двух взаимно перпендикулярных осей чувствительности ДУСа, а вращение платформы осуществляется с помощью двигателя - генератора с редуктором. Плавность хода обеспечивается применением интегрирующего привода и разрезной шестерни последней ступени редуктора (последняя на схеме не указана).

Другой вариант - это построение системы на основе одноосного гиросtabilизатора индикаторного типа (рис. 2). В качестве чувствительного элемента гиросtabilизатора используется трехстепенный астатический гироскоп или динамически настраиваемый гироскоп. Одна измерительная ось этого гироскопа, параллельная оси подвеса платформы, используется в качестве датчика угла поворота платформы в одноосном индикаторном гиросtabilизаторе. Вторая ось этого гироскопа выступает в роле оси чувствительности датчика угловой скорости компенсационного типа [4, 5].

В виде кода сигнал с вычислителя поступает на преобразователь ПКТ далее сигнал в виде тока  $I_{упр}$  поступает на датчик момента  $ДМ_x$  по оси  $OX_{п.}$ . Вокруг оси  $OY_{г0}$  возникнет угловая скорость прецессии. С датчика угла  $ДУ_y$  поступает сигнал  $U_{дy}$  который после усиления подается на обмотку управления исполнительного двигателя ИД. Последний обеспечивает плавное вращение платформы с постоянной скоростью, пропорциональной току  $I_{упр}$ .

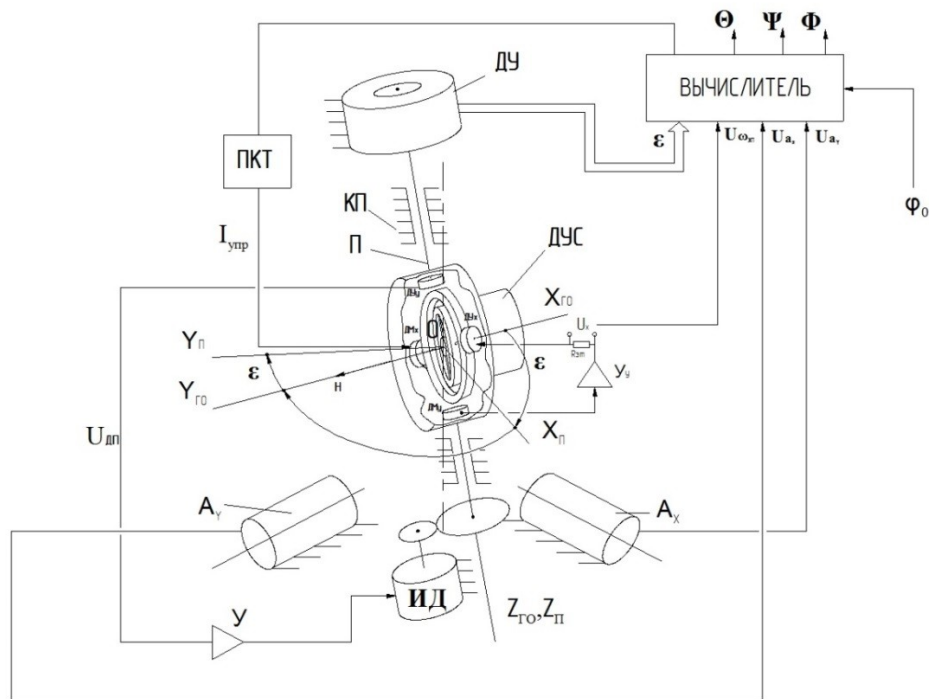


Рис. 2. Вариант схемы прибора с приводом на основе одноосного индикаторного гиросtabilизатора и однокомпонентным ДУСом

На рис. 2 обозначено:

$U_y$  – усилитель по оси  $OY_{г0}$ ;

$U_{дy}$  – сигнал с датчика угла  $ДУ_y$ ;

$I_{упр}$  – сигнал управления с вычислителя;

$U_{дп}$  – сигнал с датчика момента  $ДМ_y$  на моментный двигатель ИД;

ПКТ – преобразователь код-ток;

Остальное см. обозначения рис.1

Основная задача построения макета состоит в том, чтобы добиться необходимой точности в условиях лаборатории с использованием доступных узлов и деталей. Макет должен позволять произвести исследования как по одной схеме, так и по другой, в результате чего путем сравнения будет определена лучшая схема прибора. На рис. 3 представлена при проекции макета прибора а также его 3D модель. Модель выполнена в среде SolidWorks 2015. Макет прибора позволяет реализовать обе вышеприведенные схемы прибора. Путем поворота промежуточной рамы на  $90^\circ$  (на рис. 3 выделена синим цветом) схема из первого варианта прибора преобразуется во второй. ДНГ на рис. 3 обозначен черным цветом и закрепляется на промежуточной раме с помощью оправки. В приборе используется ДНГ типа ГВК-6. Между оправкой с ДНГ и промежуточной рамой устанавливается теплоизоляционный стакан из фторопласта. Такая конструкция облегчает работу системы термостатирования ДНГ. Датчик угла - энкодер (на рис. 3 выделен коричневым цветом) устанавливается в верхней части прибора. Вал энкодера связан с полуосью подвеса платформы при помощи соединительной муфты сильфонного типа. Для обеспечения питания чувствительных элементов, расположенных на платформе прибора, и съёма информации применяется коллекторный токоподвод на 36 цепей. Корпус прибора и внутренняя рама заимствованы от отечественной гировертикали МГВ-1. При исследовании макета последний устанавливается на наклонно - поворотном стенде. На общем основании устанавливаются датчики линейных акселерометров. Платы обслуживающей электроники на рисунке не показаны и размещаются в отдельном блоке.

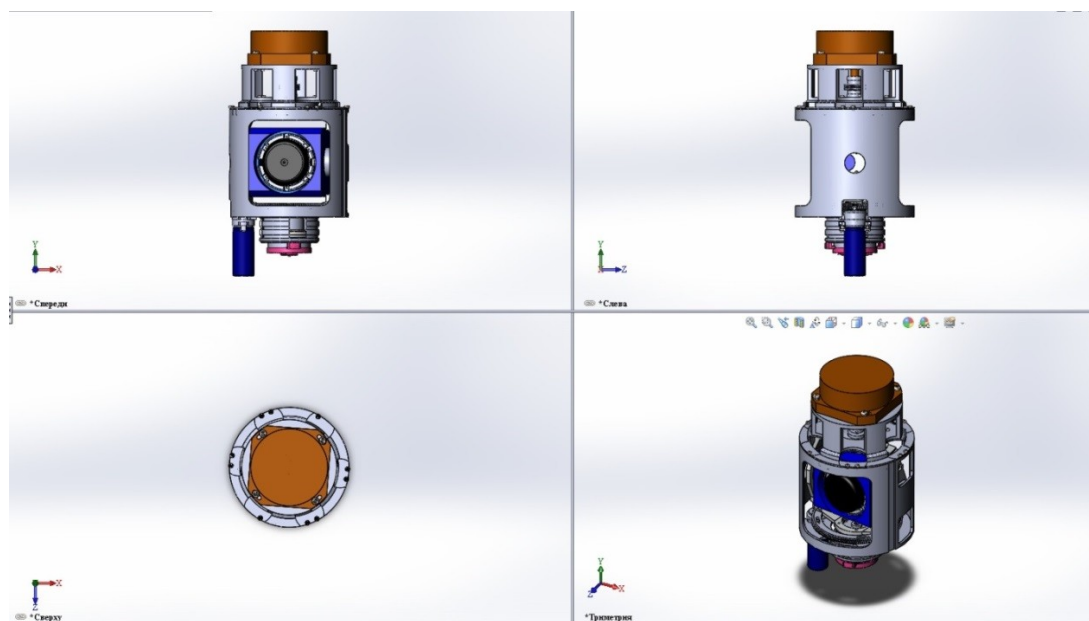


Рис. 3. Макет прибора спроектированный в среде SolidWorks 2015

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поиск путей создания системы навигации горнопроходческого комбайна. Отчет о научно-исследовательской работе по хоздоговору №5-190/13 научный руководитель Л.Н. Белянин. Утвержден директором ИНК, доктором технических наук профессором В.Н. Бориковым. – Томск: НИИ ТПУ, 2014.
2. Пат.1051375 СССР. Автоматический наземный гирокомпас/В.П. Белокуров, В.И. Глейзер, И.А. Корбут, В.М. Мовчан, С.Л. Резентулер, Е.И. Ханеева// Бюл. – 1983. – №40.
3. Л.П. Крайзмер. Словарь радиолобителя. - Выпуск 794 Издание 4. – 1972. – с. 166.

4. Теория гироскопических гиросtabilизаторов: учебное пособие /А.Н. Лысов, А.А. Лысова. – Челябинск Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 117 с.
5. Индикаторные гироскопические платформы: монография/А.Д. Александров, Е.А. Правоторов, В.Ф. Рафельсон, М.П. Фельдман; под ред. А.Д. Александрова. – М.: Машиностроение, 1979. – 239 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В СОТОВОЙ ПАНЕЛИ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОВОЛНОВОГО КОНТРОЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКАХ НАГРЕВА**

Разумова А.А., Чулков А.О.  
Научный руководитель: Ширяев В. В., к.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: razumova\_aa@mail.ru

**DETERMINATION OF DEFECTS IN THE CELLULAR PANEL BY MEANS OF THERMOWAVE CONTROL AT VARIOUS SOURCES OF HEATING**

Razumova A.A., Chulkov A.O.  
Scientific Supervisor: Ph.D. Shiryayev V.V.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: razumova\_aa@mail.ru

*В данной работе представлены эксперименты по обнаружению искусственно созданных дефектов в сотовой панели из стеклопластика, с помощью термоволнового контроля. В статье показаны иллюстрации экспериментальной установки и термограммы, полученные в результате экспериментов. Данные эксперименты помогут в реальных условиях повысить качество и безопасность производства в космостроении.*

*The article presents the experiments on detection of the artificially created defects in the cellular panel from fibreglass, by means of thermowave control. The illustrations of the experimental installation and the thermogram received as a result of experiments are showed. These experiments can help to increase the quality and safety of production in space construction.*

В настоящее время контроль качества материалов и объектов, которые создают из них, имеет больше значение. Это касается различных областей промышленности, в частности авиастроения и космостроения. Необходимо своевременно определять и находить дефекты в конструкциях, деталях, корпусах объектов, что позволит вовремя произвести ремонт или замену необходимых частей, что не повлечет за собой катастроф.

Целью статьи является представление результатов эксперимента, по обнаружению искусственно созданных дефектов в объекте контроля – сотовой панели из стеклопластика, при различных источниках нагрева.

Для эксперимента был изготовлен объект контроля (ОК) из двух пластин стеклопластика и бумаги между ними. Размеры ОК следующие: 44x62 см. объект контроля представлен на рисунке 1. Дефектами в объекте контроля являются капли воды и эпоксидной смолы.



Рис. 1. Объект контроля

Установка для эксперимента по определению дефектов с помощью термоволнового контроля представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Экспериментальная установка

Напротив ОК находится тепловой дефектоскоп, который содержит в себе четыре галогенных источника нагрева, мощностью 500 Вт каждая. Параметры эксперимента: время нагрева – 4с, время остывания – 4с, количество циклов нагрева/остывания – 10, материал – стеклопластик. Расстояние между источником нагрева и ОК составляет 122 см. Вся установка находится в затемненной комнате, что позволяет убрать постороннее излучение окружающих предметов.

На рисунке 3 представлена термограмма ОК в конце эксперимента. Имеются артефакты ниже центра термограммы, вызванные отражением нагретых элементов излучателей.

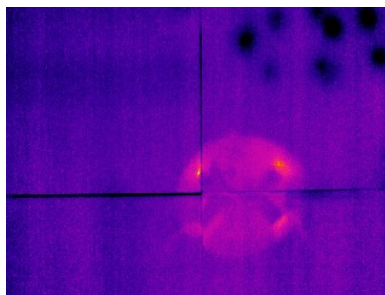
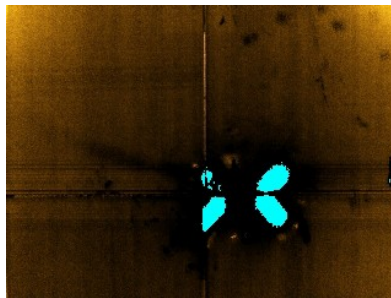


Рис. 3. Термограмма в конце эксперимента

Как видно по рисунку 3, на термограмме ОК удается обнаружить дефекты справа сверху термограммы. Однако для более наглядного представления дефектов необходимо в программе ThermoFit



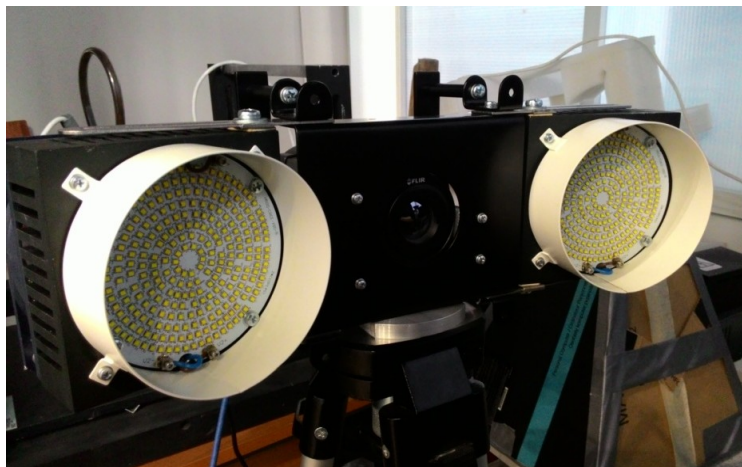
Pro, которая разработана в лаб. 34 ИНК ТПУ, провести обработку последовательности термограмм эксперимента с помощью опции – Фурье-анализ. Данные представлены на рисунке 4.



*Рис. 4. 12-ая гармоника Фурье-анализа*

Как видно из рисунка 4, дефекты на обработанной термограмме с помощью Фурье-анализа видны контрастнее. Отношение сигнал-шум на термограмме, не обработанной с помощью опции Фурье-анализ, составляет  $S=18.883$ , а отношение сигнал-шум на термограмме, обработанной с помощью данной опции, составляет  $S= 2.0942$ .

Далее был проведен еще один эксперимент по определению дефектов той же панели, но с другим источником нагрева – светодиодными лампами, которые представлены на рисунке 5. Суммарная мощность ламп 1 кВт, что в 2 раза меньше, чем у галогенного источника нагрева.



*Рис. 5. Источник нагрева 2-го эксперимента*

Параметры эксперимента прежние: время нагрева – 4с, время остывания – 4с, количество циклов нагрева/остывания – 10, материал – стеклопластик. Расстояние между источником нагрева и ОК составляет 122 см. Установка так же находится в затемненной комнате.

На рисунке 6 представлена термограмма ОК в конце эксперимента.

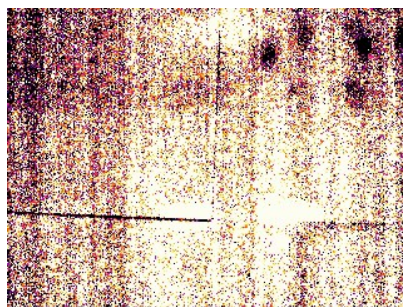


Рис. 6. Термограмма в конце эксперимента

Далее так же, как и в первом опыте проводим обработку последовательности термограмм с помощью опции Фурье-анализ, результат показан на рисунке 7.

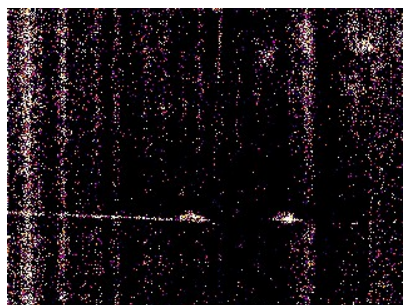


Рис. 7. 10-ая гармоника Фурье-анализа

Как видно из рисунка 7, дефекты обнаружить практически не удалось, что можно объяснить тем, что мощность светодиодного источника оказалась недостаточной для выявления дефектов в данном эксперименте. Отношение сигнал-шум на термограмме, не обработанной с помощью опции Фурье-анализ, составляет  $S=4.4132$ , а отношение сигнал-шум на термограмме, обработанной с помощью данной опции, составляет  $S= 1.6896$ .

Данный опыт позволил определить, что использование галогенного источника выгоднее, т.к. при таком нагреве дефекты проявили себя лучше вне зависимости от того вода это или эпоксидная смола. Так же можно предположить, что необходимо провести повторный опыт со светодиодами, но увеличив их суммарную мощность, либо увеличив параметры циклического нагрева/остывания и провести повторный анализ и сравнение результатов. Данные и подобные эксперименты помогают обнаружить различного рода дефекты в материалах, что играет огромную роль в космостроении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1, Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. - М.: Издательский дом "Спектр", 2009. – С. 17-33, 187 – 200, 259, 290-344.
2. Composite Materials – Verbundwerkstoffe in der Luft- und Raumfahrttechnik / Günter Pommeranz, Ulrich Lutter. 2008. – С. 4 – 8, 10 – 12.
3. Verbundwerkstoffe: Die Materialien der Zukunft Teil 1: Einleitung [Электронный ресурс] – URL: <http://www.pluscomposites.eu>. Дата обращения: 08.03.2016.

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ВИБРАЦИИ КОНСТРУКЦИИ  
ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА**

Хайдукова В.М.

Научный руководитель: Бритова Ю.А., ассистент, к.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: vmh1@mail.ru

**METHODS OF DETERMINATION OF VIBRATION SOURCES  
OF THE ENGINE-FLYWHEEL DESIGN**

Khaydukova V.M.

Scientific Supervisor: Assistant, Ph.D. Britova Yu.A.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: vmh1@mail.ru

*В статье рассмотрены основные конструктивные и производственные погрешности, а также методы определения источников вибрации конструкции двигателя-маховика системы ориентации и стабилизации космического аппарата с использованием современных средств измерения. Применение описанных методов позволит улучшить вибрационные характеристики двигателей-маховиков на этапе отработки опытного образца.*

*The main constructive and production errors, methods of determination vibration sources of the spacecraft orientation and stabilization system design engine-flywheel using modern measuring tools are considered in the article. Application of the described methods will improve engines-flywheels vibration characteristics at the stage of prototype testing.*

Для стабилизации и ориентации малых космических аппаратов (МКА) широко используются двигатели-маховики (ДМ), представляющие собой быстровращающийся ротор-маховик, расположенный на подшипниках и приводимый во вращение электроприводом.

Основное свойство ДМ – стабильность положения главной оси в пространстве. Для его выполнения необходимо, чтобы значение момента инерции было постоянным. Одна из существенных причин нарушения стабильности положения главной оси ДМ - собственная вибрация.

При проектировании ДМ актуальна проблема вредных возмущающих воздействий, вызванных конструктивными и производственными погрешностями [1].

К основным конструктивным погрешностям относятся: недостаточная жесткость конструкции (маховика, корпуса), неправильно выбранные посадки шарикоподшипников (увеличенный зазор или чрезмерный натяг), неточный расчет по нагрузкам, и, как следствие, неверный выбор шарикоподшипника.

Конструктивные причины являются частично следствием недостаточности проработки теоретических и практических данных по расчету собственных частот отдельных деталей и ДМ в целом.

Производственные погрешности, вызывающие вибрации элементов конструкции ДМ, обуславливаются в основном следующим: технологическими и производственными погрешностями при изготовлении деталей, недостаточным динамическим уравновешиванием маховика, перекосом или затяжкой шарикоподшипников при монтаже, некачественной сборкой.

Основной механизм ДМ – шарикоподшипниковый узел. Спектр вибрации шарикоподшипников состоит из многочисленных гармоник, многие из которых значительны по амплитуде. Вибрация подшипников определяется случайными взаимодействиями геометрически неидеальных поверхностей дорожек качения и шариков. Возможны выбросы энергии, которые оказывают влияние на колебание момента инерции, кинетического момента и на нарушение стабильности главной оси. В шарикоподшипниковом узле вероятны следующие причины неисправности: неровность сепаратора, некруглость дорожек качения внутреннего кольца, зазор подшипника, дефекты шарика и т.д. [2].

В процессе работы ДМ шарикоподшипники постепенно изнашиваются, что увеличивает неуравновешенность ротора.

Неуравновешенность маховика ДМ разделяется на статическую и моментную. Статическая неуравновешенность вызывает центробежную силу  $F_{ц}$ , вращающуюся с частотой роторной системы  $\omega$ .

Моментная неуравновешенность роторной системы ДМ генерирует возмущающий момент, который от ДМ передается на перекрестные оси, и тем самым ухудшает точность системы ориентации и стабилизации МКА.

Балансировка ДМ осуществляется посредством двухканального виброанализатора, который позволяет проводить измерения общего уровня вибрации, амплитуды/фазы первой гармоники оборотной частоты. К каналам виброанализатора подключаются акселерометры, которые устанавливаются в двух ортогональных плоскостях балансируемого ДМ.

Балансировка ротора-маховика ДМ проводится в двух плоскостях коррекции до достижения требуемого значения остаточной неуравновешенности.

Принцип работы виброанализатора основан на определении необходимых корректирующих масс и углов, их постановки в указанных плоскостях коррекции. Окончательное значение остаточного дисбаланса вычисляется вручную при заданных в конструкторской документации радиусах плоскостей коррекции. Единицы измерения вычисленного остаточного дисбаланса – г·мм [3].

При вращении в шарикоподшипниках качения даже весьма точно уравновешенный ротор периодически теряет устойчивость из-за асимметрии расположения тел качения относительно оси, проходящей через центры масс шарикоподшипников. В результате появляются вибрации, частота которых не совпадает и не кратна скорости вращения ротора. Вибрации одного шарикоподшипника через детали ДМ влияют на параметры вибрации парного с ним шарикоподшипника.

Теоретически оценить жесткость конструкции на этапе разработки ДМ возможно посредством современных САД-систем, позволяющих создать оригинальные 3D-модели и произвести расчет собственных частот, подобрать приемлемый материал и массогабаритные характеристики [4].

Провести расчет собственных частот шарикоподшипникового узла возможно по общеизвестным математическим выражениям, переменными в которых являются значения конструктивных параметров подшипника и скорость его вращения.

На практике качество конструкции ДМ и его элементов возможно оценить с использованием методов вибрационной диагностики с применением современных средств измерения.

Так, определить собственные частоты элементов конструкции ДМ возможно посредством экспериментального модального анализа. При проведении испытаний создается контролируемое входное возбуждение и проводится анализ его и выходного отклика. В результате проведения модального анализа определяются реальные динамические характеристики конструкций: значения модальных (собственных) частот, уровень демпфирования в каждой точке конструкции и общее демпфирование на выделенных модальных частотах.

Общие сведения о качестве конструкции ДМ возможно оценить при исследовании его вибрационной характеристики (ВХ). ВХ представляет собой зависимость уровня вибрации от скорости вращения ДМ и определяется в рабочих режимах (при включенном приводе) и в выключенном состоянии (при выбеге ротора).

Определение ВХ и обработка полученных данных осуществляется посредством современных средств измерения: датчиков вибрации и анализаторов спектра. Анализ ВХ позволяет оценить качество

балансировки (по уровню вибрации гармоник скорости вращения), сборки подшипникового узла (по уровню вибрации подшипниковых частот), а также значений резонансных частот конструкции ДМ [5].

В качестве примера на рис. 1 представлена ВХ одного из ДМ, полученная посредством анализатора спектра PULSE при использовании трехосевого акселерометра, установленного в районе шарикоподшипникового узла ДМ.

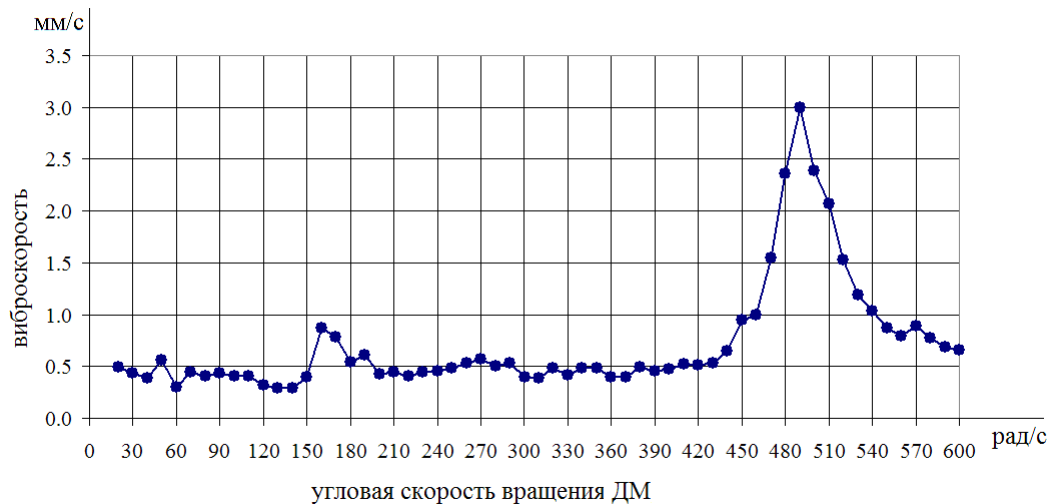


Рис. 1. ВХ ДМ по оси Z

Анализатор спектра PULSE представляет собой основанную на использовании персонального компьютера систему анализа, предназначенную для проведения виброакустических измерений.

Применение теоретических и экспериментальных методов определения источников вибрации конструкции ДМ позволяет оценить влияние того или иного элемента конструкции на общий уровень вибрации ДМ, внести коррективы в конструкторскую документацию и технологический процесс на этапе отработки опытного образца.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладышев Г.Н., Дмитриев В.С., Копытов В.И. Системы управления космическими аппаратами (Исполнительные органы: назначение, принцип действия, схемы, конструкция): Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ. 2000. – 207 с.
2. Журавлев В.Ф., Бальмонт В.Б. Механика шарикоподшипников гироскопов / Под ред. Климова Д.М. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
3. Левит М.Е., Рыженков В.М. Балансировка деталей и узлов. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.
4. Влияние жесткости силовых элементов конструкции на величину критической скорости исполнительного органа на базе управляемого по скорости двигателя-маховика (УДМ) / Ю.А. Бритова, В.С. Дмитриев, А.А.Васильцов, И.С.Костарев // Контроль. Диагностика. – 2012. – Т. 1. - № 11. – С. 221-223.
5. Вибрационный анализ динамических характеристик двигателей- маховиков / Ю.А. Бритова, В.Я. Андросов, В.С. Дмитриев // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – №2. Математика и механика. Физика – С. 167-172.

## ВЛИЯНИЕ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ АКСЕЛЕРОМЕТР

Шашев Д.В., Вторушин С.Е.  
ОАО НИИ полупроводниковых приборов  
Россия, г. Томск, ул. Красноармейская, 99а, 634034  
E-mail: dshashev@mail.ru

## THE IMPACT OF SHOCK EFFECTS ON MEMS ACCELEROMETER

Shashev D.V., Vtorushin S.E.  
JSC research Institute of semiconductor devices  
Russia, Tomsk, Krasnoarmeyskaya str., 99a, 634034  
E-mail: dshashev@mail.ru

*В статье проведён анализ кинематического ударного воздействия на трёхкомпонентный MEMS акселерометр. Исходя из параметров ударного воздействия и акселерометра, удар можно считать длинным, разрушения материала при этом не происходит, но имеет место контактное взаимодействие, при котором может произойти замыкание электродов. В системе управления необходимо реализовать элементы, препятствующие электрическому пробое. Компьютерное моделирование акселерометра показало, что перемещения по всем осям превышают имеющиеся зазоры, следовательно, происходит контакт и отскок подвижных частей. Для сохранения работоспособности необходимо поставить упоры и провести анализ контактного взаимодействия конструкции акселерометра методом КЭ анализа.*

*In the article the analysis of kinematic impact on the three-component MEMS accelerometer. Based on the parameters of the impact and the accelerometer, the impact can be considered long, the destruction of material during this procedure, but there is a contact interaction, in which may occur the circuit of the electrodes. Computer modeling of the accelerometer showed that the displacement on all axes exceeds the available gaps, therefore, there is a contact and rebound of the moving parts. To maintain health it is necessary to put emphasis and to analyze the contact interaction of the construction of the accelerometer with FEA analysis.*

Условия эксплуатации микроакселерометров предполагают наличие интенсивных ударных воздействий [1-4]. При ударных нагружениях необходимо учитывать не только величину нагрузки, но и время, в течение которого она достигает конечного значения, а также ударный импульс.

Ударное воздействие может быть силовым или кинематическим. Непосредственное воздействие возмущающей силы на микромеханическую систему называется силовым возбуждением. Случай, когда заданы законы движения отдельных точек микромеханической системы (например, закон движения подложки сенсора), называется кинематическим возбуждением. Анализ ударного воздействия имеет целью определение деформаций и механических напряжений, возникающих в микромеханических элементах. В результате удара возникает также колебательное движение.

Ударные нагрузки характеризуются величиной ускорения, длительностью удара и формой ударного импульса (рис. 1).

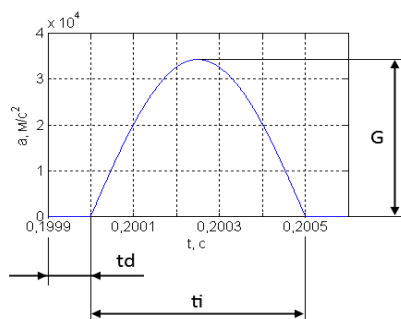


Рис. 1. Ударный импульс

В зависимости от скорости приложения контактной силы, ударное нагружение может рассматриваться как квазистатическое или ударное. Реакция системы, то есть ускорение массы при ударном кинематическом воздействии со стороны основания импульсом ускорения может быть различным. Характер удара зависит от периода  $T_0$  колебаний системы [5]. Относительное движение сенсора акселерометра при ударе и после него определяется произведением  $\omega_0\tau$ , которое для акселерометра получим  $\omega_0\tau = 9,22$ .

Таким образом,  $\omega_0\tau > 1$ , следовательно, удар является длинным и перемещения под действием ударных ускорений можно считать квазистатическими. Длительность  $\tau$  ударного импульса в несколько раз

превышает период  $T_0$  собственных колебаний акселерометра. В этом случае максимальные относительные перемещения сенсора микроакселерометра при ударе можно рассматривать как статические отклонения под действием ускорения

$$\Delta x_i = \frac{W_x}{\omega_{3,4}^2}; \Delta y_i = \frac{W_y}{\omega_{1,2}^2}; \Delta z_i = \frac{W_z}{\omega_{5,6}^2}; i = 1, 2, \quad (2)$$

$W_x, W_y, W_z$  ударные ускорения по направлениям  $x, y, z$ . Ударное ускорение определяется как

$$W = a \cdot k,$$

где  $a$  – амплитуда ускорения ударного импульса;  $k$  – коэффициент передачи при ударе для полусинусоидального импульса

$$k = \frac{2v}{v^2 - 1} \cos\left(\frac{\pi}{2v}\right),$$

$v = \frac{\omega}{\omega_0}$ ;  $\omega = \pi/\tau$  – условная частота ударного импульса;  $\omega_0$  – собственные частоты конструкции. Не учитывая изменение формы сенсора, максимальное ускорение, приводящее к касанию подвижных и неподвижных элементов сенсора микрогироскопа, можно определить по выражению

$$W_{max} = \Delta \cdot \omega_0^2,$$

где  $\Delta$  – зазор между подвижными и неподвижными элементами конструкции. В таблице 1.3 приведены значения максимальных ударных ускорений, приводящие к касанию подвижных частей конструкции с неподвижными. В таблице 1 приведены значения максимальных ударных ускорений, приводящие к касанию подвижных частей конструкции с неподвижными частями.

Таблица 1. Максимальные ускорения, приводящие к касанию

$\Delta$ , мкм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$W$ , g	35,5	71,0	106,5	142	177,5	213	248,5	284	319,5	355

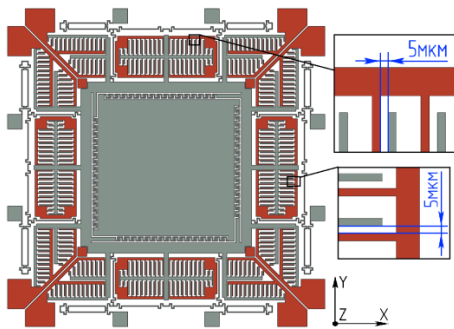


Рис. 2. Минимальные зазоры в конструкции акселерометра

Величины зазоров в акселерометре иллюстрирует рисунок 2. Минимальный зазор составляет 5 мкм, следовательно, уже при ударном ускорении 177 g произойдет касание зубцов всех электродных структур, в то время как в ТЗ указано ударное ускорение 3500 g. Контактное взаимодействие приведет к замыканию электродов и временному отказу прибора, в системе управления необходимо реализовать элементы, препятствующие электрическому пробое.

На рисунке 3 приведены результаты компьютерного моделирования ударного воздействия на акселерометр, который находится в рабочем состоянии, но без контактного взаимодействия. Кроме деформации упругих подвесов, опасность представляет скорость касания электродов. Разрушение материала при ударе может произойти, если скорость соударения превысит величину [5, 6]

$$V_{уд} = \frac{\sigma_{доп}}{\sqrt{E\rho}},$$

где  $\rho$  – плотность кремния,  $E$  – модуль упругости. Для монокристаллического кремния в направлении  $\langle 110 \rangle$  допустимая скорость соударения составляет 25 м/сек. Для рассматриваемого длинного удара скорость соударения  $V_0 = \frac{W}{\omega_0}$ . Собственные частоты разработанной конструкции акселерометра находятся вблизи

частоты 10 кГц. Таким образом, получим, что скорость соударения составляет 0,51 м/с и разрушения материала при контакте происходить не будет.

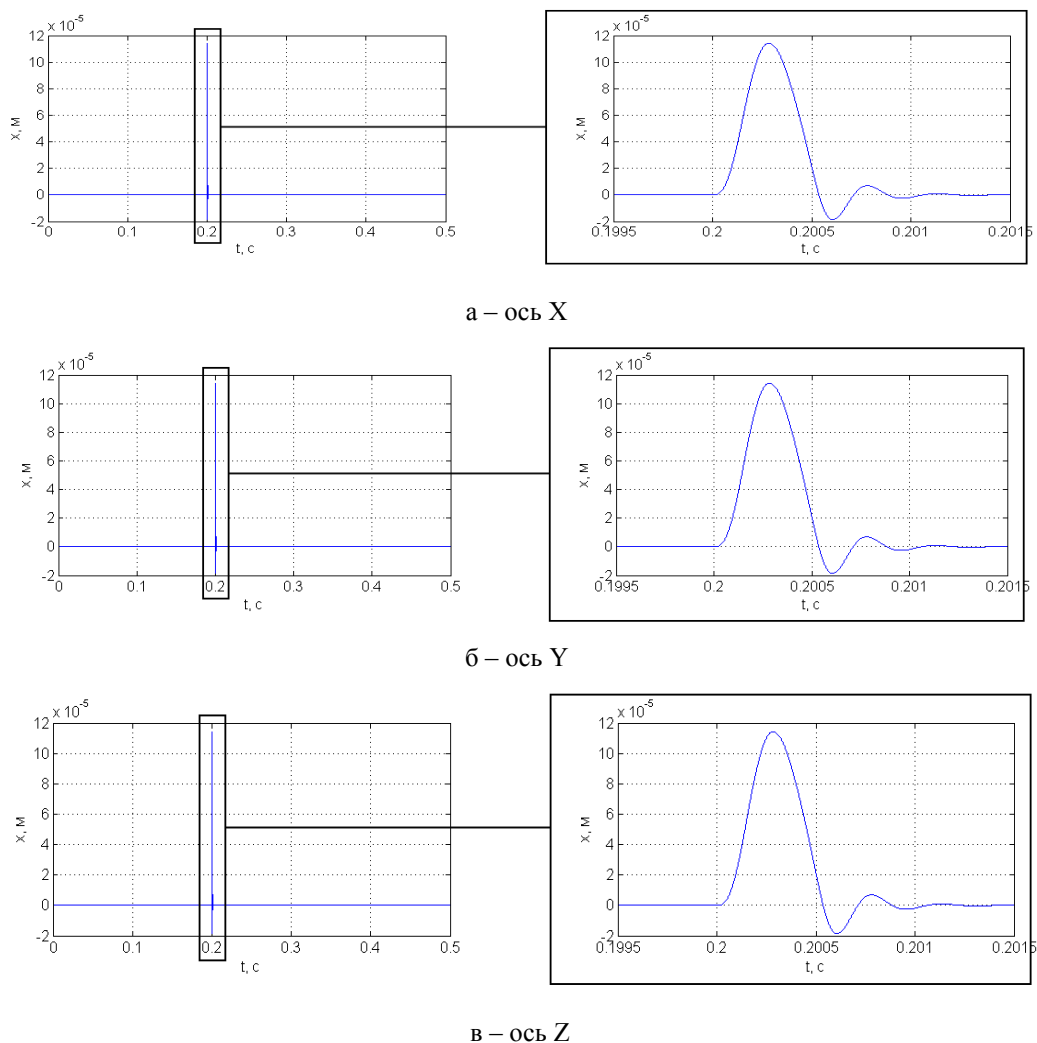


Рис. 3. Перемещения сенсора акселерометра

Перемещения по всем осям превышают имеющиеся зазоры, следовательно, происходит контакт и отскок подвижных частей. Необходимо поставить упоры и провести анализ контактного взаимодействия конструкции методом КЭ анализа.

*Работа выполнена в Томском политехническом университете при финансовой поддержке Минобрнауки, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», Соглашение № 14.575.21.0068, уникальный идентификатор RFMEFI57514X0068.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вопросы обеспечения стойкости микромеханических гироскопов при механических воздействиях / Евстифеев М.И., И.Б. Челпанов. // Гироскопия и навигация. – 2013. – № 1.
2. Анализ ударопрочности конструкций микромеханических инерциальных датчиков / Евстифеев М.И. и др. // Гироскопия и навигация. – 2007. – № 2.



3. Результаты испытаний микромеханических гироскопов при механических воздействиях / М.И. Евстифеев и др. // Гироскопия и навигация. – 2011. – №1.
4. Анализ контактных взаимодействий в микромеханических гироскопах / М.И. Евстифеев, Д.В. Розенцвейн // Научно-технический вестник СПб ГУИТМО. – 2010. – № 4.
5. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – 8-е изд., стереотип. – М.: Наука. –1979. – 560 с.
6. Старовойтов Э. И. Сопротивление материалов. – М.: Физматлит, 2008. – С. 384.

---

# СЕКЦИЯ №4

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

### МОНИТОРИНГ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ РЕСПУБЛИКИ ТУВА (ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ, ОПУСТЫНИВАНИЕ) ПО ДИСТАНЦИОННЫМ КОСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Аракчаа С.У., Шевырёв С.Л.

Научный руководитель: Шевырёв С.Л., доцент, к.г.-м.н.  
Дальневосточный Федеральный университет, Инженерная школа  
Россия, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, 690950  
E-mail: saiz787@mail.ru

### MONITORING OF UNFAVORABLE NATURAL PROCESSES (FOREST FIRES, DESERTIFICATION) OF TUVA REPUBLIC WITH REMOTE SPACE DATA

Arakchaa S.U., Shevirev S.L.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Shevirev S.L.,  
Far Eastern Federal University, Engineering school  
Russia, Vladivostok, Sukhanova St., 8, 690950  
E-mail: saiz787@mail.ru

*Лесные пожары представляют собой актуальную проблему для Дальневосточного и Сибирского федеральных округов, угрожающую его ресурсам и здоровью людей. Республика Тува является одним из регионов подверженных лесным пожарам. На территории южных районов (кожуунов) Республики Тува с использованием комплекса методов дистанционного зондирования Земли производится изучение динамики восстановления лесного фонда после пожаров 2002 года, а также оценивается масштаб процессов опустынивания. Описываются методы распознавания районов, подверженных неблагоприятному воздействию, уровень ущерба лесному фонду и темп его естественного восстановления. Количественная оценка изменений дана на основе изменения спектрального индекса NDVI для трех временных срезов (1991, 2002, 2009 годы). Автоматизированное дешифрирование и типизация ландшафтов территории исследования производится с помощью алгоритма ISODATA.*

*Forest fires are an issue of the day for Far-Eastern and Siberian federal districts, threatening to his resources and health of people. A republic of Tuva is one of regions most liable to the natural fires On the territory of the southern regions (kozhuuns) of Republic of Tuva with complex remote sensing techniques the study of forest recovery after fires, as well as the dynamics of the processes of desertification are considered. The paper describes the method of recognition of burned area, the area and the extent of damage of the burned forest, and describes the timing of its natural recovery. Qualitative assessment of the effects of fires was given based on the difference between the NDVI spectral indexes for time slices (1991, 2002, 2009). ISODATA algorithm made possible the qualitative evaluation of changing of forest area and landscape typification.*

Мониторинг состояния природных ресурсов с применением данных дистанционного зондирования Земли и средств их обработки представляют собой очередную ступень развития современных методов исследования.

Существует множество факторов, пагубно влияющих на лесное хозяйство, среди которых на первом месте лесные пожары и климатические изменения, которые ведут к ощутимым социально-экономическим потерям и снижению биоразнообразия территорий.

Согласно Федеральной службе государственной статистики (Росстата), начиная с 1992 года до 2014 год, в стране зарегистрировано 589 тыс. 768 лесных пожаров [2]. Также расходы на тушение лесных пожаров в 2002 году в республике Тува составляли 16 млн руб., в 2012 году составили 100 млн [3].

Одной из пострадавших от лесных пожаров республик России в 2002 году стала Республика Тува, граничащая с пятью субъектами Сибирского федерального округа и Монголией. Общая площадь республики – 170 000 км<sup>2</sup>, а площадь лесного фонда Республики составляет 10882,9 тыс. га (по данным на 1 января 2014 г.). Территории, покрытые лесом, составляют около 69,3% от общей площади Тувы. Однако, вследствие

лесных пожаров в лесовосстановлении нуждаются около 259 тыс.га лесных земель [1]. В 2002 году, по данным МЧС и ГО ЧС на территории Республики, сильными пожарами, относившиеся к высшему 5 классу, были охвачены около 208 000 га лесной площади, 130 000 га прочих площадей. Пожарами были охвачены следующие районы (кожууны): Каа-Хемский, Тоджинский, Тандынский, Тере-Хольский. На их территории был объявлен режим чрезвычайной ситуации.

С целью изучения влияния пожаров 2002 года на состояние лесного фонда Республики Тува, исследовались космические материалы спутников Landsat 5, 7 за 1991, 2002 и 2009 годы, имеющиеся в архиве Мэрилендского университета (США) [4]. Для проведения мониторинга была выбрана контрольная территория (полигон), с общей площадью 3500 км<sup>2</sup>, находящаяся в пределах снимка Landsat 139-025. Полигон исследований включает часть территории Тоджинского, Тандынского, Каа-Хемского и Тере-Хольскокожуунов.

В ходе исследования на территории полигона дешифрованы площади пожаров, которые составили около 400 км<sup>2</sup>. В процессе исследования было установлено, что пожарами 2002 года было затронуто 34% от общей площади полигона, что составило 1200 км<sup>2</sup>.

Лесные пожары дешифровались вручную, по визуальным признакам, видимым на космических снимках Landsat. Признаки для выделения пожаров включают: дымные шлейфы, свежие гари и очаги возгорания. Свежие гари выделялись на фоне сохранившегося растительного покрова, как красно-коричневые области в комбинации спектральных каналов 7, 4, 2.

Сопоставление площадей активных лесных пожаров по снимку Landsat 2002 года с разницей значений NDVI, рассчитанной между данными 1991 и 2009 годов демонстрирует существенное сокращение плотности древесно-кустарниковой растительности, как на территории дешифрованных пожаров, так и на прилегающих площадях. При этом, естественного восстановления лесного фонда за 7 лет, прошедших со времени пожаров 2002 года, не отмечается (рисунок).

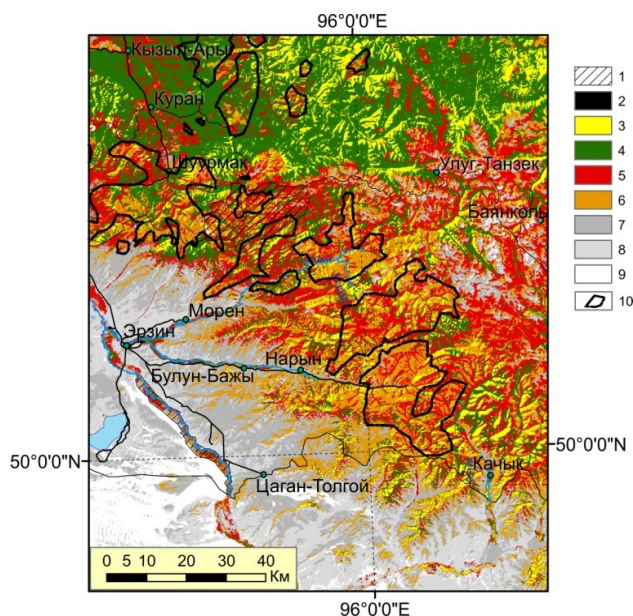


Рис. Результат применения алгоритма ISODATA для территории исследований. Обозначения: 1 – заповедные территории, 2-9 – классы ISODATA, из них (2 – неклассифицированное изображение, 3-4 – здоровая растительность, 5-6 – редколесье и открытые грунты, 7-9 – опустынивание, 10 – площади лесных пожаров 2002 года)

Интересные результаты были получены применением алгоритма ISODATA (неконтролируемой классификации изображения), с помощью которого автоматически можно выделить похожие пиксели. Данная классификация использует минимальное спектральное расстояние, для определения соответствующего кластера (класса) для каждого пикселя, которые различаются конкретными характеристиками. Минимальный набор исходной информации - важные составляющие практической ISODATA.

Территории наиболее интенсивных лесных пожаров (рис. 1) показали наибольшую деградацию растительного покрова, которая не была нивелирована за 7 лет, прошедших со времени сильных пожаров на территории южных кожуунов республики Тува. Сокращение лесного фонда сопровождается параллельно идущими процессами опустынивания на границе с Монголией.

Полученные предварительные данные позволили сформировать методологический подход к оценке влияния неблагоприятных природных процессов на состояние лесного фонда Республики Тува. Можно сделать вывод, что комплекс методов, основанных на анализе спутниковых снимков, дает возможности:

1. провести экспресс-оценку площади исследования (состояние и степень повреждения лесных покровов, плотность древостоя),
2. отслеживать направленность процессов формирования растительности на территории;
3. проводить сравнение состояния лесного покрова для разных периодов;
4. формировать комплекс мер, направленных на противодействие неблагоприятным явлениям природно-техногенного характера.

Таким образом, в результате исследования, проведенной с использованием методов дистанционного зондирования, обоснована необходимость использования комплекса методов дистанционного зондирования Земли, получены предварительные данные, позволяющие формировать методологический подход к оценке влияния лесных пожаров 2002 года на состояние лесного фонда Республики Тува, в результате которых была произведена качественная оценка последствий возгораний. В результате исследования:

Были дешифрованы площади пожаров на территории полигона, которые составили около 400 км<sup>2</sup>. Было установлено, что пожарами 2002 года было затронуто 1200 км<sup>2</sup> (34%) от общей площади полигона 3500 км<sup>2</sup>.

Сопоставлено площади активных лесных пожаров по снимку Landsat 2002 года с разницей значений NDVI, рассчитанной между данными 1991 и 2009 годов продемонстрировало существенное сокращение плотности древесно-кустарниковой растительности, как на территории дешифрованных пожаров, так и на прилегающих площадях.

Было установлено, естественного восстановления лесного фонда за 7 лет, прошедших со времени пожаров 2002 года не отмечается

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблема лесных и степных пожаров на территории Республики Тува // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/129-21607/> Дата обращения: 09.11.2015 г.
2. Федеральная служба государственной статистика (Росстат) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.gks.ru/bgd/regl/B12\\_14p/IssWWW.exe/Stg/d02/15-41-2.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/B12_14p/IssWWW.exe/Stg/d02/15-41-2.htm) Дата обращения: 10.02.2016 г.
3. Федеральная служба государственной статистика (Росстат) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/dbinet.cgi?pl=9000715> Дата обращения: 10.02.2016 г.

4. Global Landcover Facility. Landsat [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://glof.umd.edu/data/landsat/description.shtml/> Дата обращения: 10.02.2016 г.

#### **ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

Ахунова Е.В., Коблов Н.Н.  
Научный руководитель: Бориков В.Н., профессор, д.т.н.  
АО “Научно-производственный центр “Полюс”  
Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56“в”, 634050  
E-mail: donna\_e@rambler.ru

#### **SCHEDULING OF PRODUCTION PROCESSES IN INSTRUMENT MAKING FACTORY**

Akhunova E.V., Koblov N.N.  
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Borikov V.N.  
Stock Company “Scientific & Industrial Centre “Polyus”  
Russia, Tomsk, Kirov str., 56“v”, 634050  
E-mail: donna\_e@rambler.ru

*Проанализирована специфика приборостроительных предприятий, накладывающая ограничения на автоматизированные системы. Рассмотрена практика применения типовых систем управления производством. На основе анализа предложен метод диспетчеризации производственных процессов на приборостроительном предприятии, реализованный в PLM-системе собственной разработки. Метод позволяет оперативно отслеживать процесс изготовления изделия и способствует переходу от ручного составления отчетности к автоматическому, к безбумажной технологии, что значительно сокращает время принятия решений. Особенностью метода является использование единой автоматизированной системы, что позволяет избежать проблем, связанных с интеграцией разноплатформенных систем, и имеет преимущество перед ними в виде естественных потоков инженерных данных об изделии. Описанный метод успешно зарекомендовал себя на предприятии НППЦ «Полюс». Реализация предложенного метода повысила прозрачность, прослеживаемость процесса изготовления изделий. Заложенный в развивающейся PLM-системе механизм открывает перспективы для разработки процессов планирования производства и развития до уровня MES.*

*Analyzed the specificity of the instrument-making enterprises, limits the automated system. We consider the practice of standard production management systems. On the basis of analysis the scheduling of production processes method for instrument-making enterprise, implemented in a PLM system of its own design. The method allows us to monitor the product manufacturing process and facilitates the transition from manual to automatic reporting, to the paperless technology, which significantly reduces the time of decision-making. A feature of the method is to use a single automated system that avoids the problems associated with the integration of multivendor systems, and has the advantage over them in the form of the natural flow of engineering product data. The described method has been successful in the Stock Company “Scientific & Industrial Centre “Polyus”. Implementation of the proposed method increased transparency, traceability of the manufacturing process of products. Founded in developing PLM-system mechanism opens up perspectives for the development of manufacturing processes of planning and development to the MES level.*

Для обеспечения конкурентоспособности современному промышленному предприятию необходимо гибкое оперативное управление производством, что, в свою очередь, невозможно без автоматизации. Способствуют этому автоматизированные системы управления производством класса PLM (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделия), ориентированные на автоматизацию задач технической подготовки и оперативного управления дискретным производством, оптимизацию производственных процессов и ресурсов, контроль и диспетчеризацию выполнения планов производства с минимизацией затрат. Благодаря автоматизации технической подготовки производства они поддерживают всю производственную деятельность предприятия в режиме реального времени. Быстрый, результативный отклик на изменяющиеся условия в комбинации с ориентацией на снижение издержек позволяет

эффективно управлять производственными операциями и процессами. Кроме того, PLM-системы формируют данные о текущих производственных показателях, необходимые для функционирования ERP-систем (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия) [1]. Источником данных для PLM-систем является PDM (Product Data Management – управление данными об изделии). Таким образом, прослеживается цепочка данных в едином информационном пространстве предприятия : PDM–PLM–ERP , что можно интерпретировать как конструкторская документация –производство –финансово -экономический контур. Разнообразие систем класса PDM\PLM\ERP велико, равно как и их производителей. Очевидно, что для оперативного управления предприятием необходимо единое информационное пространство, реализованное в виде одной системы, состоящей из модулей PDM, PLM, ERP. Отсутствие подобных готовых решений подтверждается тем, что как в академических исследованиях, так и в практике российских предприятий актуален вопрос интеграции разноплатформенных систем в единое информационное пространство путем использования функций API (Application Programming Interface – интерфейс программирования приложений) или через обмен структурированными файлами данных [2, 3]. Следует отметить, что применение типовых систем, решающих задачи управления производством, в условиях малой серии при позаказном и опытно-массовом производстве, характерном для приборостроительных предприятий, не обеспечивает необходимых функций организации и планирования производства. Так, например, отмечено [4], что «типовые системы управления производством, такие как «Лощман: PLM» направлены в первую очередь на комплексное решение задач автоматизации машиностроения и лишь отчасти –на приборостроительную отрасль». Это объясняется тем, что специфика предприятий такого типа накладывает дополнительные ограничения на автоматизированные системы, обусловленные тем, что для них характерны длительные сроки изготовления сложных комплексов радиоэлектронных систем, высокий уровень вхождения деталей и сборок, а на этапе производства возможно большое количество изменений в конструкторской и технологической документации.

Все вышесказанное имеет непосредственное отношение к научно-производственному центру «Полюс», в информационной среде которого, начиная с 2009 года, успешно функционирует PDM-система собственной разработки АСУ ИДиП [5]. Сотрудниками предприятия принято решение развивать собственный проект до уровня PLM.

При рассмотрении функций планирования и диспетчеризации производства между ними можно увидеть связь: для составления плана нужны данные о текущем состоянии производства. Без обратной связи, информирующей о ходе выполнения работ, планирование теряет актуальность и перестает быть ценным. Именно поэтому в проектах внедрения автоматизированной системы управления производством сначала необходимо запустить подсистему производственного учета с решением задач диспетчеризации, а затем — производственное планирование [6].

Для диспетчеризации производственных процессов в АСУ ИДиП реализована схема (см. рисунок), первоисточниками данных для которой являются конструкторская и технологическая документация, а также директивный документ «Уведомление». Так, по данным спецификации строится электронный состав изделия в виде древовидной структуры [7], а по данным технологической документации получены технологические процессы на изготовление деталей и сборок в формализованном виде [8]. Технологический процесс содержит информацию о технологических операциях, т.е. их последовательный перечень с указанием цеха и участка, а также нормы затрачиваемого времени.

Документом, инициирующим запуск изделий в производство, является «Уведомление». В нем указываются договор с заказчиком, номер партии, номер заказа, перечень изделий и их количество, а также сроки изготовления.

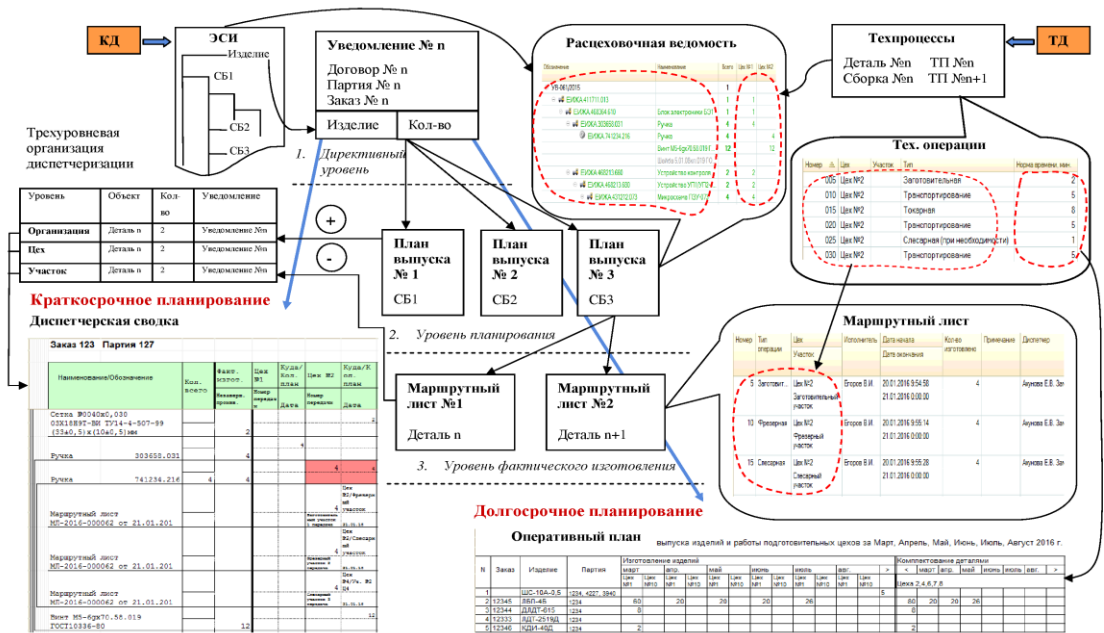


Схема диспетчеризации производственных процессов

На основании «Уведомления» создается документ «План выпуска изделия», содержащий древовидную структуру запускаемых изделий с расчетной ведомостью, которая формируется автоматически по данным технологических процессов. Кроме того, в «Плане выпуска изделия» содержится сводная ведомость, полученная по данным древовидной структуры запускаемых изделий. «План выпуска изделия» позволяет запускать в производство изделие по частям. В таком случае в дереве состава изделия вручную делаются отметки о запуске. Для запуска в производство оставшихся (незапущенных) частей необходимо создать новый «План выпуска изделия» и проставить отметки о запуске, при этом нет возможности отметить уже запущенные ранее части.

При переводе документа «План выпуска изделия» в состояние «Утвержден» происходит запись сводных данных в итоговые таблицы системы, т. е. фиксация плановых данных. Поскольку для приборостроительных предприятий с делением на цеха характерна трехуровневая система диспетчеризации: уровень организации, уровень цехов, уровень цеховых участков, итоговые таблицы системы содержат актуальные данные именно в этих разрезах.

На основании плановых данных создается документ «Маршрутный лист» для каждой детали, сборки, в табличной части которого заполняется автоматически перечень последовательных операций с указанием цеха и участка. В процессе изготовления в цехе детали в «Маршрутном листе» делаются отметки об исполнителе операции, времени ее начала и окончания. По мере завершения всех операций в цехе или на участке в итоговых таблицах системы создаются записи, уменьшающие плановые данные. Таким образом, сводные итоговые таблицы содержат актуальную информацию о плановых и фактических показателях изготовления деталей и сборок. На основании этих данных строится оперативный отчет «Диспетчерская сводка», отражающий актуальное состояние деталей и сборок по заданному изделию.

На основании данных о невыполненных уведомлениях и норм затрачиваемого времени на выполнение технологических операций строится отчет «Оперативный план», который отражает ежемесячно количество изделий, планируемых для обработки в цехах, с целью обеспечения своевременного завершения изготовления изделия по договору с заказчиком.

Таким образом, реализованный в PLM-системе АСУ ИДиП механизм, позволяет оперативно отслеживать процесс изготовления изделия и способствует переходу от ручного составления отчетности к автоматическому, т.е. к безбумажной технологии, что значительно сокращает время диспетчеризации. Заложенный механизм открывает перспективы для разработки процессов планирования, аналитики и принятия производственных решений. Данная технология в настоящее время проходит апробацию на предприятии НПЦ «Полюс».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кульга К.С. Особенности внедрения на предприятиях и методы интеграции CAD/CAM/PDM/FRP/MRP/MES/PLM- и ERP-систем // САПР и графика. 2008. № 3. С. 91–94.
2. Кульга К.С. Модели и методы создания интегрированной информационной системы для автоматизации технической подготовки и управления авиационным производством // Изв. Самар. науч. центра Российской академии наук. 2012. Т.14, №4 (2). С. 437–445.
3. Казанцев М .А. Система диспетчеризации опытного и мелкосерийного производства радиоэлектронной аппаратуры // Вестник СибГАУ. 2013. №4 (50). С. 27–32.
4. Р.Г. Галлеев [и др.] Информационная поддержка организации производства изделий радиоэлектронной аппаратуры на предприятии ОАО «НПП «Радиосвязь» // Журнал Сиб. фед. ун-та. 2014. № 7. С. 758–766.
5. Коблов Н.Н., Чекрыгин С.С., Черватюк В.Д. Разработка и внедрение автоматизированной системы управления инженерными данными в машиностроении и приборостроении. Концепция, реализация и перспективы // Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем . III Науч.-техн. конф. Молодых специалистов ОАО «ИСС». Железногорск, 2014. С. 257–259.
6. Бонакер С. Диспетчеризация производства: нюансы автоматизации // Директор информационной службы. 2013. № 11. С. 32–36.
7. Чекрыгин С.С., Коблов Н.Н., Екимова О.Ю. Построение электронного состава изделия в рамках единого информационного пространства приборостроительного предприятия // Контроль. Диагностика. 2012. № 13. С. 22–26.
8. Чекрыгин С.С., Коблов Н.Н. Электронный документооборот конструкторской и технологической документации на приборостроительном предприятии // Ракетно-космическая техника : тез. VII науч.-техн. конф. молодых специалистов ОАО «НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова». Екатеринбург, 2015. – С. 103–106.



**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОТЛИВКИ КОРПУСОВ  
ПРИБОРОВ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Аюшеев М.С., Костюченко Т.Г

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: muncko94@mail.ru

**DESIGNING GATING SYSTEM FOR CASTING OF CASES OF DEVICES OF SPACE APPOINTMENT**

Ayusheev M.S., Kostyuchenko T.G.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Kostyuchenko T.G.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: muncko94@mail.ru

*Литейное производство является одним из самых высокопроизводительных, быстрых, универсальных и экономичных методов формирования металлических изделий. Это одна из наиболее важных отраслей промышленности в машиностроении. Однако получение отливки, удовлетворяющей всем требованиям, зависит от правильной конструкции литниковой системы. Создание технологических процессов, которые обеспечили бы высокую эксплуатационную жизнь для деталей космического назначения счет получения высококачественных отливок с заданной структурой и свойствами, всегда было и остается важной задачей. Современные программные обеспечения для проектирования литниковых систем оптимизируют виртуальные модели так, чтобы реальные конструкции литниковых систем идеально подходили для создания отливок с необходимыми свойствами с первого раза. При этом эти программы прогнозируют усадочное поведение литьевых деталей, распределение тепла, скорость затвердевания отливки и другие необходимые характеристики.*

*Foundry is one of the most highly-productive, fast, universal and cost-effective methods of metal ware molding. It is one of the most important industries in mechanical engineering. However receiving casting which meets all requirements depends on the correct design of gating system. . It was always important to create such technological processes which would ensure high operational life of parts by production of high-quality castings with the given structure and characteristics. Modern software design gating systems optimize virtual model so that the actual design of gating systems ideal for making castings with desired properties from the first time. These programs forecast the shrinkage behavior of molded parts, heat distribution, solidification speed and other necessary characteristics.*

Правильный подбор литниковой системы для выплавляемой модели – долгий и трудоемкий процесс, требующий значительных средств. Современные технологии проектирования дают возможность рассчитать литниковую систему и смоделировать процесс литья на основе этих расчетов. Моделирование и расчет литниковой системы позволяют определить, какие дефекты возникают в отливке на стадии проектирования. Результатом моделирования является распределение векторов скорости потока и температуры. Моделируется процесс охлаждения и кристаллизации, а также заполнение формы. Анализируя эти данные и меняя характеристики литниковой системы, можно достичь очень высокого качества отливки.

В современных условиях проектирование устройств космического назначения имеет тенденцию к сокращению сроков проектирования при возрастающих требованиях к прочностным характеристикам. Это оказывает воздействие на совершенствование технологии проектирования деталей. Наличие компромисса между проектированием конструкции деталей, проектированием и реализацией технологического процесса их изготовления – определяющий фактор обеспечения заданных эксплуатационных характеристик и надежности [1].

Качество процесса литья и правильный подбор конструкции литниковой системы напрямую связаны с качеством выплавляемой модели. Конструирование литниковой системы в настоящее время большей частью базируется исключительно на опыте инженера-конструктора, поэтому существует потребность в автоматизации процесса проектирования литья с использованием CAD-систем. Моделирование процесса литья, затвердевания и наполнения с использованием новейших технологий дает

возможность исключить возможные дефекты литья на ранних этапах проектирования, что является огромным прорывом в области машиностроения. Таким образом, моделирование и проектирование процесса литья с помощью современных специализированных компьютерных программ помогает в несколько раз снизить производственные затраты и повысить производство и качество литья.

Процесс моделирования и конструирования литниковой системы начинается с создания твердотельной модели, функциональной модели поверхности, чертежей, технической спецификации. Подготовка производства корпусных деталей – наиболее важный этап, во время которого определяется возможность производства в условиях конкретного предприятия, разрабатываются 3D-модели, проводится моделирование и испытания. 3D модель создается с помощью САD-пакетов разного уровня, бесконфликтно работающих в средах проектирования литниковой системы. Затем моделируется процесс изготовления детали, а после анализа результатов моделирования вносятся изменения в литниковую систему детали или же в саму 3D–модель [1].

САD–системы, используемые для проектирования корпусных деталей, определяют функциональные поверхности, размерные характеристики, допуски конструкции и граничные условия, используя определенные модули, и на основе этих данных формируют параметрическую модель, в которой параметрическими являются толщины поверхностей и геометрические размеры. В процессе модернизации корпусных деталей повторно используются параметрические возможности моделей литниковых систем для оптимизации литейных свойств, происходит непрерывный обмен информации между конструктором и инженером-технологом [1]. Модели используются для исследования тепловых, структурных и механических характеристик. Для решения тепловой, прочностной и диффузионной задач с помощью дифференциальных уравнений применяют такие методы численного решения, как метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объемов и метод граничных элементов. Имитационная модель и будет моделью изделия, на которой выполняются различные тесты, проверяют работоспособность и на основе результатов испытаний формируется окончательная модель литниковой системы. При создании литниковой модели литейные качества меняют, изменяя геометрию, пока не будут выполнены требования по усадке, заполнению отверстий, углублений.

Основной целью моделирования литейных процессов является расчет распределения тепла в выплавляемой модели по мере увеличения времени. Эта операция осуществляется в специализированных модулях. Основное уравнение теплопередачи определяется законом теплопроводности. Это частное дифференциальное уравнение зависимости температуры  $T$  от времени  $t$  в декартовых координатах  $x, y, z$ , где  $\rho$  - плотность,  $C_p$  - теплоемкость и  $\lambda$  – теплопроводность [2]:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

Таким образом, производная по времени температуры в точке определяется потоком количества теплоты и члена, описывающего источник и отвод тепла. При использовании дискретных уравнений в частных производных и метода конечных элементов с граничными условиями, за один временной шаг можно решить одну систему линейных уравнений.

Распределение температуры при заполнении формы для одного из вариантов конструкции литниковой системы показано на рисунке 1.

Зазор появляется между отливкой и кристаллизатором в процессе затвердевания и охлаждения жидкого металла, что оказывает влияние на их теплообмен и условия затвердевания. Размер и форма зазора в каждом случае отличается в зависимости от способа литья, скорости нагрева пресс-формы и характера его

взаимодействия с затвердеванием металла [3]. Формирование и модификация зазора определяется тремя факторами: усадкой отливки, деформацией пресс-формы во время формования цикла, пластическим расширением обода под воздействием ферростатического давления [2].

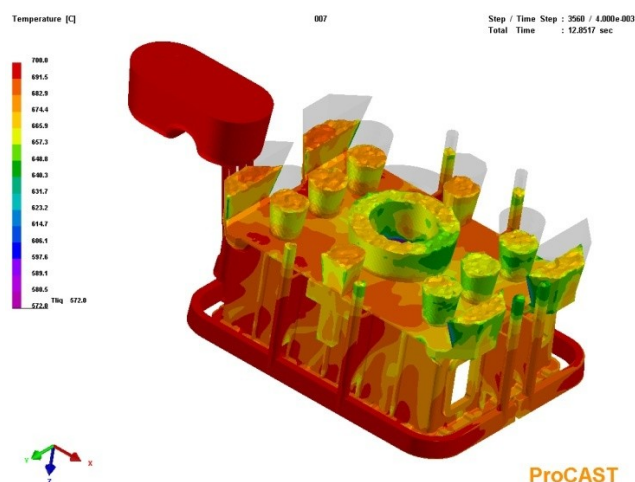


Рис. 1. Заполнение формы с распределением температуры металла: по цвету можно определить температуру жидкого металла, используя шкалу соответствия

Основной вклад в образование зазора и кинетику его изменения приносят два первых фактора. С изменением времени изменяется температурное поле кристаллизатора и отливки в течение цикла отвердевания последнего. Величина зазора складывается из суммы абсолютных значений усадки отливки и деформации кристаллизатора.

Образование усадки при затвердевании жидкого металла для одного из вариантов конструкции показано на рисунке 2.

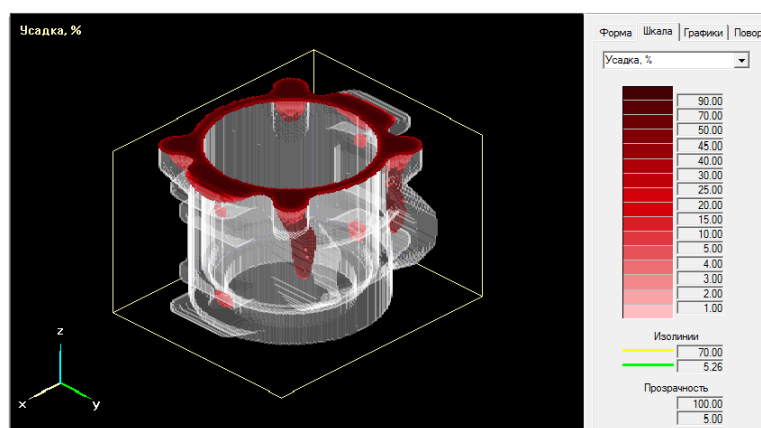


Рис. 2. Образование усадки при затвердевании жидкого металла

Современные программы компьютерного моделирования литейных технологий, основанные на физических теориях тепловых, диффузионных, гидродинамических и деформационных явлений, способны адекватно имитировать многие процессы, происходящие при заполнении расплавом формы, при кристаллизации многокомпонентного сплава и дальнейшем охлаждении отливки.

Компьютерное моделирование литейных процессов и затвердевания стало необходимостью в литейном производстве. Параметризация позволяет быстро оптимизировать литейные свойства отливки, удовлетворяющим требованиям, в кратчайшие сроки. Созданные компьютерные программы могут прочитать файл STL, сложную твердотельную геометрию, показать вектор скорости, 3-D скорость и температурные поля, заполнение модели, распределение температуры заполнения формы и затвердевания [3]. Возможно рассчитать скорость и температурные поля для ламинарного и турбулентного потока при заполнении формы и процесса затвердевания. Численное моделирование может быть использовано для прогнозирования дефектов литья и улучшений характеристик процесса отливки при создании корпусных деталей приборов космического назначения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губин В.В., Акимов О.В., Алёхин В.И., Пензев П.С. Компьютерно-интегрированное проектирование тракторных деталей // Литейное производство. – 2015. – №12. – С. 26–29.
2. Галдин Н.М. Литниковые системы для отливок из легких сплавов. – М.: Машиностроение, 1978. – 198 с.
3. Анисимов, И. Ф. Проектирование литых деталей. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
4. Бидуля, П. Н. Технология стальных отливок: учеб. пособие для металлург.и машиностр. вузов и фак. / П.Н. Бидуля. – М.: Металлургиздат, 1961. – 352 с.

#### КЛАССИФИКАЦИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОБАСТНЫХ ОЦЕНОК

Карпенко М.А.

Научный руководитель: Буркатовская Ю.Б., к.ф.-м.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: karpenkomaria8990@gmail.com

#### STATISTICAL CLASSIFICATION OF THE REMOTE SENSING DATA BY USING ROBUST ESTIMATORS

Карпенко М.А.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Burkatovskaya Y.B.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: karpenkomaria8990@gmail.com

*Зачастую, при обработке данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включающей в себя установление принадлежности зон на поверхности Земли к определенным кластерам, встает проблема статистической классификации данных ДЗЗ. Данные ДЗЗ содержат спектральные характеристики пикселей в разных диапазонах электромагнитного спектра. Для улучшения результатов обработки также используются текстурные характеристики, получаемые путем обработки спектральных характеристик групп пикселей, принадлежащих к определенным участкам Земной поверхности. Таким образом, каждый пиксель характеризуется вектором различных характеристик. Для классификации вектора характеристик могут быть использованы как параметрические, так и непараметрические методы. При использовании параметрических методов обычно используется допущение о нормальности распределения пикселей класса, что не всегда верно. Непараметрические методы зачастую являются более точными, но обладают большей вычислительной сложностью. В данной работе рассмотрено использование параметрического метода для классификации данных при использовании как спектральных, так и текстурных характеристик пикселей. Так как данные ДЗЗ подвержены выбросам, и, соответственно, распределение обучающих выборок классов отлично от нормального, в работе был применен метод робастного оценивания для расчёта оценок для классификации. В работе приведены примеры результатов классификации при применении как робастного, так и стандартного методов оценивания.*

*The problem of the statistical classification of the remote sensing data arises when there is a need to identify which of a set of clusters some areas of the Earth surface belong to. The remote sensing data are collected from different parts of the electromagnetic spectrum called spectral characteristics as well as texture characteristics obtained from computing spectral characteristics of the specific areas, so every pixel is described of the vector of its characteristics. To classify vector observations both parametric and non-parametric methods are used. Parametric technique commonly uses the normal distribution to describe the distribution of the classes of the learning sample. Non-parametric technique often provides better accuracy of classification but it has greater computational complexity. The paper develops a parametric technique of the remote sensing data classification by using both spectral and structural characteristics of pixels. Pixels characteristics are affected by outliers so the distribution of the learning sample is not normal in the real sample data. The robust estimation methods are used to obtain estimators that are not unduly affected by outliers or other small departures from model assumptions. The possibility of the algorithm application is studied by using examples.*

### **Введение**

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), получаемые путем наблюдения поверхности Земли авиационными и космическими средствами, широко используются в различных прикладных задачах, таких как картографирование, мониторинг экологического состояния земной поверхности и т.д. Для обработки данных ДЗЗ используются различные методы, использующие в качестве признаков спектральные или текстурные характеристики пикселей в одном или нескольких его наблюдениях. Одной из главных задач, возникающих при обработке данных ДЗЗ, является классификация данных – отнесение участков земной поверхности к определенным кластерам. Классификация данных может быть произведена с помощью как параметрических, так и непараметрических методов. Хотя непараметрические методы зачастую показывают лучший результат классификации, такие методы являются вычислительно сложными, что играет одну из решающих ролей при выборе метода классификации. В процессе классификации данных ДЗЗ параметрическими методами возникает ряд важных задач, таких как установление закона распределения одномерной или многомерной случайной величины, а также оценка его параметров. В основе классического аппарата статистического анализа таких методов лежит предположение о принадлежности наблюдаемого случайного вектора многомерному нормальному закону. Зачастую реальные данные не подчиняются нормальному закону распределения из-за неоднородности участков земной поверхности, а также наличия шумов на ее изображении, в виду чего является актуальным вопрос об оценке параметров случайных величин, чьи функции распределения отличны от нормальных. Такими способами оценки являются робастные оценки.

### **Текстурные признаки**

Стандартно, для классификации изображений используются спектральные признаки пикселей изображения в разных каналах электромагнитного (ЭМ) спектра. Однако, эти данные не учитывают взаимного расположения объектов в пространстве, т.е. текстурную составляющую объектов на земной поверхности. Текстурные характеристики определяются статистическим распределением значений яркости пикселей в различных каналах ЭМ спектра и рассчитываются для каждого пикселя как функция значений пикселей в заранее определенной его окрестности.

В данной работе используется система характеристик Харалика [1], включающая 14 признаков, каждый из этих признаков предлагается рассчитывать по матрице смежности 4x различных направлений: 0, 45, 90, 135 градусов, что позволит учитывать взаимное расположение пикселей в 4x различных направлениях. В данной работе были использованы следующие признаки:

$$T_H(j, k) = \sum_{g=0}^{L-1} F_j^k(g) \log_{10}(F_j^k(g));$$

$$T_E(j, k) = \sum_{g=0}^{L-1} (F_j^k(g))^2;$$

$$T_V(j, k) = \sum_{g=0}^{L-1} (g - \bar{g}(j, k)) F_j^k(g).$$

Где  $L$  – число градаций яркости,  $F_j^k(g)$  – частота появления точки с яркостью  $g$  в заданной окрестности точки с номером  $j$  на канале  $k$ ,  $\bar{g}(j, k)$  – средняя яркость точки в этой окрестности. Характеристики  $T_H(j, k)$ ,  $T_E(j, k)$  и  $T_V(j, k)$  соответственно называются энтропией, энергией и вариацией точки.

Текстурные признаки, в совокупности со спектральными признаками позволяют наиболее полно описать элементы данных ДЗЗ. При применении всех 14 признаков системы характеристик Харалика было бы целесообразно понижать размерность признакового пространства с помощью специальных методов, таких, как, например, метод главных компонент [2].

### Робастное оценивание

Для проведения классификации на основе статистических методов необходима информация, полученная на основе обучающих выборок, такая как вектор средних значений и матрица ковариации, описывающая вариацию каналов. Элементами вектора средних значений являются средние значения по всем пикселям соответствующего класса. При стандартном методе расчета вектора средних рассчитываются значения среднего арифметического по элементам канала в обучающей выборке. Шумы на изображении могут значительно повлиять на результат применения такого метода. В данной работе были использованы робастные методы получения вектора средних.

В работе [3] предложено применять вектор медиан компонент наблюдений в качестве оценки вектора средних значений, где медианная оценка представляет собой центральный элемент упорядоченной выборки. Свойство робастности в данном случае обеспечивается за счет усреднения лишь тех значений, порядковые номера которых попадают в урезанный интервал с заранее заданным значением урезания выборки слева и справа, куда в большинстве случаев попадают шумы. В работе [4] оценки вектора средних значений распределения многомерной случайной величины предложено получать путем покоординатного применения ранговых (R-оценки) тестов. В работах [5, 6] предложено использовать M-оценки, оценки максимального правдоподобия, которые не предполагают явного выражения данных. В работе [7] оценки вектора средних значений распределения многомерной случайной величины предложено получать путем покоординатного применения ранговых (R-оценки) тестов. Одной из R-оценок средних, широко используемой на практике является оценка Вилкоксона [8]. Данные оценки представляют собой медианы последовательностей, состоящих из элементов исходной выборки и всех возможных попарных средних.

$$c_R = \text{med} \left\{ \frac{X_1 + X_1}{2}, \frac{X_1 + X_2}{2}, \dots, \frac{X_1 + X_n}{2}, \frac{X_2 + X_2}{2}, \frac{X_2 + X_3}{2}, \dots, \frac{X_{n-1} + X_n}{2}, \frac{X_n + X_n}{2} \right\}$$

Где  $X$  – множество рассматриваемых данных, таких как множество пикселей в обучающей выборке на определенном канале. В данной работе был использован метод Вилкоксона для робастного оценивания вектора средних.

### Результаты

На рис. 1 приведено исходное изображение поверхности Земли. Разными цветами на рис. 1 обозначены следующие объекты: синий, зеленый – лес разного типа, красный – антропогенные объекты и нарушенные территории, фиолетовый – болотная растительность, голубой – травянистая растительность.

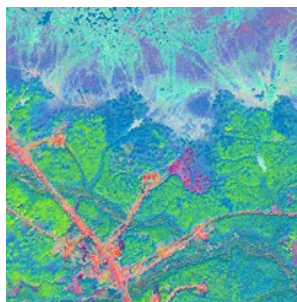


Рис. 1. Исходное изображение

Как видно, многие объекты леса разного типа смешиваются между собой и зашумлены. Зоны антропогенных объектов выделены более-менее четко в представленных каналах, однако некоторые пиксели болотной растительности встречаются в зонах их расположения, которые, очевидно, являются шумами.

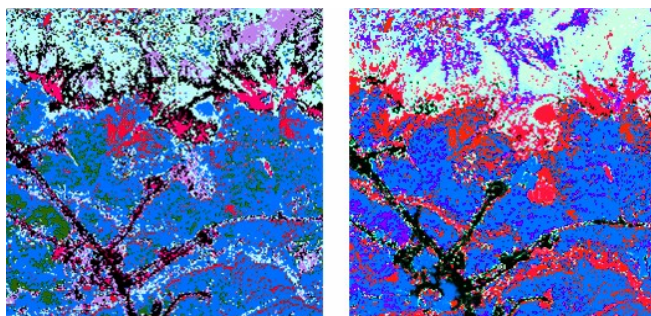


Рис. 2. Результаты классификации зашумленных данных

На рис. 2 результаты классификации зашумленных данных а) с использованием среднего арифметического для оценки средних б) с использованием робастного оценивания вектора средних.

Сравнение результатов классификации КС и имеющейся карты данной территории показало, что в результате классификации с получением оценки вектора средних значений робастными методами полученные кластеры более точно соответствуют имеющимся на данной территории объектам. Как видно на рис. 2.б, более отчетливо выделены антропогенные объекты, зоны лесов и болот, в то время, как на рис. 2.а. многие пиксели болотной растительности были классифицированы как антропогенные объекты ошибочно. Тем не менее на рис.2.б, зоны лесов разного типа оказались смешаны друг с другом по разным причинам, одной из которых является то, что пиксели характеризуются множеством различных характеристик, коррелированных между собой. Более того, невооруженным взглядом видно, что текстурные характеристики (см. рис. 1), составляющие более 60 процентов всех характеристик пикселей схожи между классами.

Для получения качественных результатов классификации необходимо комплексное применение различных методов. Одним из важных и необходимых является применение робастных оценок, которые исключают определенную долю ошибок классификации. Также, в перспективах разработки метода улучшенной классификации планируется использование всех текстурных характеристик Харалика, применение метода главных компонент для сокращения размерности признакового пространства и выделения ключевых характеристик, а также применение робастных методов для получения всех статистических характеристик для проведения классификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Haralick R.M., Shapiro L.G. Computer and Robot Vision. –Addison-Wesley, Massachusetts,1992.
2. Карпенко М.А. Применение метода главных компонент для задач обработки данных дистанционного зондирования Земли //Творчество юных – шаг в успешное будущее: Материалы VIII Всероссийской научной студенческой конференции с элементами научной школы имени профессора М.К. Коровина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 524 с.
3. Mood A. M. On the joint distribution of the medians in samples from a multivariate population //The Annals of Mathematical Statistics. – 1941. – Т. 12. – №. 3. – С. 268-278.
4. Sen P. K., Puri M. L. Nonparametric methods in multivariate analysis, N. Y., Wiley,1971.
5. Bickel P. J. On some alternative estimates for shift in the p-variate one sample problem. Ann. Math. Stat, v. 35, pp. 1079-1090, 1964.
6. Ruber P. J. The behaviour of maximum likelihood estimates under nonstandard conditions. Proc. Fifth Berkeley Symp. Math. Statist. Prob., v. 1, pp. 221-233, 1967.
7. Gnanadesikan R., Kettenring J. R. Robust estimates, residuals and outlier detection with multiresponse data. Biometrics, v. 28, pp. 81-124, 1972.
8. Rieder H. Qualitative robustness of rank tests //The Annals of Statistics. – 1982. – С. 205-21.

**МЕТОДИКА ХРАНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В XML-ФОРМАТЕ  
ДЛЯ САПР ПРОВОДНОГО МОНТАЖА**

Козлов А.А., Коблов Н.Н.

Научный руководитель: Бориков В.Н., профессор, д.т.н.

АО “Научно-производственный центр “Полюс”

Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56“в”, 634050

E-mail: polus@online.tomsk.net

**THE METHOD OF STORING GRAPHIC INFORMATION IN XML-FORMAT FOR WIRING  
CAD SYSTEM**

Kozlov A.A., Koblov N.N.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Borikov V.N.

“Scientific & Industrial Centre “Polus” JSC

Russia, Tomsk, Kirov str., 56“v”, 634050

E-mail: polus@online.tomsk.net

*Рассмотрены основные вопросы выбора формата графических примитивов для САПР проводного монтажа, обозначены требования, предъявляемые к файлам графики монтажной схемы. Предложен собственный структурированный XML-формат графических чертежей, поддерживающий векторное хранение основных 2D-примитивов: точек, линий, дуг, окружностей. Показана структура базы данных соединителей для САПР проводного монтажа, позволяющая хранить их графические образы в XML-формате. Разработана схема конвертации XML-файлов графики в формат сторонних САПР, основанная на текстовом разборе AutoCAD DXF-файлов средствами свободных библиотек dxflib и BoostSpirit. Показана возможность применения библиотеки компонентов графического интерфейса Qt для разработки интерфейса программы-конвертора. Показано практическое применение методики для решения задач хранения графики раскладки жгута в САПР проводного монтажа.*

*The basic issues of choosing the file format of graphics primitives for CAD wiring system are being reviewed. The requirements for graphics wiring diagram file are noted. Offered own structured vector graphic drawings XML-format, supports the storage of basic 2D primitives: points, lines, arcs, circles. The wiring database structure of CAD XML based graphics connectors is shown. The third-party CAD system conversion scheme for XML-file formatted wiring graphics based on text parsing of AutoCAD DXF-files using dxflib and Boost Spirit libraries is developed. The possibility of using a component library for Qt GUI interface development software package is shown. The practical technique for CAD wiring graphics layout storage is shown.*



Современные САПР проводного монтажа, ориентированные на отечественное приборостроение, должны решать задачу хранения графической информации электромонтажного чертежа, оформленного согласно стандартам [1-3]. Обычно каждая из таких систем имеет свой закрытый формат представления графических примитивов, а перенос графики в другие САПР реализуется конвертацией. При разработке свободных САПР-независимых систем проектирования проводного монтажа проблема выбора основного графического формата стоит еще острее, так как от него напрямую зависят архитектура системы и схема взаимодействия программного обеспечения с другими САПР [4]. Внутренний формат графики подобных систем должен быть открытым, легко конвертируемым, векторным и максимально простым для хранения чертежей или графических компонентов монтажной схемы, поддерживать слои графических примитивов. Для корректного перевода графики в сторонние САПР необходимо структурированно хранить лишь ограниченный набор основных 2D-примитивов: точек, линий, дуг, окружностей.

В настоящее время среди основных форматов, применяемых для хранения графики электромонтажного чертежа, можно выделить AutoCAD DWG/DXF и SVG. Формат DWG является собственным бинарным форматом AutoCAD с закрытой спецификацией, применение которого сопряжено с проблемой лицензирования. Соответствующий ему текстовый формат DXF свободный, но имеет сложную структуру. Формат SVG имеет свободную лицензию и является сложным структурированным XML-форматом.

При создании САПР-независимого программного комплекса проектирования проводного монтажа в АО «НПЦ «Полус» разработан собственный XML-формат хранения графики разъемов монтажной схемы со следующими характеристиками:

- открытый текстовый формат;
- поддержка основных графических 2D-примитивов;
- поддержка слоев примитивов;
- векторное представление данных графики;
- поддержка версии графического образа компонента схемы.

Файлы графических образов разъемов монтажной схемы программного комплекса хранятся в специальной спроектированной базе данных (БД) соединителей (рис. 1).

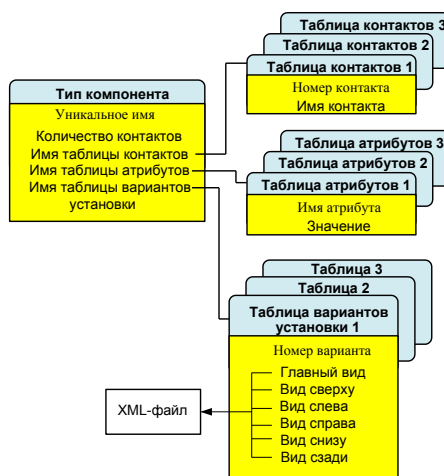


Рис. 1. Структура базы данных соединителей

При импорте данных списка цепей (например из P-CAD 2006 Schematic) проводится поиск соответствующих файлов образов разъемов в БД, после чего в графическом пространстве приложения происходит визуализация монтажной схемы (рис. 2).

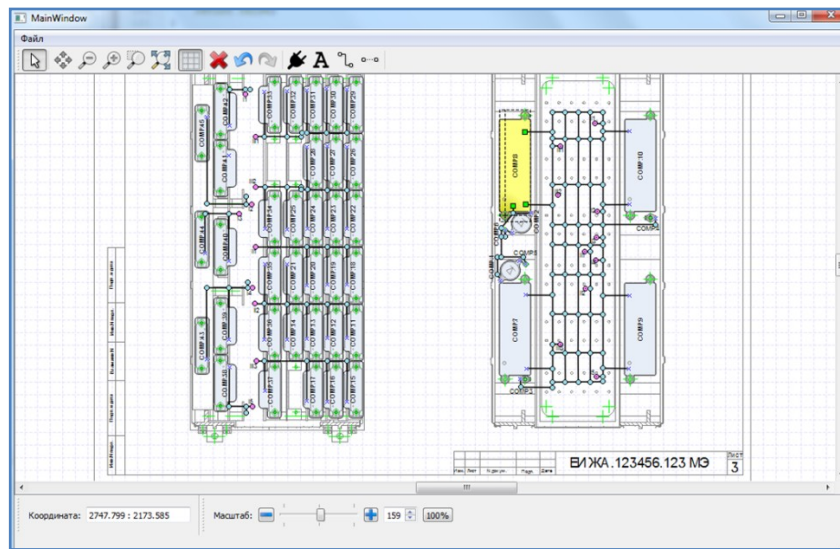


Рис. 2. Графическое представление монтажной схемы

Для автоматизированного формирования XML-файлов графических образов компонентов монтажной схемы и заполнения спроектированной БД разработан специальный конвертер. Приложение автоматически преобразует DXF-примитивы входных файлов в разработанный XML-формат (рис. 3). В качестве программного инструментария применяется библиотека компонентов графического интерфейса Qt, широко используемая в проектировании современных программных продуктов и поставляемая с открытым исходным кодом под лицензией LGPL [5]. Она переносится между платформами и хорошо адаптирована к взаимодействию с другими библиотеками. Для текстового разбора DXF-файлов служит C++ библиотека QCAD dxflib, которая также имеет открытый исходный код. Чтение XML-форматов производится разработанным модулем разбора, основанным на бесплатной библиотеке парсеров Boost Spirit и BGL [6].

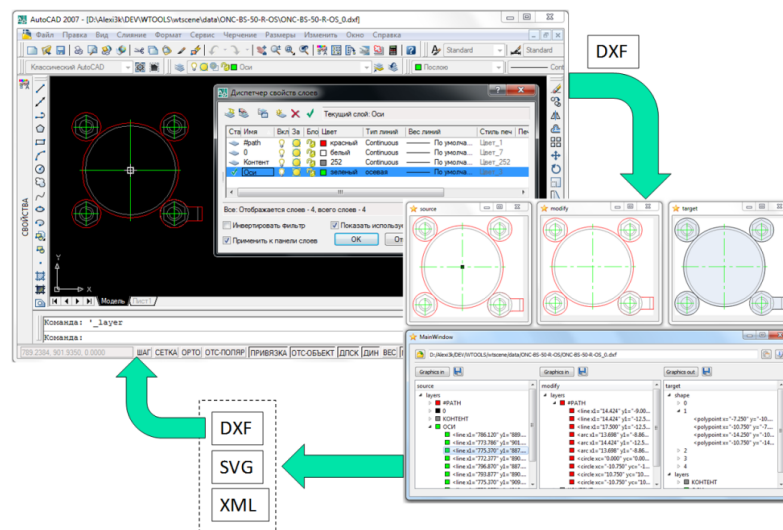


Рис. 3. Схема создания внутреннего XML-файла из AutoCAD DXF-файла

Предложенная схема конвертации позволяет автоматически формировать XML-файлы чертежей проводного монтажа (рис. 4), применяемых в САПР для прокладки жгута.

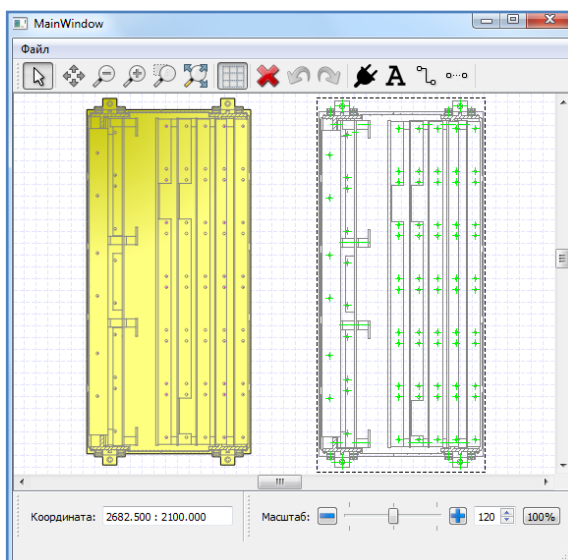


Рис. 4. Отображение XML-файла чертежа

Разработанный в АО «НПЦ «Полюс» структурированный XML-формат графики монтажных чертежей позволяет автоматически конвертировать данные электромонтажа в графические форматы других САПР и успешно применяется для автоматизации формирования конструкторской документации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 23592–96. Монтаж электрической радиоэлектронной аппаратуры и приборов. Общие требования к объемному монтажу изделий электронной техники и электротехнических. – М. : Стандартинформ, 2003. – 10 с.
2. ГОСТ 2.710–81. Единая система конструкторской документации. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. – М. : Стандартинформ, 2007. – 10 с.
3. ГОСТ 19701–90 Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. – М. : Стандартинформ, 2010. – 22 с.
4. Коблов Н.Н., Козлов А.А. Разработка приложения для моделирования монтажно-коммутационного пространства // Изв. Том. политехн. ун-та – 2014. –Т. 325. – № 5. – С. 123–131.
5. Ezust A., Ezust P. Introduction to Design Patterns in C++ with Qt. – New Jersey : Prentice Hall, 2011. – 768 p.
6. Lumsdaine A., Siek J.G., Lie-Quan Lee. The Boost Graph Library: User Guide and Reference Manual. – Indianapolis : Addison-Wesley Professional, 2001. – 321 p.

**МНОГОКАНАЛЬНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАЛЛЕТ**

Костина М.А.

Научный руководитель: Евтушенко Г.С., профессор, д.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: mariyakostina91@mail.ru

**MULTI-CHANNEL ACOUSTIC TESTING SYSTEM OF PALLET**

Kostina M.A.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Evtushenko G.S.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: mariyakostina91@mail.ru

*В статье представлена структурная схема системы контроля паллет. Приведены результаты экспериментальных исследований по контролю геометрических размеров поддона. Полученные расчетные значения сравниваются с нормированным значением и при отклонении за пределы допуска, паллета бракуется. Программное обеспечение позволяет отображать полученные результаты в виде 3D изображения поверхности поддона, для визуального наблюдения оператором на экране монитора.*

*The paper presents the block diagram of automatic sorting system pallets. The results of experimental studies of control of geometrical dimensions of the pallet are given. The calculated values are compared with a normalized value and, if there is a deviation beyond the tolerance, the pallet is rejected. The software allows you to display results in the form of 3D images of the surface of the pallet, for visual observation by the operator on the monitor screen.*

Современное производство любой продукции включает в себя стадии транспортировки от одной технологической операции к другой. Наиболее распространен конвейерный тип транспортировки, однако на заключительном этапе (этап погрузки готовой продукции в транспортное средство), как правило, используют электропогрузчики [1], которые перемещают готовую продукцию, уложенную на паллеты [2]. А вот целостность паллет, отсутствие посторонних предметов на них до сих пор не контролируется. Использование поврежденных паллет или паллет, на которых остались посторонние предметы, приводит к неправильному расположению готовой продукции, возможному ее повреждению при погрузке или транспортировке. Что влечет дополнительные издержки производства, увеличивает ее себестоимость, снижает репутационный рейтинг предприятия.

Комплексная оценка качества паллет с целью выявления всех дефектов и незамедлительное принятие правильного решения для их устранения представляют собой сложную задачу для оператора, не вооруженного необходимыми приборами или средствами. Автоматизированных систем контроля и управления, которые бы позволяли с высокой скоростью выявлять разного рода дефекты, контролировать габариты поддонов и осуществлять выборку только качественных паллет в настоящее время - нет.

Авторами была разработана система автоматической сортировки паллет, структурная схема которой представлена на рис. 1.

Информация о высоте паллеты поступает с блока ультразвуковых датчиков через коммутатор в микроконтроллер. Блок ультразвуковых датчиков закреплен неподвижно, а сканирование осуществляется путем перемещения паллеты относительно блока ультразвуковых датчиков. Из полученных данных микроконтроллер формирует пакет и пересылает его в персональный компьютер. Персональный компьютер производит обработку данных, определяет высоту поддона в первом положении паллеты. Затем ПК выдает команду на передвижение паллеты на один шаг, который может варьироваться в пределах от 10 мм до 10 см в зависимости от требуемой точности и выполняемой задачи. После этого новая информация поступает с

блока ультразвуковых датчиков через коммутатор в микроконтроллер и затем в ПК. Для уменьшения объема передаваемых данных используется сжатие информации [3].

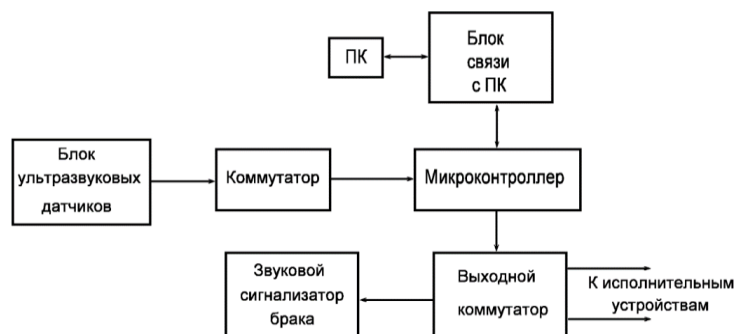


Рис. 1. Структурная схема автоматической сортировки паллет

После окончания сканирования паллеты, ПК проводит анализ полученных данных и выдает сообщение на экран монитора о годности или негодности паллеты для информирования оператора. Кроме того ПК формирует пакет данных для управления исполнительными устройствами перемещением паллеты. В зависимости от результата контроля это может быть механизм №1 (для паллет имеющих высоту в пределах допуска) или механизм №2 (для паллет имеющих высоту за пределами допуска). Бракованные паллеты отправляются на ремонт или утилизацию в зависимости от состояния.

Алгоритм сортировки паллет включает расчет высоты паллеты в 15 точках поперек паллеты и от 12 до 120 точек (в зависимости от выбранного шага сканирования) вдоль паллеты за счет передвижения паллеты по конвейеру [3]. Высота паллеты определяется из выражения [4]:

$$h = \frac{t \cdot v}{2}, \quad (1)$$

где  $h$  – измеряемое расстояние,  $t$  – время, затраченное акустическим сигналом и  $v$  скорость акустического сигнала в данной среде.

Так как ультразвуковая волна проходит путь от излучателя до отражателя и обратно, т.е. двойное расстояние, то в знаменателе появилась двойка. С учетом того, что скорость распространения акустического сигнала в воздухе зависит от влажности, давления и температуры, то сначала в отсутствии паллеты, полученные данные о времени распространения акустического сигнала до конвейерной ленты используются для определения скорости распространения ультразвуковых колебаний, а затем рассчитанная скорость используется в формуле (1) для определения расстояния. По найденному расстоянию до паллеты вычисляем ее высоту:

$$h_n = h_{полн} - h(2)$$

где  $h_n$  – высота паллеты,  $h_{полн}$  – расстояние до конвейерной ленты, в отсутствии паллеты,  $h$  – расстояние до паллеты.

Для повышения точности определения времени распространения ультразвукового импульса, применен алгоритм описанный в [5]. После определения высоты паллеты во всех заданных точках производится сравнение расчетного значения с нормированным значением и если будет обнаружен выход расчетного значения за пределы допуска, то вырабатывается сигнал «БРАК» и паллета бракуется. Полученные данные о высоте поддона используются для графической реконструкции поверхности паллеты

с целью визуального наблюдения оператором за параметрами паллеты на экране монитора [6]. Пример псевдо трехмерного изображения поверхности паллеты приведен на рис. 2.

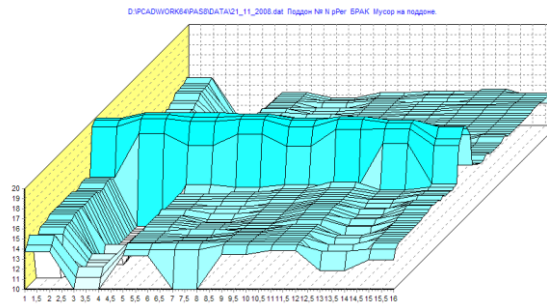


Рис. 2. Результат реконструкции псевдообъемного изображения поверхности паллеты

На рис.2 видно наличие постороннего предмета на поверхности паллеты, поэтому был выработан сигнал «БРАК», который отображен на надписи выше изображения паллеты. Кроме того, на этой надписи указан номер паллеты, и файл, в котором эти данные будут сохранены.

В соответствии с результатами оценки качества паллеты и данными измерений геометрических параметров, паллеты при обнаружении брака или при обнаружении перекоса, сбрасываются в сортировочные карманы, а оператор услышит звуковой сигнал. Паллеты, которые соответствуют нормам, движутся дальше по конвейеру для дальнейшей укладки на него груза.

Использование подобных автоматизированных систем контроля качества и габаритов поддонов позволяет увеличить выход годовой продукции и уменьшить число занятых на этой операции людей. Такие системы могут быть интегрированы в любую линию сортировки поддонов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тройнин М.Ф. Электрокары и электропогрузчики [Электронный ресурс]. 1967. URL: <http://www.bibliotekar.ru/7-elektrokary-elektropogruzchiki/index.htm> (дата обращения 21.09.2015)
2. ГОСТ Р ЕН 13018-2014 Контроль визуальный. Общие положения.— Введ. 2015-07-01. — М.: Стандартинформ, 2015. — 8 с.
3. Yurchenkov V.A., Soldatov A.I., Soldatov D.A. An application of the compressive sampling method for compressing and processing acoustic signals// Russian Journal of Nondestructive Testing. 2013. Т. 49. № 11. С. 631-635.
4. I. Bolotina, M. Dyakina, M. Kröning, F. Mohr, K. M. Reddy, A. Soldatov, Y. Zhantlessov. Ultrasonic arrays for quantitative nondestructive testing an engineering approach. // Russian Journal of Nondestructive Testing, 2013, Volume 49, Issue 3, pp 145-158.
5. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. М.: Машиностроение, 2003, 656 с.
6. Soldatov A.I., Seleznev A.I., Soldatov A.A., Sorokin P.V., Makarov V.S. Estimation of the error when calculating the arrival time of a detected echo-signal// Russian Journal of Nondestructive Testing. 2012. Т. 48. № 5. С. 268-271.
7. Kvasnikov K.G., Soldatov A.I., Bolotina I.O., Krening K.M., Potapenko A.A. The use of geometrical acoustics for the solution of visualization problems// Russian Journal of Nondestructive Testing. 2013. Т. 49. № 11. С. 625-630.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРИВОДА АНТЕННЫ  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Кремлёв И.А.

Научный руководитель: Леонов С.В., к.т.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: ivankremlyov@mail.ru

**SIMULATION TECHNOLOGY OF ELECTROMECHANICAL DRIVE  
OF THE SPACECRAFT ANTENNA**

Kremlyov I.A.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Leonov S.V.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: ivankremlyov@mail.ru

*Данная статья посвящена описанию этапов моделирования электромеханической части привода антенны космического аппарата. На сегодняшний день в научной литературе практически отсутствует информация об описании этапов моделирования, что подтверждает необходимость появления новых исследований в данной области. Значительное внимание уделяется синтезу оптимальных соотношений размеров и параметров по заданным выходным характеристикам электромеханических систем. Кроме того, в данной статье внимание уделено истории развития высокоточных прецизионных систем. Материалы статьи будут интересны специалистам в области электромеханики, а также информационных компьютерных технологий. В заключении, статья подводит некоторые итоги исследования электромеханической части привода антенны космического аппарата. Результаты исследования расширяют знания о возможном потенциале программных компьютерных комплексов по моделированию объектов.*

*This article describes the steps of the electromechanical actuator simulation of spacecraft antennas. Nowadays, there is almost no information in the scientific literature on the description of the stages of modeling. It confirms the need demand for the emergence of new research in this area. Considerable attention is paid to the synthesis of the optimal ratio of dimensions and parameters for a given output characteristics of electromechanical systems. In addition, this article attention is paid to the history of the development of high-precision systems. Materials of the article will be interesting to specialists in the area of electrical engineering, computer and information technology. In conclusion, the article summarizes some of the results of the study of electromechanical drive of spacecraft antennas. The findings expand the knowledge of the possible potential of computer software systems modeling the objects.*

Современное развитие прецизионные системы и устройства получили еще в конце 70-х годов XX-го века одновременно с созданием космического аппарата «Луч», на котором требовалось независимое и одновременное наведение четырех антенн, две из которых являлись крупногабаритными. Здесь были впервые в отрасли реализованы принципы цифрового управления и были созданы приборы, входными сигналами которых являлись коды скоростей, а выходными - коды текущих углов поворота [1]. Для того, чтобы рассчитать и проанализировать подобные прецизионные системы, нельзя обойтись без современных технологий.

В настоящее время для того, чтобы рассчитать параметры электромагнитных полей двигателей и приводов используются специализированные программные комплексы. Для создания данной модели использовалось программное обеспечение Maxwell от компании Ansys. Оно служит для моделирования двумерных и трехмерных электромагнитных полей, а также для исследования и проектирования датчиков, двигателей, трансформаторов, двумерных и трехмерных моделей, и других электрических и электромеханических устройств [2].

Данная статья связана с исследованием электромеханической части привода антенны космического аппарата. Для исследования динамических режимов работы такого класса электромеханических устройств,

нельзя обойтись без использования специализированного программного обеспечения, которое обладает возможностями моделирования магнитных полей и расчетом его интегральных характеристик.

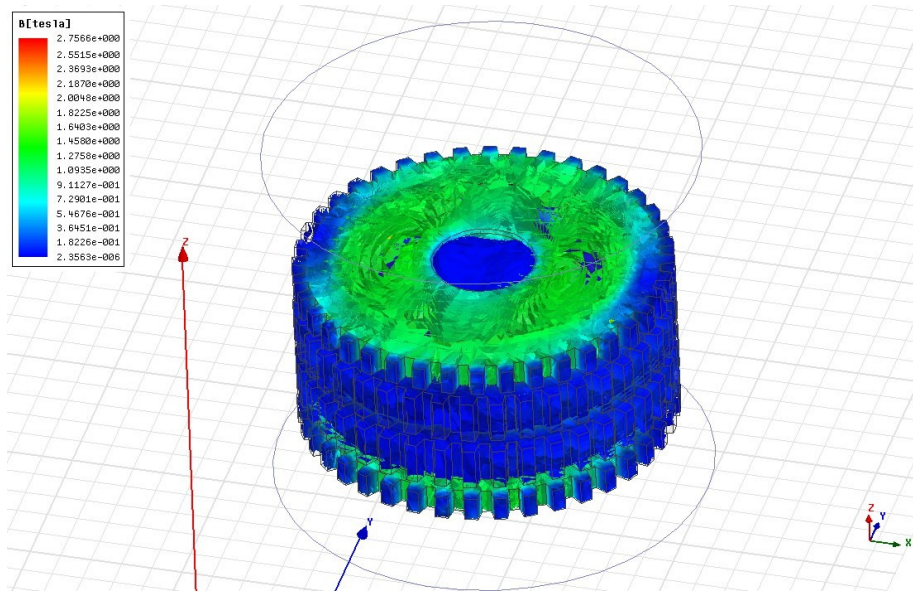


Рис. 1. Картина электромагнитного поля

Главной задачей работы является электромагнитный анализ двигателя, который может быть успешно выполнен с использованием возможностей дополнения RMXprt. Оно позволяет ускорить процесс оптимизации модели и дает возможность более точного описания всевозможных особенностей геометрии зубцовой зоны. Зачастую вопрос исследования магнитных полей различных устройств бывает затруднен задачей точного описания геометрических свойств магнитной системы. Для описания геометрии магнитной системы имеется возможность использования CAD- приложений, а значит, модель может быть выполнена в любой системе автоматизированного проектирования, например в Autodesk Inventor или SolidWorks.

Затем для расчета параметров двигателя были назначены свойства материалов всех твердотельных объектов магнитной системы. Практическим путем установлено, что некорректный подбор материалов значительно искажает картину электромагнитного поля. После анализа влияния геометрических характеристик электродвигателя на его внешние статические характеристики, были определены варианты наиболее эффективного исполнения зубцовой зоны с позиции снижения пульсаций электромагнитного момента.

Немаловажной задачей является синтез оптимальных соотношений размеров и параметров по заданным выходным характеристикам электромеханических систем. С одной стороны - это диктуется дороговизной и дефицитностью используемых материалов, что стимулирует выполнение электромеханических преобразователей энергии с минимальными затратами этих материалов при условии достижения достаточно высоких удельных и энергетических показателей. С другой стороны – непрерывно разрабатываются принципиально новые конструкции, подлежащие детальному исследованию. Например, при проектировании магнитных систем с концентрацией магнитного потока нарушается, как правило, привычная схема инженерного проектирования [3].

Проект электромеханической системы с постоянными магнитами однозначно и полностью определяется совокупностью большого количества данных: конструктивными размерами и обмоточными



данными; активными, изоляционными и конструкционными характеристиками материалов; а также напряжениями, токами, частотой вращения и др.

Обзор применения поисковых методов оптимизации показывает, что большинство из них так или иначе уже апробировано в проектировании. Однако сравнительные оценки затруднены из-за использования их в разработке различных типов электромеханических преобразователей для различных функций цели и ограничений. И все же можно отметить, что если критерий оптимальности задан не в явном виде, наиболее пригодны безградиентные методы.

Для большинства применений постоянных магнитов в составе электромеханических устройств, актуальным с точки зрения энергоэффективности является вопрос их размещения и крепления в подвижных и неподвижных элементах магнитной системы [4]. При этом максимальных значений энергетических характеристик добиваются минимизацией магнитных сопротивлений воздушных зазоров, т.е. расположением, формой и креплением постоянных магнитов. Известно, что наилучший магнитный поток в воздушном зазоре может обеспечить радиально расположенный призматический постоянный магнит. Однако крепление постоянного магнита данной формы не надежно, без применения обечайки, каркаса или болтовых соединений. В связи с этим, было выполнено сравнение потоков рассеяния нескольких призматических магнитов с разным исполнением боковой поверхности для целей наиболее надежного крепления. Если основной магнитный поток магнита принять за 100%, то величина потока в остальных случаях будет 98, 96 и 95% соответственно при условии, что ширина магнита много больше его толщины [5]. Сохранить величину магнитного потока с обеспечением надежного крепления магнита предлагается путем использования паза в боковой поверхности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курбатов Е.М. Современное состояние прецизионных электромеханических систем и устройств разработки и производства ОАО «ИСС». // Форум школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Космическое приборостроение». – Томск, 2013. – Т. 1. – С. 40-41.
2. Пат. 2006142 РФ. Н 02 К 19/06. Синхронный двигатель с электромагнитной редукцией частоты вращения / К.Г. Новоселов, Е.Б. Баталов; Оpubл. 1986.
3. Кремлёв И.А., Гилев В.А., Зеленин М.В. Моделирование синхронного двигателя с электромагнитной редукцией скорости в Ansys Maxwell. // ПМолодежный международный форум «Интеллектуальные энергосистемы». – Томск, 2015. – Т. 2. – С. 211-214.
4. Леонов С.В. Федянин А.Л. Муравлев О.П. Статическая модель герметичного синхронного двигателя дискового типа с магнитосвязанными полюсами. Известия ТПУ Выпуск № 4 / том 312 / 2008.
5. Leonov S.V., Muravlev O.P., KalaeV V.E., Fedyanin A.L. The engineering support of technologies of the power complex / В сборнике: Proceedings – 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, KORUS-2005 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, KORUS-2005. Novosibirsk, 2005. С.339-341.

**РЕАЛИЗАЦИЯ И ТЕСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ  
НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32F407VG С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ  
С ТАЙМАУТАМИ**

Лапутенко А.В., Громов М.Л.

Научный руководитель: Торгаев С.Н., к.ф.-м.н, доцент  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050  
E-mail: laputenko.av@gmail.com

**IMPLEMENTATION AND TESTING STM32F407VG MICROCONTROLLER BASED ALARM SYSTEM  
USING FINITE STATE MASHINE WITH TIME-OUTS**

Laputenko A.V., Gromov M.L.

Scientific supervisor: Ass. Prof., Ph.D. Torgaev S.N.  
Tomsk State University  
Russia, Tomsk, Lenin str. 36, 634050  
E-mail: laputenko.av@gmail.com

*Данная работа посвящена задаче тестирования аппаратно реализуемых систем. В ходе данной работы была аппаратно реализована модель комнатной сигнализации с использованием микроконтроллера STM32F407VG. Спецификация требований для данной системы была представлена моделью конечного автомата с таймаутами. Набор проверяющих тестовых последовательностей был получен с использованием инструмента автоматического построения тестов для автоматных моделей с таймаутами из набора инструментов FSMTest. Осуществление подачи тестовых последовательностей на реализованную систему производилось с использованием дополнительного микроконтроллера. В дальнейшей работе, планируется проведение экспериментов для оценки полноты тестирования.*

*In this paper, problem of hardware implemented systems testing is considered. The model of alarm system based on STM32F407VG microcontroller has been realized in this work. Specification of this system is presented as finite state machine with time-outs. Test suite for this specification has been derived using the FSMTest toolkit for automatic test suits derivation for finite state machines with time-outs. The process of testing has been provided using additional STM32F407VG microcontroller. In the future work, the experiments for evaluating test suite coverage are being planned.*

Большое количество ресурсов тратится на тестирование аппаратно реализованных технических систем, при этом особое внимание уделяется системам обеспечения безопасности, например таким как, системы сигнализаций. При тестировании систем с помощью формальных моделей, реализация проверяется на соответствие своей спецификации, отражающей корректное поведение системы [1]. Примером таких моделей являются конечные автоматы. При тестировании систем, имеющих временные аспекты в своем функционировании, необходимо использовать временные конечные автоматы [2].

В процессе данной работы была реализована модель системы комнатной сигнализации с использованием микроконтроллера STM32F407VG [3, 4]. Система предполагает наличие внешних сигналов с датчиков открытия двери и окна, сигнала активации и введения кода, деактивирующего систему. Временные аспекты данной модели, отражают свойства безопасности системы, например, временной промежуток для введения кода деактивации, по истечении которого, происходит передача сигнала на пост охраны либо полиции.

Спецификация данной системы представлена четырьмя конечными автоматами с таймаутами. Управляющая часть системы представлена детерминированным и частичным автоматом, имеющим 32 состояния, 62 перехода, из них 8 переходов по таймауту, 10 входных и 11 выходных действий. Процесс введения пользовательского кода деактивации сигнализации, кода охраны и кода полиции специфицируется соответствующими автоматами, число состояний которых, пропорционально длине деактивирующей кодовой последовательности. Граф переходов автомата управляющей части, представлен на рисунке 1. Графы переходов автоматов введения пользовательского кода и кода охраны представлены на рисунках 2 и 3.

Для автоматического построения тестовых последовательностей был использован метод

Василевского, реализованный в наборе инструментов FSMTest-1.0 [5]. Данный инструмент принимает описание детерминированного, полностью определенного, минимального конечного временного автомата в формате fsm и выдает набор проверяющих тестов для данного автомата. Используемый формат представления автоматов содержит информацию о типе автомата, количестве состояний, переходах и список переходов. Для применения данного метода построения тестов, полученная композиция автоматов была минимизирована и доопределена, с использованием дополнительного состояния don't care state и выходного действия don't care.

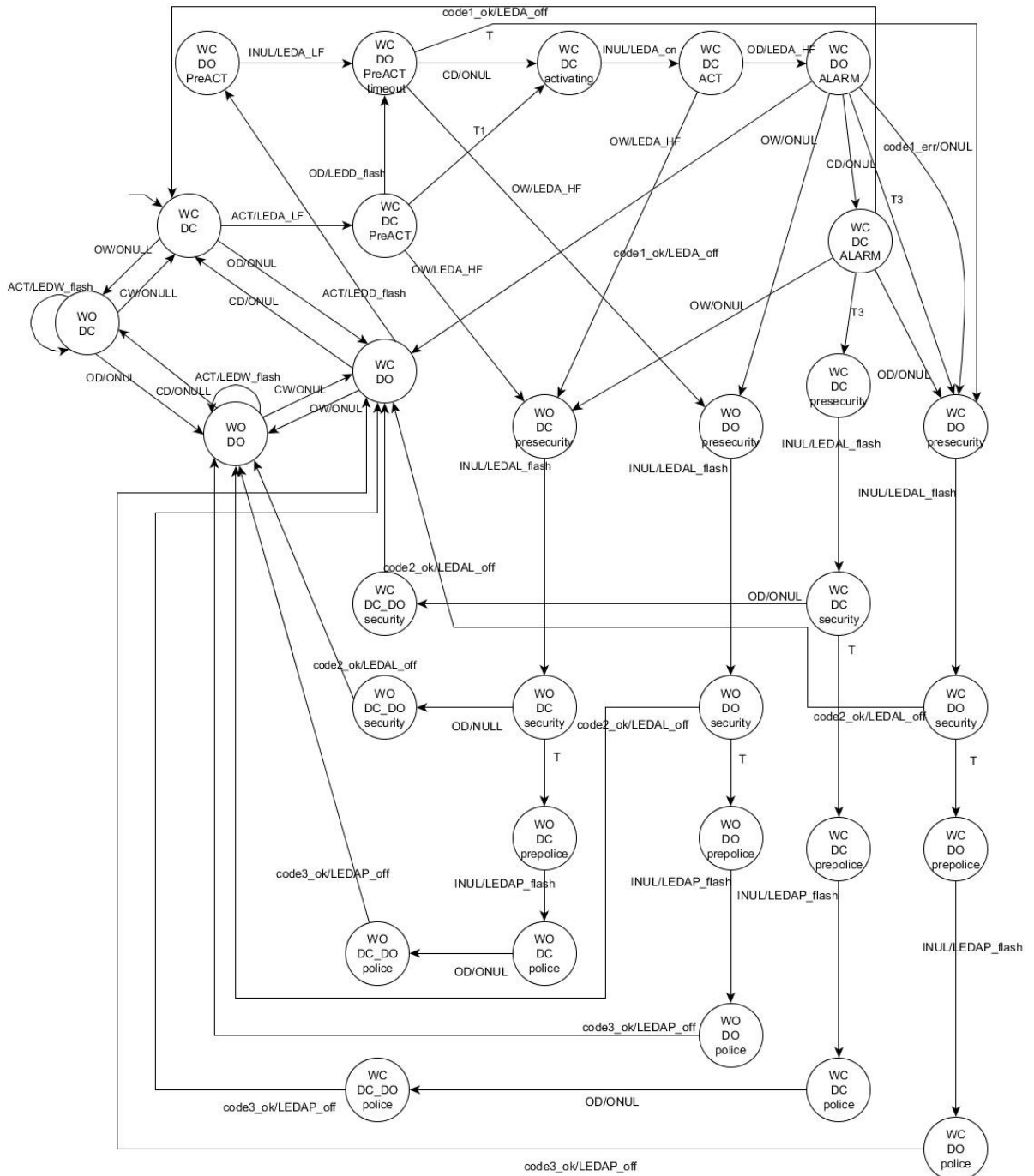


Рис. 1. Граф переходов автомата, специфицирующего управляющую часть системы сигнализации

Процесс тестирования проводился с использованием дополнительного микроконтроллера, осуществляющего подачу тестовых сигналов на входы микроконтроллера, реализующего поведение

исследуемой системы.

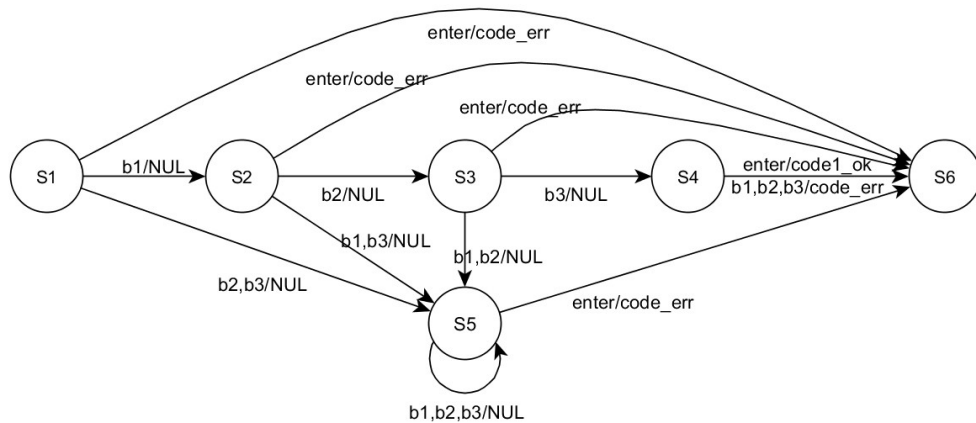


Рис. 2. Граф переходов автомата, специфицирующего введение пользовательского кода деактивации

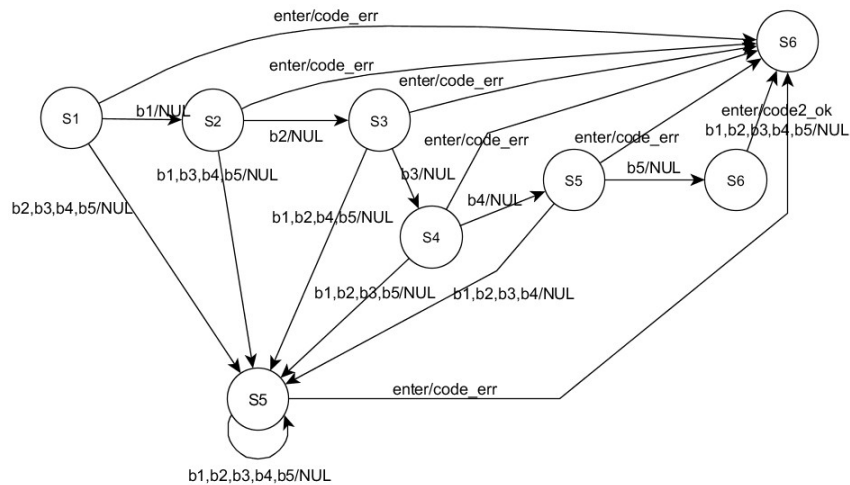


Рис. 3. Граф переходов автомата, специфицирующего введение кода деактивации охраны

В дальнейшей работе планируется проведение экспериментов для оценки полноты тестирования с возможным дополнением тестовых последовательностей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. Гилл. Введение в теорию конечных автоматов. – М. Наука, 1966. – 272 с.
2. Zhigulin M., Yevtushenko N., Maag S., Cavalli A.R. FSM-Based Test Derivation Strategies for Systems with Time-Outs // Proceedings of the international conference QSIC 2011. P. 141–149.
3. DiscoverykitforSTM32F407/417 line [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/data\\_brief/DM00037955.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/data_brief/DM00037955.pdf), свободный.– Загл. с экрана. – Яз. англ.
4. Практическое руководство по программированию STM-микроконтроллеров: учебное пособие / С.Н. Торгаев, М.В. Тригуб, И.С. Мусоров, Д.С. Чертихина; ТПУ. – Томск : Изд-во ТПУ, 2015. – 111 с.
5. N. Shabaldina, M. Gromov. FSMTest-1.0: a manual for researches / Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2015), Batumi, Georgia, September 26-29, 2015, pp. 216-219. Copyright © 2015 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. , ISBN 978-1-4673-7775-1 CFP15DTW-PRT, ISBN 978-1-4673-7774-4 CFP15DTW-CDR.

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В SIMULINK

Майков С.А.

Научный руководитель: Воронин А.В., доцент, к.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: sam10@tpu.ru

## VISUALIZE METHODS COMPARISON OF THE PHYSICAL MODEL IN SIMULINK

Maykov S.A.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Voronin A.V.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: sam10@tpu.ru

*В данной статье изложено сравнение методов визуализации модели элемента крыла солнечной батареи (КСБ) космического аппарата. Во введении доказывается важность использования моделирующей системы, а так же компонентного визуального моделирования. В первом пункте данной статьи показан процесс создания объекта, состоящего из нескольких элементарных фигур при помощи библиотеки SimMechanics первого поколения. Выделяются основные сложности и проблемы, с которыми может столкнуться разработчик в ходе её использования. Во втором пункте показан аналогичный процесс, но с применением библиотеки второго поколения. Выделяются достоинства более нового метода. В последнем пункте упоминается возможность применения САД-транслятора, который значительно упрощает процесс создания визуализированной модели. В заключении освещены ключевые моменты всей статьи.*

*This paper presents result of the visualize methods comparison of satellite's solar array wing part. Introduction shows the importance of component modeling. Firstly this paper describes the creation of complex object that consists of several simple figures with help of SimMechanics 1 generation library. Secondly we compare the older approach in previous part with SimMechanics 2 generation library and present its merits and demerits. Lastly we show the way to simplify the process of visualized model creation in Matlab with help of CAD-translator. In conclusion we highlight the main points of this paper.*

### Введение

Наземная отработка динамики процессов стыковки, раскрытия и сборки крупногабаритных космических конструкций, предназначенных для работы в условиях невесомости, становится всё более ответственным, трудоёмким и дорогостоящим этапом создания и освоения космической техники.

Сложившаяся практика проектирования и эксплуатации подобных систем предполагает наличие моделирующей системы, позволяющей проводить анализ работы всего стенда, получать его кинематические и динамические характеристики, оценивать точность и качество имитации внешней среды.

В настоящее время компонентное визуальное моделирование является стандартным подходом в автоматизированном моделировании. Оно в гораздо большей степени ориентировано на удобства пользователя, повышает гибкость модели, позволяет опереться на обширные библиотеки моделей компонентов, использовать наглядный способ задания исходной информации и качественную визуализацию результатов моделирования.

### Моделирование при помощи библиотеки SimMechanics первого поколения

Данный метод, визуализации модели, подразумевает использование библиотеки SimMechanics 1 Generation, которая входит в состав основных библиотек Simulink. Существует необходимый минимум блоков для визуализации одного объекта: блок Заземления для привязки физической модели в пространстве, блок Тела, который является физической моделью.

В параметрах блока Тела (Рис. 1) можно задать массу, тензор инерции и так же, самое важное для визуализации, геометрию тела.

Для связи основных блоков Тел, используются блоки библиотеки сочленений (жёсткое, поступательное, вращательное и т.п.).

Основой в геометрии тела модели является Центр масс [1]. Данная точка определяет положение тела относительно мировой системы координат. Остальные точки (CS1, CS2,...) отвечают за сочленения с другими блоками (при выделении в ShowPort) или же геометрию тела. Подобным способом достаточно просто выполнить визуализацию цельных объёмных фигур. Проблемы возникают, при необходимости создать тело с отверстиями, либо полостями, что показано на примере создания рамы КСБ (Рис. 2), состоящей из нескольких элементарных фигур.

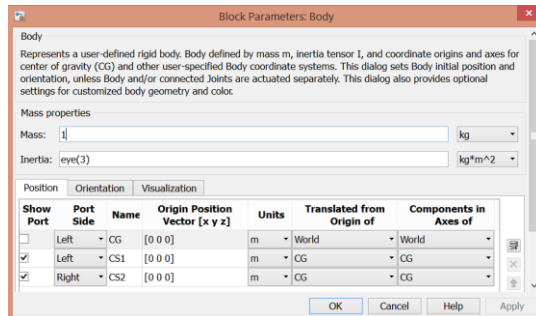


Рис. 1. Параметры блока Тела первого поколения

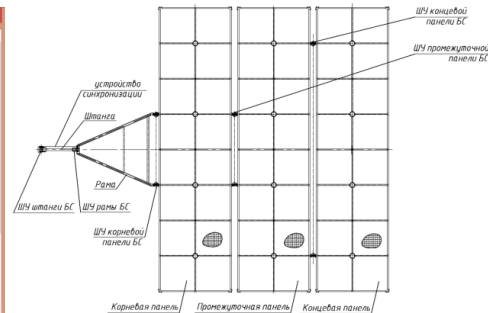


Рис. 2. Схема КСБ космического аппарата

Создавая модель одним блоком, существует возможность получения в виде аппроксимирующих многоугольников (Рис. 4), либо эквивалентных эллипсоидов. Для полостей, либо отверстий необходимо вносить в модель дополнительные сочленения и блоки Тел, которые будут отвечать за отдельную элементарную часть всего объекта. Увеличение количества используемых блоков значительно усложняет модель и негативно отражается на оптимизации, так как программе необходимо просчитывать большее количество точек одновременно.

Для перемещения в пространстве одного тела объекта, необходимо изменять каждую координату записанные в геометрию блока Тела. Данная проблема решается внесением переменных в необходимые координаты модели.

Другая проблема библиотеки SimMechanics первого поколения – создание сферических и цилиндрических фигур. Необходимо создавать отдельную функцию, которая будет описывать желаемую поверхность.

Show Port	Port Side	Name	Origin Position Vector [x y z]	Units	Translated from Origin of	Components in Axes of
<input type="checkbox"/>	Left	CG	[0.15 0.05 -0.0475]	m	World	World
<input type="checkbox"/>	Right	CS9	[0.15 0.05 -0.0475]	m	World	World
<input checked="" type="checkbox"/>	Left	CS1	[0.1 0.1 0.6025]	m	World	World
<input type="checkbox"/>	Left	CS2	[0.1 0 0.6025]	m	World	World
<input type="checkbox"/>	Left	CS4	[0.2 0.1 0.6025]	m	World	World
<input type="checkbox"/>	Left	CS3	[0.2 0 0.6025]	m	World	World
<input type="checkbox"/>	Right	CS5	[0.1 -0.55 -0.6975]	m	World	World
<input type="checkbox"/>	Right	CS8	[0.1 0.65 -0.6975]	m	World	World
<input type="checkbox"/>	Right	CS7	[0.2 0.65 -0.6975]	m	World	World
<input type="checkbox"/>	Right	CS6	[0.2 -0.55 -0.6975]	m	World	World

Рис. 3. Свойства блока Тела Рамы

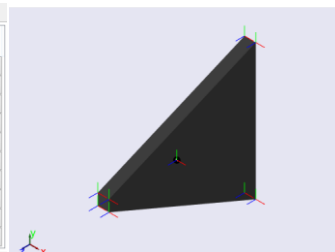


Рис. 4. Визуализированная модель рамы

### Моделирование при помощи библиотеки SimMechanics второго поколения

Основные проблемы, описанные в предыдущем разделе, исправлены в данной библиотеке, при этом используются главные достоинства. Разделение оболочки моделируемого объекта и системы координат центра масс даёт значительные преимущества. Теперь для того, чтобы переместить в пространстве объект

моделирования достаточно изменить значения жёсткой системы координат, к которой прикреплена модель. Изменение формы и размеров, так же сосредоточены в блоке Тела (Рис. 5), как и в первом поколении. Но возможность создавать сложные объекты при помощи элементарных фигур значительно упрощает моделирование, что показано на примере создания рамы КСБ (Рис. 6).

Полученная модель не несёт излишней нагрузки на обработку, каждой точки поверхности фигуры, а следит только за жёсткими системами координат, к которым прикреплены блоки тел.

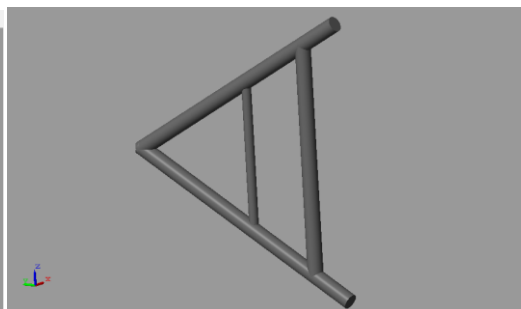
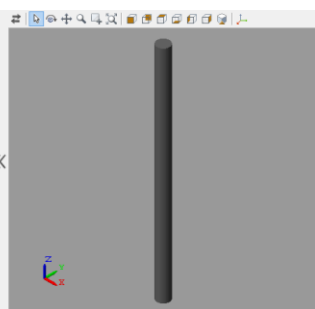
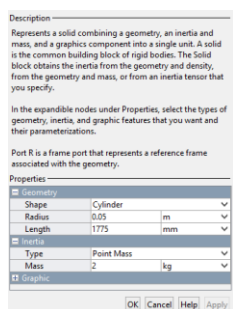


Рис. 5. Свойства блока Тела второго поколения

Рис. 6. Визуализированная модель рамы

### Использование САД-транслятора

Значительно более выгодной альтернативой по координатному моделированию библиотеки первого и использованию элементарных фигур второго поколения, является использование САД-транслятора для доступного перечня САД-программ [2]. Данный способ визуализации, интегрируем в библиотеки SimMechanics обоих поколений, что позволяет значительно упростить процесс создания желаемой модели, при помощи уже созданной в САД-среде [3]. Конвертированная модель полностью наследует графическое представление, а так же массогабаритные и инерционные характеристики деталей, если они были заложены разработчиком.

### Заключение

Библиотека SimMechanics первого поколения отличается достаточно простым по координатным моделированием физической модели, но оно ограничено созданием аппроксимирующих многоугольников, либо эквивалентных эллипсоидов.

Библиотека второго поколения, исправив основные проблемы первого поколения и используя основные его достоинства, позволяет достичь достойного уровня визуализации, значительно увеличивая наглядность созданной модели.

Альтернативой двум способам визуализации, является использование САД-транслятора, что значительно упрощает процесс моделирования, но при этом появляется необходимость в специальной подготовке и обучению работы в САД-среде.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SimMechanics 2 User's guide. [Электронный ресурс]. – URL: <https://mecanismos2mm7.files.wordpress.com/2011/09/tutorial-sim-mechanics.pdf> (Дата обращения 14.03.2016 г.)
2. Simscape Multibody Link. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mathworks.com/help/physmod/smlink/index.html> (Дата обращения 14.03.2016 г.)
3. Тихонов К.М., Тишков В.В. SimMechanics Matlab как средство моделирования динамики сложных авиационных робототехнических систем // Электронный журнал «Труды МАИ», №41, 2010.

**ВНЕДРЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО ИНТЕРФЕЙСА SPACEWIRE В НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ  
БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ НГУ**

Михайлов Б.О.

Научный руководитель: Прокопьев Ю.М., к.т.н.  
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет  
Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, 630090  
E-mail: bmikhailov@rambler.ru

**IMPLEMENTATION OF PERSPECTIVE INTERFACE SPACEWIRE IN NEW DEVELOPMENTS OF  
ON-BOARD EQUIPMENT BY NSU**

Mikhaylov B.O.

Scientific supervisor: Ph.D. Prokopiev Yu.M.  
Novosibirsk State University  
Russia, Novosibirsk, Pirogova str, 2, 630090  
E-mail: bmikhailov@rambler.ru

*В настоящей работе рассматриваются основные аспекты разработки и реализации архитектуры внутренних и внешних информационных сетей унифицированного блока электроники, проектируемого в рамках СЧ ОКР «Карабуба». Основная особенность данного комплекта бортовой аппаратуры – применение перспективного интерфейса SpaceWire для связи с бортовым информационно-вычислительным комплексом космического аппарата. Интерфейс SpaceWire ранее не применялся в качестве основного на космических аппаратах отечественного производства.*

*This paper considers the main aspects of development and implementation of internal and external network architecture in unified electronics unit. This equipment is developed as constituent part of R&D work «Karabula». The main feature of unified electronics unit is using of SpaceWire interface as the basic communication channel with the on-board informational-and-computing system. This bus has never been implemented as primary interface onboard Russian spacecrafts.*

В большинстве ныне функционирующих и разрабатываемых космических аппаратах основным телекоммуникационным интерфейсом является MIL-STD 1553В, первая редакция которого утверждена в 1973 году (в Российской редакции – «мультиплексный канал обмена», МКО, ГОСТ Р 52070-2003). В данном стандарте устанавливаются требования к составу технических средств интерфейса, характеристикам устройств интерфейса и линии передачи информации, топологии сети и организации контроля передачи данных.

По мере развития бортовой спутниковой аппаратуры и спектра решаемых задач возрастают и требования к интерфейсам передачи данных в части повышения пропускной способности и топологии сети. Как результат для замены интерфейса МКО в 2003 году Европейским Космическим Агентством была опубликована первая версия стандарта SpaceWire. Ключевыми особенностями интерфейсов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Особенности интерфейсов SpaceWire и МКО

Параметр	МКО	SpaceWire
Скорость обмена	1 Мбит/с	от 2 до 400 Мбит/с
Топология	Общая дифференциальная пара Адресация до 32 абонентов Выделенный контроллер шины	Полный дуплекс Дифференциальная пара Связь «точка-точка» Использование «червячной маршрутизации»
Мощность	Пиковая мощность при передаче данных до 3,5 Вт	Мощность на одну дифференциальную пару во время соединения около 50 мВт



НГУ, участвуя в кооперации по продвижению этого интерфейса, в рамках ОКР «Карабула» разрабатывает комплект аппаратуры, реализующей основную информационную магистраль по стандартам SpaceWire и протокол транспортного уровня SpaceWire, СТП-ИСС. Несмотря на то, что целевым назначением аппаратуры является мониторинг факторов космического пространства и факторов техногенного характера, отдельное внимание уделяется освоению интерфейса SpaceWire.

Проблема скорости передачи данных для данной аппаратуры стоит особенно остро. Это связано с большими объемами накапливаемой информации (комплект аппаратуры состоит из восьми измерительных блоков). Кроме того, благодаря автоматизации контроля соединения и проверки достоверности данных линиями SpaceWire экономятся вычислительные ресурсы центрального модуля, который осуществляет управление аппаратурой. Помимо вышеописанных проблем, реализация SpaceWire в виду использования сигналов LVDS и описанных требований к кабельным сборкам уменьшает список мероприятий, направленных на удовлетворение требований электромагнитной совместимости по полям, а также снижает потребляемую мощность аппаратуры (затрачиваемая мощность на одну дифференциальную пару составляет около 50 мВт).

Основную роль в функционировании данного комплекта аппаратуры играет унифицированный блок электроники (УБЭ), который осуществляет сбор, первичную обработку и упаковку полученных измерений с входящих в состав аппаратуры датчиков, а также взаимодействие с системами КА посредством шин SpaceWire, МКО, данная шина передачи данных предусматривается как резервная линия связи с системами КА, и сигнальной телеметрии. Структурно УБЭ состоит из следующих модулей:

- коммутатор, осуществляющий прием команд управления и коммутацию питания 27 В для всех датчиков, входящих в комплект аппаратуры;
- интерфейсный модуль, осуществляющий информационное взаимодействие с датчиками;
- два центральных модуля, осуществляющих управление датчиками, сбор и обработку информации;
- модуль SpaceWire, осуществляющий взаимодействие с КА с помощью интерфейса SpaceWire.

Для взаимодействия с внешними подключаемыми датчиками в унифицированном блоке электроники предусмотрено девять портов низкоскоростного интерфейса с различными типами гальванической развязки. Для управления датчиками в рамках реализации ОКР «Карабула» были разработаны системы команд и адресов, описанные в протоколах логического взаимодействия. Управление интерфейсным модулем осуществляется с помощью ПЛИС Actel ProASIC3E, которая предусматривает связь с центральным модулем по аналогичному низкоскоростному интерфейсу.

Центральный модуль УБЭ, посредством интерфейсного модуля, осуществляет сбор и обработку информации со всех измерительных устройств, входящих в комплект аппаратуры. После чего полученные данные упаковываются в унифицированные информационные кадры, размером 64 байта, которые записываются в собственное запоминающее устройство центрального модуля для дальнейшей передачи в БИВК с помощью интерфейсов SpaceWire или МКО. Размер кадров, в первую очередь, исторически обусловлен требованиями стандарта МКО. Помимо операций с полученными данными центральный модуль осуществляет управление датчиками сигнальной телеметрии унифицированного блока электроники (4 штуки), которые используются для непрерывного контроля работоспособности аппаратуры: наличие первичного электропитания, номер включенного полукомплекта, активность по интерфейсам к системам

КА. Дополнительно центральный модуль осуществляет мониторинг потребляемой мощности и управление питанием подключенных датчиков.

Так как ОКР «Карабула» является технологическим, для более глубокого освоения стандарта SpaceWire, модуль SpaceWire, осуществляющий взаимодействие с системами КА, предусматривает два варианта исполнения – с применением ПЛИС Actel ProASIC3E и на микроконтроллере 1874BE7T. Оба используемых логических устройства в полном объеме реализуют функции линка SpaceWire. Все принимаемые командные сообщения, посредством внутренней шины, транслируются в центральный модуль, где и происходит обработка и выполнение полученной команды. Аналогичным образом происходит трансляция символов управления, кодов ошибок при обмене, кодов времени и информации о состоянии соединения. В микроконтроллере, осуществляющем управление центральным модулем, данные сообщения имеют первый приоритет обработки. Отдельно стоит отметить, что для данной аппаратуры было разработано единое поле команд, используемых в шинах МКО и SpaceWire.

В последующих разработках бортовой аппаратуры НГУ планируется полный переход на шину SpaceWire для связи с бортовым комплексом управления и как следствие отказ от применения МКО. Также рассматриваются возможности использования SpaceWire в качестве внутренней сети аппаратуры. Данные решения позволят уменьшить потребляемую мощность аппаратуры, сэкономят вычислительные ресурсы центрального модуля и, что немаловажно, ресурсы бортового информационно-вычислительного комплекса. Более того, подобное решение в перспективе позволяет интегрировать любые датчики в единую информационную сеть КА.

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИЙ ОТТАИВАНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА КЛАСТЕРИЗАЦИИ K-MEANS ПРИ ПРОЕКТНОМ  
ДЕШИФРИРОВАНИИ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗЕМЛИ**

Рунтов К.И., Беспалов А.С., Шевырёв С.Л.  
Научный руководитель: Шевырёв С.Л., доцент, к.г.-м.н.  
Дальневосточный Федеральный университет, Инженерная школа  
Россия, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, 690950  
E-mail: kirill.runtov@yandex.ru, Arseniy.Bespalov97@mail.ru

**AUTOMATED ANALYSIS OF THE THAWING OF PERMAFROST AREAS USING THE CLUSTERING  
ALGORITHM K-MEANS WITH PROJECT INTERPRETATION OF REMOTE EARTH IMAGES**

Runtov K.I., Bepalov A.S., Shevirev S.L.  
Scientific supervisor: Associate Professor, Ph.D. Shevirev S.L.  
Far Easters Federal University, Engineering school  
Russia, Vladivostok, Sukhanova St., 8, 690950  
E-mail: kirill.runtov@yandex.ru, Arseniy.Bespalov97@mail.ru

*Нефтегазовая отрасль, как одна из ведущих и самых развитых в России, нуждается в современных технологиях для удешевления и упрощения процессов добычи, разведки, транспортировки углеводородов и обслуживания инфраструктуры. В данном исследовании рассматривается важнейшая проблема — это проблема оценки угрозы инженерным сооружениям, находящимся в зоне вечной мерзлоты. В статье рассмотрен один из способов решения поставленной проблемы, путем анализа спутниковых данных (снимков). Представлен материал по обработке снимков в среде научного программирования Octave и геоинформационной системе Quantum GIS. В статье описаны преимущества выбранного метода решения проблемы и выводы, отражающие его выгодное использование.*

*Oil and gas industry, as one of the leading and most developed in Russia, need advanced technologies to reduce the cost and simplify the processes of extraction, exploration, transportation of hydrocarbons and service infrastructure. In this study, we considered one the most important problem — the problem is the threat assessment*

*of engineering structures in the zone of permafrost. The article describes the way to solve this problem by analyzing the satellite data (images). The material for processing images in an environment of scientific program Octave and geographic information system, Quantum GIS. The article describes the advantages of the chosen method of solving the problem and conclusions reflecting its beneficial use.*

Большое количество неразведанных месторождений газа и нефти России находятся в районе многолетней криолитозоны. Криолитозона — верхний слой земной коры, породы и почвы которого характеризуются отрицательными температурами и возможностью наличия подземных льдов. Разработка нефтегазовых месторождений в условиях вечной мерзлоты активно ведется в Ямало-Ненецком Автономном округе (ЯНАО), в наши дни. Здесь добывается 85% отечественного природного газа (это одна пятая часть мировой добычи газа), 7% — нефти и 75% — газового конденсата. Подготовленные к добыче газовые запасы только лишь полуострова Ямал, например, где открыто более 30 месторождений углеводородов, составляют 16 трлн. кубометров.

Бованенковское месторождение, содержит в себе около 5 трлн. готового к добыче природного газа. Начальные запасы еще трех крупных месторождений — Харасавэйского, Южно-Тамбейского и Крузенштернского, также расположенных в северной части полуострова Ямал, — насчитывают примерно 3,3 трлн. кубометров. В общем суммарные разведанные ресурсы природного газа в ЯНАО превышают 147 трлн. кубометров.

При первичном проектировании объектов нефтегазовой промышленности в условиях криолитозоны важно провести автоматизированное дешифрирование дистанционного изображения исследуемого участка земной поверхности. Так как криолитозона характеризуется значительной чувствительностью к антропогенным факторам, климатическим условиям и особенностям рельефа.

Проблему оценки угрозы инженерным сооружениям, находящимся в зоне вечной мерзлоты, можно решить при помощи анализа площадей переувлажненных грунтов и термокарстовых озер, основанного на спутниковых данных, полученных при дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ) [1, 2].

В связи с данной проблемой, в настоящее время, существует потребность в создании автоматизированной системы анализа изменений криолитозоны, в качестве источника топографических данных для которого могут выступать материалы ДЗЗ. Основными преимуществами этого метода являются:

- Относительная простота использования данного метода
- Отсутствие необходимости в дорогостоящем оборудовании и большом количестве персонала
- Экономия времени при получении и обработке данных
- Доступность спутниковых снимков, полученных при ДЗЗ
- Актуальность данных на момент съемки

В качестве среды программирования, для обработки данных космического снимка, был выбран командный интерпретатор Octave (бесплатный аналог Matlab). Достоинством этой среды программирования является наличие необходимых библиотек, обеспечивающих RAD (быструю разработку приложений). Материалом для проведения исследования явились комплекты спутниковых изображений Landsat (ETM/ETM+), которые имеют геологическую привязку и поставляются в формате GeoTiff. Также для соединения спектральных каналов и отслеживания географических координат снимков использовалась свободная геоинформационная система Quantum GIS (QGIS).

Загруженные с сайта Мэрилендского университета [3] снимки Landsat, соединяются по каналам 4-5-3 (рис. 1) для того, чтобы точно отделить водные участки от другой местности. Затем они разделяются на кластеры (при помощи алгоритма K-means), выбираются изображения с выделенными кластерами,

визуально соответствующими местонахождению зон заболоченности и термокарстовых озер на снимке (рис. 2). Эти изображения бинаризируются и высчитывается площадь выделенных кластеров, которая соответствует площади обводненной местности, с учетом масштаба снимка. После анализа данной местности в разные временные промежутки, сравниваются площади заболоченности для выявления изменений происходящих в криолитозоне.

Изменение площади показывают какое воздействие оказывает структура нефтегазовой промышленности на криолитозону в данном районе. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшего предупреждения проблем связанных с изменением зоны вечной мерзлоты.

Очевидно, что данный метод является крайне доступным, простым, несоизмеримо дешевым по уровню затрат, по сравнению с наземными полевыми работами, и не имеет практически никаких экономических рисков. Развитие технологий ДЗЗ в нефтегазовой отрасли позволит оптимизировать и удешевить производственные процессы, повысить безопасности производства и объективность экологических оценок.

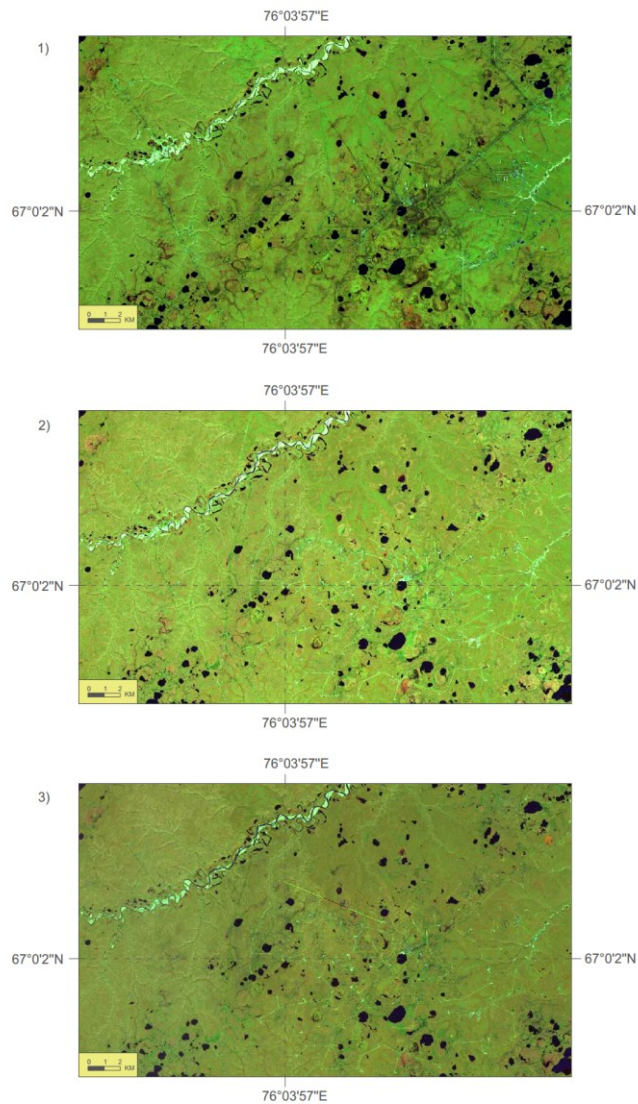


Рис. 1. Результат комбинации каналов Landsat.. 1-1987 год, 2-2006 год, 3-2009 год

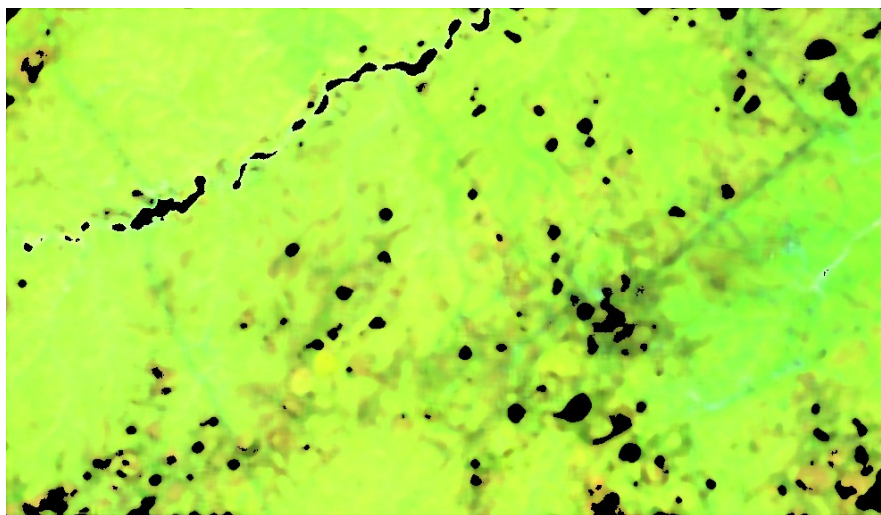


Рис. 2. Результат применения алгоритма K-means для снимков Landsat (1987 г., территория ЯНАО)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов С.И. Возможности использования данных дистанционного зондирования Земли в интересах предприятий нефтегазового комплекса// Земля из космоса. – 2015 – №4(20) – С.11-15
2. Шевырев С.Л., Карпов Г.М., Журавлев А.Е., Фатьянов И.И. Автоматизация проектирования магистральных нефтегазопроводов в условиях развития многолетнемерзлых пород (по материалам орбитальных съемок)// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S36. С. 244-250.
3. Global Land Cover Facility: Landsat Imagery [Электронный ресурс] URL: <http://glcf.umd.edu/data/landsat/> (дата обращения: 5.03.2016)

#### **МЕТОД АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ БОРТОВЫМ РЕТРАНСЛЯЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ СПУТНИКА СВЯЗИ**

Савенко И.И., Скирневский И.П., Мартынов Я.А.  
Научный руководитель: Цапко С.Г., доцент, к.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: [igsavenko@tpu.ru](mailto:igsavenko@tpu.ru)

#### **CONTROL PROCESS AUTOMATION METHOD OF COMMUNICATION SATELLITE ONBOARD COMMUNICATION EQUIPMENT**

Savenko I.I., Skirnevsky I.P., Martynov Y.A.  
Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Tsapko S.G.;  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: [igsavenko@tpu.ru](mailto:igsavenko@tpu.ru)

*Автоматизация любого сложного процесса всегда является актуальной задачей и требует детальной проработки, процесс управления бортовым ретрансляционным комплексом является не исключением. В данной статье рассматривается метод автоматизации процесса управления бортовым ретрансляционным комплексом. В основу данного метода положены: подход визуализации функциональной схемы, алгоритмы коммутации, основанные на теории графов, алгоритмы управления бортовыми антеннами, механизм генерации управляющего воздействия и система принятия решения. В статье кратко рассмотрены некоторые из вышеперечисленных положений. Основываясь на описанных положениях была разработана система автоматизированного управления бортовым ретрансляционным*

комплексом. Использование данной системы позволит существенно сократить нагрузку на оператора БРТК, а также увеличить срок службы бортового оборудования за счет его оптимального использования.

*Automation of any complex process is always crucial task and requires a detailed analysis control process of on board communication equipment is no exception. This paper concentrates on method for automating control process of onboard communication equipment. This method involves approach to visualization of functional scheme, switching algorithms based on graph theory, onboard antenna control algorithms, generation mechanism of controlling action and decision-making system. The article briefly discusses some of the above provisions. Based on described provisions has developed automated control system of on board communication equipment. Use of this system will significantly reduce the burden on the operator on board communication equipment and extend the serviceability of the onboard equipment by optimal use.*

В современном мире существуют различные средства связи, которые с каждым годом развиваются и совершенствуются. Одной из самых новых средств связи является спутниковая связь (СС). Процесс зарождения которой довольно интересный, так как её создание зависело от многих немаловажных факторов, которые своим появлением совершили научно-технологический прорыв. Речь конечно же идет о создании радиорелейной связи (РС), которая лежит в основе спутниковой, а также о становлении такой науки как космонавтики. Спутниковая связь - это естественное логическое развитие наземной радиорелейной связи, в основе СС лежит использование ретрансляционного оборудования на борту космического аппарата (КА). Бортовой ретрансляционный комплекс является ключевой подсистемой СР и, по факту, является полезной нагрузкой, определяющей его функциональное назначение. Из функциональных характеристик БРК вытекают в конечном итоге требования к служебным системам, входящим в состав СР. В состав БРТК входят две основные подсистемы - антенно-фидерная (АФУ) и ретранслятор (РТР). В приведенной на рисунке 1 схеме многоствольного БРК АФУ состоит из приемных антенн и передающих антенн [1, 2].

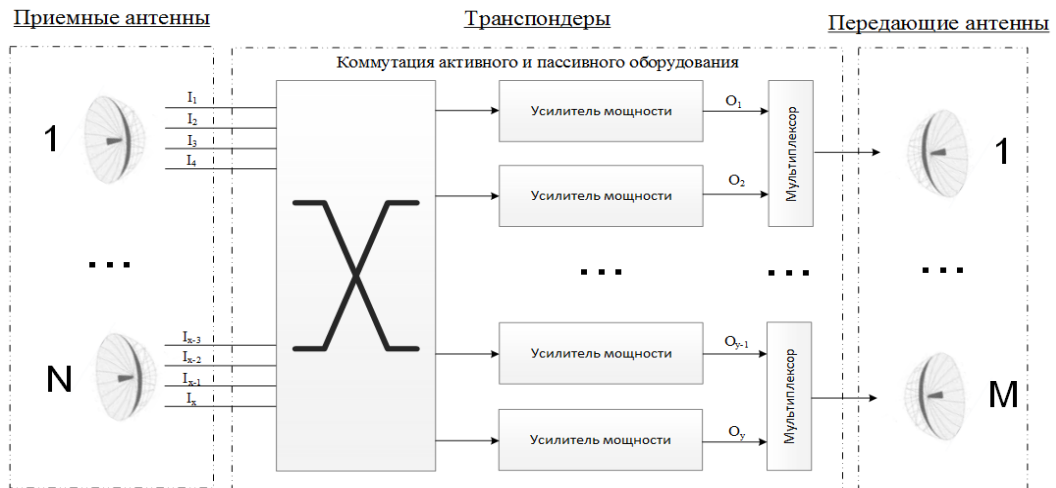


Рис. 1. Схема многоствольного бортового ретрансляционного комплекса

Общий принцип работы БРТК заключается в следующем: сигнал, принятый бортовыми антеннами, поступает в приемное устройство, в котором осуществляется усиление сигналов с малым уровнем собственных флуктуационных помех (шумов), преобразование частоты, далее сигналы поступают на входной мультиплексор (IMUX), в котором осуществляется выделение отдельных частотных стволов, принятых единым групповым сигналом приемным АФУ и приемным устройством РТР, далее сигналы каждого ствола усиливаются своим усилителем мощности (УМ), и складываются вместе особым

устройством – выходным мультиплексором (OMUX), после чего сигнал передается на землю при помощи передающей антенны [1].

Важнейшей характеристикой любого КА и в частности СР является надежность. Все радиоэлектронные устройства, входящие в состав БРТК, подвергаются тщательному анализу, на предмет различных факторов отказоустойчивости. Но вероятность отказа все равно остается, сравнение интенсивностей отказов показывает, что в большей степени отказам подвержены активные устройства: МШУ, приемные устройства, УМ ЛБВ [1]. Поэтому для такого рода устройств применяется аппаратное резервирование - установка дополнительных радиоэлектронных устройств, а также закладывается возможность их коммутации за счет использования коммутатора радиосигнала. Таким образом при реализации схемы резервирования бортового оборудования основным радиокомпонентом является СВЧ коммутатор радиосигнала (радиочастотный поворотный переключатель).

За счет использования коммутационных переключателей и резервного оборудования топологическая схема РТР значительно усложняется, делая схему менее читабельной. В процессе управления БРТК оператору необходимо постоянно контролировать телеметрическую информацию значительного числа бортовых устройств, входящих в состав БРТК. Управление устройствами и приборами осуществляется при помощи команд. Для управления современными многоствольными РТР с резервированием требуется значительное количество команд, пакетов командно-программной информации (представленные в двоичном виде команды и массивы для передачи информации на КА - КПИ) и телеметрических параметров [5].

Все действия, выполняемые при управлении, осуществляются оператором в ручном режиме. Оператор последовательно выдает команды согласно плану конфигурации и структурной топологической схеме РТР, контролируя телеметрические параметры, используя специальное программное обеспечение. Команды и ТМ-параметры описаны в технической документации на БРТК. В современных БРТК количество команд и телеметрических параметров может достигать до нескольких тысяч (в зависимости от конфигурации). Таким образом, задача реконфигурации является нетривиальной и требует автоматизированного решения. Для автоматизации данного процесса была разработана и включена в состав программного обеспечения центра управления полетами автоматизированная система управления БРТК [5].

В основе предлагаемого метода лежит использование автоматизированной системы управления БРТК (АСУ БРТК) реализующая:

- подход визуализации функциональной схемы БРТК (создание мнемосхемы), с отображением актуального состояния приборов и транспондеров в целом, на основании телеметрической информации с несколькими уровнями декомпозиции;
- алгоритмы коммутации: начальная конфигурация на борту (коммутация транспондеров при выключенном оборудовании оптимальным способом); реконфигурация активных транспондеров (реконфигурация БРТК с минимальным прерыванием активных транспондеров);
- алгоритмы управления бортовыми антеннами (расчет количества шагов двигателя системы поворота приемных и передающих антенн в задаче перенацеливания и раскрытия) [4];
- механизм генерации управляющего воздействия (УВ) на КА по результатам анализа состояния БРТК с возможностью контроля выполнения УВ и оценки времени выполнения на борту КА;
- элементы экспертной системы для разрешения проблемной ситуации при принятии оператором решения о том, вышло ли из строя бортовое оборудование или нет (анализируя поступающую с КА ТМИ и базу знаний);

- возможность протоколирования информации о состоянии БРТК и действий пользователя в различные интервалы времени для сбора статистических данных;

**Визуализация телеметрической информации с использованием мнемосхемы БРТК**

При управлении БРТК оператору важно знать в реальном времени актуальное состояние, в котором находится комплекс, структура которого всегда должна быть у него перед глазами. Отображение структуры БРТК реализовано в векторной форме с возможностью масштабирования с соблюдением требований предъявляемым к мнемосхемам (ГОСТ 21480-76). Применительно к функциональной схеме БРТК невозможно обеспечить выполнения всех требований стандарта, за счет сложной структуры и множества пересечений линий связи. Одной из ключевых возможностей мнемосхемы является интерактивность. Посредством манипулятора мыши оператор может изменять положение переключателей в зависимости от их типа и состояние приборов. Актуальное состояние схемы БРТК обеспечивается за счет анализа и визуализации поступающей с борта КА телеметрической информации.

**Алгоритмы конфигурации**

В системе реализовано представление схемы БРТК в виде ориентированного взвешенного графа, описанного многосвязным списком и применение модифицированных алгоритмов нахождения кратчайшего пути, которые бы учитывали ограничения, накладываемые состоянием БРТК. В основе любой задачи нахождения самого короткого пути на графе лежит задача минимизации суммы весов ребер, которые составляют путь [5].

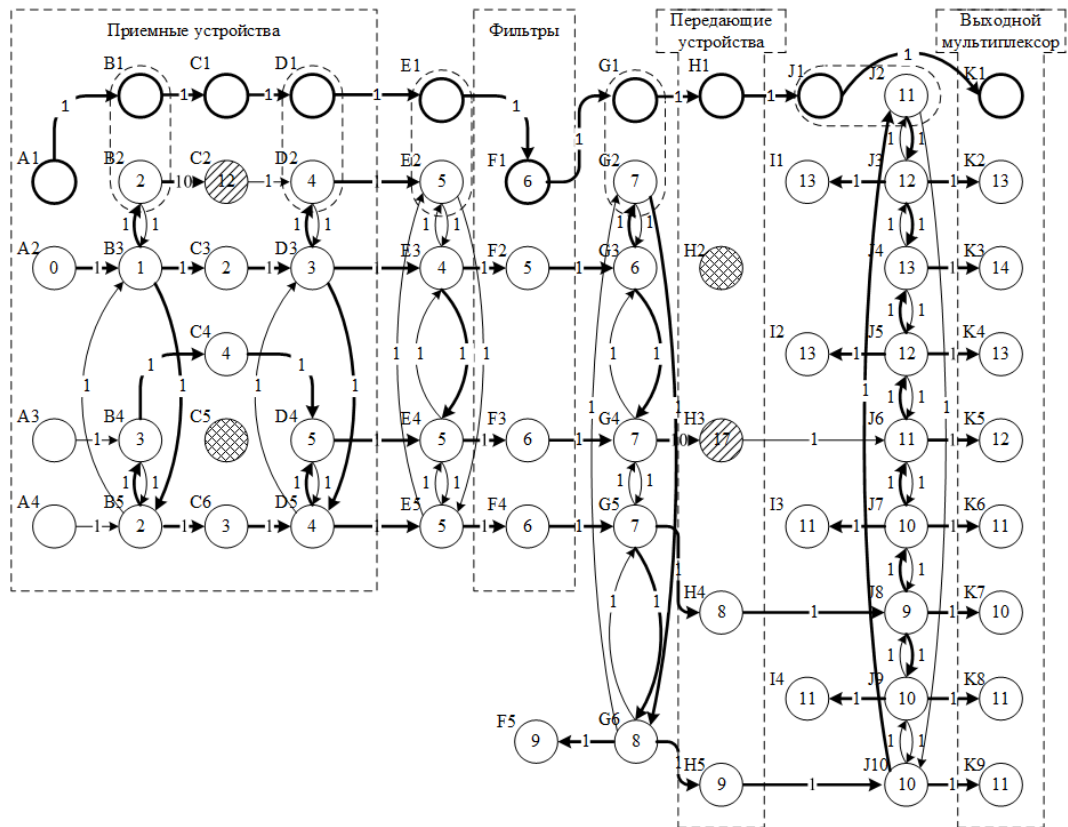


Рис. 2. Представление схемы БРТК в виде ориентированного взвешенного графа



### **Генерация управляющего воздействия на КА по результатам анализа состояния БРТК**

Одной из основных возможностей АСУ БРТК является механизм генерации управляющего воздействия (УВ) для программного обеспечения управления КА. УВ генерируется на основании двух состояний БРТК и входных параметров: схемы до изменений и схемы после внесения изменения согласно выше описанному алгоритму коммутации. В качестве формата для результата сравнения двух состояний был выбран формат JSON (Java Script Object Notation). В качестве основных критериев выбора является минимальный объем результирующего файла и наличие механизмов сериализации/диссериализации (дополнительных библиотек) практически в любом языке программирования. В структуре файла выделены три основных раздела: массив активных транспондеров, массив переключателей и устройств, сгруппированных по их типу.

### **Заключение**

Изучив процесс управления БРТК оператором была выявлена необходимость в автоматизации процесса управления БРТК. В статье описаны некоторые положения на которых основывается предлагаемый метод автоматизации. Все описанные подходы и алгоритмы были реализованы в АСУ БРТК для автоматизации процесса реконфигурации бортового ретранслятора спутника связи позволяет оператору наглядно получать информацию о текущем состоянии элементов бортовой аппаратуры и оперативно принимать решения по управлению ПН, что уменьшит время, затрачиваемое на реконфигурацию ПН.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. А.Г. Орлов, Н.Н. Севастьянов, Бортовой ретрансляционный комплекс (БРК) спутника связи. Принципы работы, построение, параметры / науч. ред. В.Н. Бранец. – Томск :Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. – 208 с
2. Спутниковые сети связи: Учеб. пособие / В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. — М.: «Альпина Паблишер», 2004. - 536 с: ил. ISBN 5-94599-099-X
3. Teresa M. Braun Satellite Communication and system, John Wiley & Sons, New York, A.B.D., 2012.
4. Савенко, Игорь Игоревич. Алгоритм построения оптимальной конфигурации транспондера бортового ретрансляционного комплекса спутника связи [Электронный ресурс] / И. И. Савенко, М. С. Суходоев; науч. рук. С. Г. Цапко // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 9-13 ноября 2015 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК) ; под ред. Т. Е. Мамоновой [и др.]. — 2016. — Т. 1. — [С. 146-147]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет.
5. Метод автоматизации процесса реконфигурации бортового ретранслятора спутника связи [Электронный ресурс] / И. И. Савенко [и др.] // Глобальный научный потенциал. — 2013. — № 11 (32). — [С. 94-98]. — Заглавие с экрана. — Доступ по договору с организацией-держателем ресурса. — Свободный доступ из сети Интернет.
6. Numerical Optimization Method of Spacecraft Antenna Retargeting Point Calculations [Electronic resource] / M. S. Sukhodoev [et al.] // Applied Mechanics and Materials : Scientific Journal. — 2015. — Vol. 770 : Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering. — [P. 566-571]. — Title screen.

**ЛИНЕЙНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ  
ПОСРЕДСТВОМ ВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ**

Стасевский В.И.

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: vis12@tpu.ru

**LINEAR MOVEMENT OF OBJECTS OF TOMOGRAPHIC  
CONTROL BY SCREW DRIVER**

Stasevsky V.I

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Kostyuchenko T.G.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: vis12@tpu.ru

*Статья "Линейное перемещение объектов томографического контроля посредством винтовой передачи" посвящена актуальной проблеме обеспечения правильного расположения объектов контроля в томографических комплексах. Для сканирования крупногабаритных объектов (массой до 200 кг) предлагается вариант перемещения объекта исследования с помощью шарико-винтовой передачи. Создана 3D-модель стола для сканирования крупных объектов, подобрана шарико-винтовая передача для перемещения объекта сканирования.*

*The article "Linear movement of objects of tomographic control by screw driver" is devoted to the actual problem of ensuring the correct location of objects in tomographic control complexes. For movement of large objects (weighing up to 200 kg) the variant is proposed by using the ballscrews driver to scan. The 3D model of the table for large objects scanning is created, the ball-screw gear for movement of scanning object is picked up.*

Томографические комплексы, разрабатываемые в Институте неразрушающего контроля ТПУ, используются для определения дефектов изделий разной массы и конфигурации, выполненных из различных материалов - от металлов до полимеров. Контроль качества продукции без разрушения готовых изделий и без остановки производственного процесса необходим в авиационной, космической, автомобильной и других отраслях промышленности.

При томографическом исследовании необходимо обеспечение правильного расположения объекта контроля относительно источника излучения и детектора-приемника, т.е. обеспечение линейного перемещения объекта исследования, регистрирующего детектора, источника излучения по осям X, Y и Z.

В статье [1] был предложен вариант обеспечения линейного перемещения регистрирующего детектора томографического комплекса. Перемещение осуществлялось с помощью модуля линейного перемещения СТМУ-2, обеспечивающего необходимый диапазон перемещения по осям X, Y для изделий массой до 40 кг.

При увеличении функциональности подобного томографического комплекса (введение новых компонентов) его масса существенно увеличилась (до 200 кг). Перемещение элементов томографического комплекса с использованием модуля линейного перемещения при такой массе нецелесообразно.

Наиболее подходящий вариант перемещения объекта массой 200 кг - шарико-винтовая передача (ШВП) с направляющими. Один из вариантов компоновки томографического комплекса с использованием шарико-винтовой передачи представлен на рисунке 1.

Грузоподъемность шарико-винтовых передач определяется весом перемещаемого объекта, регистрирующего детектора, источника излучения.

В томографических комплексах для сканирования крупногабаритных объектов (массой до 3 тонн) используются специальный стол, изготовленный из стальных труб квадратного сечения, по которому по

направляющим перемещается тележка с устанавливаемым на нее объектом исследования. На рисунке 2 представлена 3D модель такого стола с тележкой, на которую объект исследования помещается путем закрепления между дисками. Перемещение объекта исследования на тележке также целесообразно осуществлять с помощью шарико-винтовой передачи.

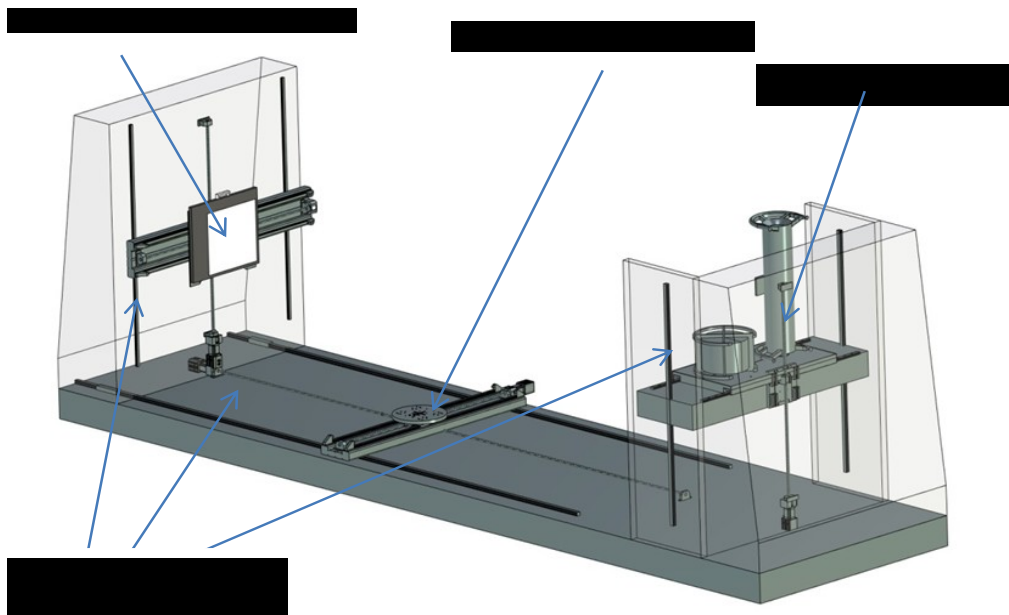


Рис. 1. 3D модель одного из вариантов томографического комплекса

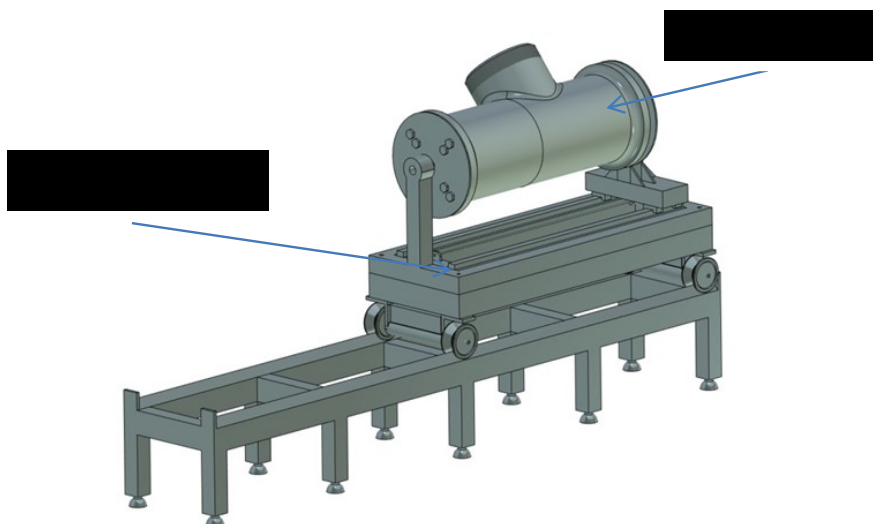


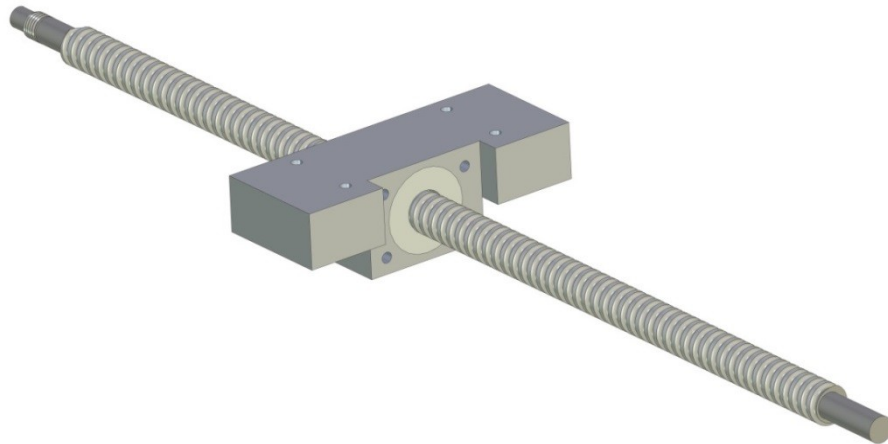
Рис. 2. 3D модель одного из вариантов стола для сканирования крупных объектов

На рынке предлагается большой выбор шарико-винтовых передач. Для решения поставленной задачи могут быть использованы шарико-винтовые передачи HIWIN компании Zetek (Россия) [2].

У ШВП коэффициента полезного действия может достигать 90% за счет наличия тел качения между гайкой и винтом. Необходимое усилие для вращения винта поэтому составляет одну треть в сравнении с трапецидальным винтом того же диаметра. Из-за обработанных поверхностей дорожек качения винтов

ШВП HIWIN уменьшает трение при контакте между шариками и дорожкой качения, тем самым повышается КПД передачи. Поэтому можно применять приводные двигатели с меньшей мощностью, что уменьшает энергозатраты.

На рисунке 3 представлена шарико-винтовая передача HIWIN [2], которая обеспечивает диапазон перемещения по осям X и Y с необходимой точностью.



*Рис. 3. Шарико-винтовая передача HIWIN*

Наиболее эффективное проектирование механических конструкций для обеспечения линейного перемещения объектов томографического контроля возможно только с использованием современных САД-систем с возможностями параметризации. Одна из таких систем - T-Flex CAD (Топ Системы, Россия). Система позволяет при наличии параметрической модели не только иметь множество вариантов конструкции, но и включать в модель расчет основных эксплуатационных характеристик разрабатываемой конструкции. Система T-Flex CAD имеет модуль T-Flex АНАЛИЗ, позволяющий проводить прочностной расчет конструкции методом конечных элементов на этапе проектирования.

Прочностной анализ разрабатываемых конструкций - следующий этап работы в разработке механических конструкций для обеспечения линейного перемещения объектов томографического контроля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Смолянский В.А., Стасевский В.И., Костюченко Т.Г. Обеспечение линейного перемещения регистрирующего детектора для настройки томографического комплекса // Автоматизированное проектирование в машиностроении: Материалы III международной заочной научно-практической конференции / НОЦ «МС» - Новокузнецк : Изд. Центр СибГИУ, 2015 - №3.-с. 17 - 20.
2. HIWIN Kompakt. Профильные рельсовые направляющие. Шарико-винтовые передачи. Линейные модули. ([http://www.giden.ru/data/PDF/Actuators/ball\\_screw-stock.pdf](http://www.giden.ru/data/PDF/Actuators/ball_screw-stock.pdf))

**АЛГОРИТМ ВЫБОРА АКТИВНОГО ПОДМНОЖЕСТВА УЗЛОВ В БЕСПРОВОДНОЙ  
СЕНСОРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ АГРЕГИРОВАНИЯ ПРЕДПОЧТЕНИЙ**

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

**ACTIVE NODE SELECTION ALGORITHM BASED ON PREFERENCE AGGREGATION  
IN WIRELESS SENSOR NETWORK**

Khudonogova L.I.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Muravyov S.V.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: likhud@tpu.ru

*Энергопотребление является одним из наиболее существенных ограничений в беспроводных сенсорных сетях. В целях сохранения энергии и продления срока эксплуатации в сети используется циклический режим работы, при котором радиомодуль узла находится то в активном, то в спящем режиме. В статье представлен алгоритм выбора активных узлов в каждом цикле опроса, основанный на агрегировании предпочтений. Алгоритм предназначен для определения оптимального подмножества активных узлов, которое позволит снизить энергетические затраты и сохранить требуемый уровень точности измерений.*

*Energy consumption is one of the biggest constraints in wireless sensor networks. In order to reduce consumption and prolong network lifetime, duty-cycling work mode is used. In this paper, an algorithm allowing to select active nodes in every cycle is introduced. The algorithm is based on preference aggregation and aims at finding the optimal node set that minimizes the energy consumption without sacrificing measurement accuracy.*

**Введение**

В настоящее время беспроводные сенсорные сети используются для сбора, обработки и передачи информации во многих областях жизнедеятельности, включая экологический и промышленный мониторинг. Одной из актуальных проблем для беспроводных сенсорных сетей является проблема энергосбережения. Вследствие ограниченных запасов энергии сенсорного узла, непрерывная работа узлов в активном режиме существенно уменьшает срок жизни сети. Снизить энергопотребление возможно за счет уменьшения числа активных узлов в кластере в каждом цикле опроса. Эффективная схема выбора такого подмножества предполагает нахождение компромисса между точностью и энергетическими затратами. Чем больше узлов находятся в активном режиме, тем выше точность получаемого при агрегировании значения измеряемой величины, однако тем больше энергии требуется для их работы. Прежде всего, необходимо определить, сколько узлов должны быть активны в кластере в каждом цикле и на основании каких критериев будут выбираться такие узлы. Для решения этой задачи предлагается использовать алгоритм выбора активного подмножества (АВАП) узлов в кластере, основанный на агрегировании предпочтений.

**Алгоритм выбора активного подмножества узлов**

АВАП разработан для использования в сети с кластерной топологией, где множество всех сенсорных узлов разделено на кластеры. Каждый кластер состоит из  $n$  узлов  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ , равномерно распределенных по некоторой площади. Каждый узел оснащен мультисенсором, измеряющим  $p$  параметров окружающей среды. Узел, выполняющий функции главы кластера (ГК), собирает данные с узлов в кластере и передает их на центральный узел (ЦУ). Узлы одного кластера измеряют одно и то же значение параметра, которое затем может быть обоснованно приписано всей исследуемой области. ЦУ хранит таблицу с местоположением всех узлов в сети. Все узлы в кластере находятся в пределах диапазона передачи  $R_i$  друг друга. Предполагается, что в сети используются однотипные узлы, для которых исходный запас энергии  $E_{in}$

одинаков. Узел обладает информацией о количестве оставшейся энергии  $E_{\text{res}}$  своего элемента питания, и значение  $E_{\text{res}}$  передается на ГК вместе с измерительной информацией от узла в каждом цикле опроса. АВАП запускается на центральном узле в начале каждого цикла и состоит из 4 основных стадий.

1. Выбор главы кластера.

В сетях с кластерной топологией часто возникает ситуация, когда ГК быстро выходит из строя вследствие разрядки элемента питания, поскольку в каждом цикле он затрачивает энергию на обмен сообщениями как с ЦУ, так и с узлами в кластере. Для снижения нагрузки на один узел при передаче сообщений предлагается применить схему динамического выбора ГК, в которой в каждом цикле функции ГК выполняет новый узел. Выбор ГК основывается на трех критериях: количество оставшейся энергии, расстояние до ЦУ, история активности узла. Затраты энергии на обмен сообщениями снижаются при уменьшении расстояния между ГК и ЦУ, т.к. энергопотребление при передаче прямо пропорционально расстоянию передачи. Запас энергии узла также играет важную роль при выборе, поскольку выполнение функций ГК сопряжено с дополнительным расходом энергии на передачу сообщений и вычислительные операции. Для того, чтобы обеспечить покрытие исследуемой области, основой для выбора ГК служит также история активности узла. Если узел был активен в предыдущем цикле, он становится менее предпочтительным кандидатом на роль ГК. Таким образом, ГК варьируется в зависимости от местоположения в кластере, предоставляя информацию обо всех зонах исследуемой области.

Выбор узла на роль ГК проводится с помощью процедуры *агрегирования предпочтений*. Пусть имеется  $m$  ранжирований на множестве  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  из  $n$  кандидатов (альтернатив). Набор отношений  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$  называется профилем предпочтения, где каждое ранжирование  $\lambda = \{a_1 > a_2 > \dots > a_s \sim \dots \sim a_n\}$  может включать  $>$ , строгое отношение предпочтения, и  $\sim$ , отношение эквивалентности. Для профиля предпочтения  $\Lambda$  формируется  $(n \times n)$  матрица профиля  $P = [p_{ij}]$  по формуле (1):

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^m \begin{pmatrix} 0 & \text{если } a_i^k > a_j^k \\ 1 & \text{если } a_i^k \sim a_j^k \\ 2 & \text{если } a_i^k < a_j^k \end{pmatrix}, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Отношение консенсуса (ранжирование, равноудаленное от всех  $m$  исходных ранжирований) находится с помощью правила Кемени [1]. Правило Кемени позволяет найти отношение консенсуса  $\beta$ , такое, что расстояние  $D(\beta, \Lambda)$  от ранжирования  $\beta$  до профиля  $\Lambda$  минимально:

$$\beta = \arg \min_{\lambda \in \Pi} D(\lambda, \Lambda) = \sum_{i < j} p_{ij}. \quad (2)$$

В формуле (2)  $D(\lambda, \Lambda)$  – расстояние между произвольным ранжированием  $\lambda$  и профилем  $\Lambda$ .

Для нахождения отношения консенсуса по правилу Кемени применяется рекурсивный алгоритм ветвей и границ. Однако использование правила Кемени может приводить к получению более чем одного оптимального решения (отношения консенсуса). В таком случае все полученные решения  $\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_{\text{kem}}}\}$  преобразуются в единственное итоговое отношение консенсуса  $\beta_{\text{fin}}$  в соответствии с правилами, описанными в [2].

Для выбора ГК составляется профиль предпочтений  $\Lambda$ , включающий в себя три ранжирования  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ , по расстоянию до ЦУ, энергии и истории активности соответственно. Альтернативами в ранжированиях являются узлы в кластере. Определяется итоговое отношение консенсуса, и если первое место в нем занимают несколько узлов, значит, любой из них может быть обоснованно выбран на роль ГК.

2. Выбор активных узлов в кластере.

Выбор узлов, участвующих в работе сети на каждом цикле, зависит от трех параметров: количество оставшейся энергии, расстояние до ГК и обобщенная точность мультисенсора узла. Часто вследствие экстремальных условий окружающей среды сенсоры выходят из строя, измеряя с большой погрешностью. Неточные данные, переданные на ЦУ, могут повлиять на процесс агрегирования и привести к получению неверного результата. Важно оценить обобщенную точность узла, характеризующую качество полученной информации, и исключить его из измерительного процесса в случае низкой надежности. Поскольку мультисенсор измеряет  $p$  величин, оценка проводится по каждой из них. Для оценивания обобщенной точности вводится функционал  $\Delta = \Phi(\Delta_k^h)$ , где  $\Delta_k^h$  – отклонение, рассчитанное для узла  $k$  по формуле:

$$\Delta_k^h = |X_c^h - X_k^h|, h = 1, \dots, p; k = 1, \dots, n, \quad (3)$$

где  $X_c^h$  – скорректированное значение величины  $h$ , полученное в результате агрегирования,  $X_k^h$  – значение величины  $h$ , измеренное  $k$ -ым узлом. Для каждого узла число отклонений  $\Delta$  равно количеству измеряемых величин  $p$ . Все узлы ранжируются по отклонениям, и в каждой паре узлов узел с меньшим значением  $\Delta_k^h$  является более предпочтительным, т.к. имеет большую точность. Точность сенсора, измеряющего величину, для которой максимальная допустимая погрешность мала, более критична, т.к. такой сенсор должен поддерживать требуемый уровень точности. Поэтому величина, для которой допускается наименьшая погрешность, имеет наибольшую ценность. Чтобы учесть этот фактор, каждой величине присваивается число баллов в зависимости от ее ценности: наиболее ценная получает  $p$  баллов, следующая по ценности –  $p-1$  баллов, и т.д., и число ранжирований величины равно числу присвоенных ей баллов.

Действуя аналогично алгоритму для выбора ГК, описанному выше, формируем ранжирования по расстоянию до ГК и количеству оставшейся энергии, добавляем к ним третье ранжирование по обобщенной точности и находим итоговое отношение консенсуса. Определяется подмножество активных узлов  $S_a = \{s_1, s_2, \dots, s_g\}$ , где  $g$  – оптимальное число активных узлов в кластере. Поскольку назначенный на предыдущей стадии ГК также участвует в измерительном процессе, в получившемся отношении первые  $g-1$  узлов становятся элементами подмножества  $S_a$ .

3. Активация узлов.

ЦУ рассылает выбранным ГК сообщение об активации, а ГК после активации передают такое же сообщение узлам в своем кластере, входящим в активное подмножество  $S_a$ . Узлы, не входящие в подмножество, остаются в спящем режиме. Активированные узлы собирают измерительную информацию и передают ее ГК вместе с информацией об оставшейся энергии. ГК, в свою очередь, передает набор данных от всех  $g$  узлов на ЦУ. По достижении данными ЦУ узлы подмножества  $S_a$  переходят в спящий режим.

4. Расчет скорректированных значений.

После получения измерительной информации от ГК, на ЦУ запускается алгоритм, основанный на интервальном голосовании в форме агрегирования предпочтений, описанный в [3], для расчета скорректированного значения  $X_c^h$  по всем  $p$  измеряемым величинам. Данные значения передаются в следующий цикл для оценки обобщенной точности мультисенсоров узлов.

**Заключение**

Алгоритм выбора активного подмножества, основанный на агрегировании предпочтений, направлен на снижение энергопотребления в беспроводной сенсорной сети посредством уменьшения числа узлов, активных в каждом цикле опроса. Критериями выбора узлов являются расстояние до ГК и ЦУ, количество

оставшейся энергии узла и обобщенная точность мультисенсора. Дополнительные исследования требуются в дальнейшем для определения оптимального числа активных узлов в кластере.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kemeny J.G., Snell J.L. Mathematical models in the social sciences. – Ginn, New York, 1962. – 145 p.
2. Muravyov S.V. Dealing with chaotic results of Kemeny ranking determination // Measurement. – 2014. –Vol. 51. – P. 328–334.
3. Muravyov S.V., Khudonogova L.I. Multisensor accuracy enhancement on the base of interval voting in form of preference aggregation in WSN for ecological monitoring //Proceedings of the IEEE 7th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems. – Brno, Czech Republic, 2015. – P. 293-297.

#### ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ С ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ

Черватюк В.Д., Коблов Н.Н.  
Научный руководитель: Бориков В.Н., профессор, д.т.н.  
АО “Научно-производственный центр “Полюс”  
Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 “в”, 634050  
E-mail: sveto-gor@yandex.ru

#### THE ORGANIZATION OF WORKS OF DIVISIONS OF THE ENTERPRISE WITH ELECTRONIC TECHNICAL DOCUMENTATION

Chervatyuk V.D., Koblov N.N.  
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Borikov V.N.  
“Scientific & Industrial Centre “Polus” JSC  
Russia, Tomsk, Kirova str., 56 “v”, 634050  
E-mail: sveto-gor@yandex.ru

*Отмечена важность технической документации – интеллектуальной собственности предприятия, от эффективного управления которой зависит слаженная деятельность всех его служб. Рассмотрен рынок программного обеспечения - систем организации электронного архива технической документации. Подробно проанализирована система класса PDM – АСУ ИДиП, разработки АО “НПЦ “Полюс”. Обращено внимание на основные задачи, решение которых позволит перейти к безбумажной технологии проектирования изделий. Показано, как в АСУ ИДиП решены основные задачи перехода к работе с электронной технической документацией. Предложен механизм построения единого информационного пространства целой отрасли.*

*Importance of engineering specifications - enterprise intellectual property on which efficient control harmonious activity of all its services depends is noted. The software market - systems of the organisation of electronic archive of engineering specifications is considered. The system of class PDM - ASU IDiP, workings out of “Scientific & Industrial Centre “Polus” JSC is in detail analyzed. The attention to the primary goals which decision will allow to pass to paperless technology of designing of products is paid. It is shown, how in MANAGEMENT information system IDiP the primary goals of transition to work with electronic engineering specifications are solved. The mechanism of construction of a uniform information field of the whole branch is offered.*

Большинство современных российских производств унаследовало с XX века принципы проектирования и обработки технической документации, когда практически все потоки информации, как между подразделениями самих предприятий, так и при организации работ с внешними партнерами выполняются в бумажном виде. Основные недостатки такого подхода — низкая скорость разработки и передачи документации, значительный рост объемов документации по мере усложнения изделий [1] и, как следствие, спад эффективности инженерной деятельности (рис. 1).





Рис. 2. Зависимость эффективности инженерной деятельности от объема бумажной документации

На рынке программного обеспечения сегодня существует несколько классов IT-систем, которые могут быть использованы для построения на предприятии архива электронной технической документации:

- TDM – системы управления технической документацией;
- DMS – системы управления документами;
- PDM – система управления данными об изделии;
- CMS – системы управления содержимым.

Наличие такого разнообразия классов систем, не говоря уже о количестве программных продуктов в каждом из них, свидетельствует о высокой сложности задачи разработки и внедрения системы построения электронного архива.

В НПЦ «Полюс» в соответствии с концепцией информатизации корпорации Роскосмос [2] а также политикой предприятия в области повышения качества на всех этапах жизненного цикла изделий разработана АСУ ИДиП - автоматизированная система управления инженерными данными и производством [3]. АСУ ИДиП – система класса PDM. Она предназначена для создания на предприятии единого информационного пространства (ЕИП) с целью разработки, хранения, согласования, внесения изменений, обмена электронной технической документацией, ведения электронного состава изделия.

В АСУ ИДиП для организации архива электронной документации и перехода к действительно безбумажной технологии решены следующие основополагающие задачи:

- для каждого документа заводиться электронная карточка, содержащая в себе сведения обо всех его изменениях, дате занесения в систему, авторе и состоянии изменения (рис. 2);

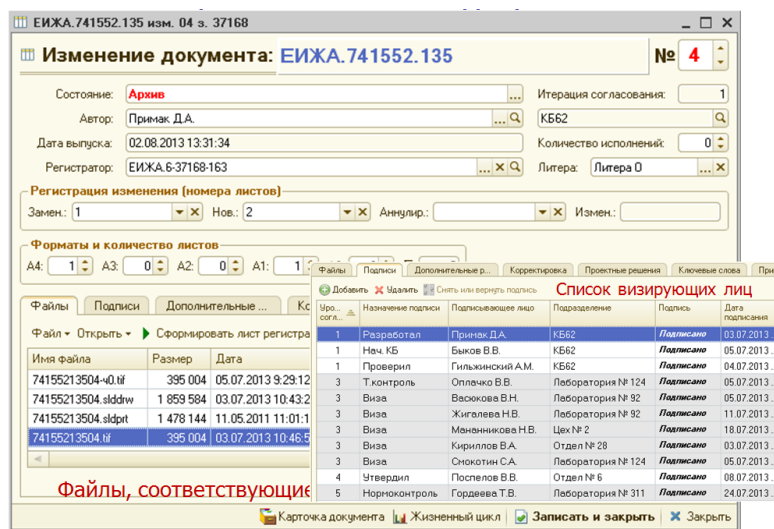


Рис. 3. Электронная карточка изменения документа

- формируются автоматически электронные альбомы технической документации (по спецификациям);
- разработан и внедрен механизм, позволяющий печатать подлинники документов в подразделениях предприятия непосредственно на рабочих местах сотрудников, не дожидаясь получения рассылки бумажного документа из архива;
- вместо рассылки по подразделениям бумажных документов выполняется информирование пользователей [4] о выходе новых версий ранее распечатанных ими документов (рис. 3);

Документ	Распечатано версия	Пользователь	Дата Печати	В архиве версия
ЕИЖА.421231.006 ВП	00	Чекрыгин С.С. Зам.Админ.	05.06.2014 9:56:04	01
ЕИЖА.421231.006 ВП	00	Чекрыгин С.С. Зам.Админ.	05.06.2014 9:57:37	01
ЕИЖА.654213.006 ИМ	04	Чекрыгин С.С. Зам.Админ.	11.06.2014 13:35:54	05
ЕИЖА.654213.006 ИМ	04	Чекрыгин С.С. Зам.Админ.	11.06.2014 13:38:11	05
ЕИЖА.301112.109 СБ	08	Чекрыгин С.С. Зам.Админ.	05.06.2014 9:24:36	09
ЕИЖА.758721.159	00	Чекрыгин С.С. Зам.Админ.	25.06.2014 8:24:27	01
ЕИЖА.741515.047	07	Чекрыгин С.С. Зам.Админ.	09.06.2014 10:19:35	09
ЕИЖА.436737.027 ТЗК	00	Чекрыгин С.С. Зам.Админ.	10.07.2014 8:14:41	01
ЕИЖА.436431.031	01	Коблов Н.Н.	27.08.2014 14:09:48	02
ЕИЖА.436437.068 ЭЗ	02	Коблов Н.Н.	26.08.2014 12:00:05	03
ЕИЖА.436434.052 Д9	01	Чекрыгин С.С. Зам.Админ.	08.07.2014 9:24:21	02
ЕИЖА.468332.573 ПЭЗ	01	Чекрыгин С.С. Зам.Админ.	10.06.2014 13:13:04	02
ЕИЖА.435315.004 СБ	02	Коблов Н.Н.	08.09.2014 9:39:10	03

Рис. 4. Список измененных документов

– разработан механизм, позволяющий выполнять в электронном виде обмен технической документацией между предприятиями [5]. Предприятие – держатель подлинника разрабатывает и передает комплект технической документации в электронном виде предприятию-изготовителю. Реализована возможность шифровать документы перед их отправкой. В состав передаваемых файлов контейнера документа входят: файл-подлинник, удостоверяющий лист, файл реквизитов документа (формат XML), файл-сравнение с предыдущим изменением. Предприятие-изготовитель, при необходимости, в таком же формате отправляет обратно предварительные извещения. При выпуске на предприятии – держателе подлинника новых извещений об изменениях системой делаются отметки о «погашении» предварительных извещений предприятие-изготовителя.

Разработанная в АО «НПЦ «Полус» АСУ ИДиП на всех этапах жизненного цикла изделия позволяет создать архив электронных подлинников технических документов. И как следствие этого, сокращены сроки разработки изделий и улучшено их качество. Кроме того появилась возможность реорганизовать отдел технической документации, сократив расходы на его содержание. Заложенные в АСУ ИДиП идеи и решения позволят развивать данный проект на приборостроительных и машиностроительных предприятиях до уровня отрасли.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черепашков А.А., Носов Н.В. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении : учеб. для студ. высш. учеб. заведений. Волгоград : Издательский дом «Ин-Фолио», 2009.

2. Концепция информатизации Роскосмоса, утверждена 01.03.2010 / Федеральное космическое агентство. URL: <http://www.federspace.ru/main.php?id=13&did=928&print=1> (дата обращения: 01.09.2014).
3. Коблов Н.Н. Разработка и внедрение автоматизированной системы управления инженерными данными // Электронные и электромеханические системы и устройства : сб. науч. тр. Томск : Изд-во НТЛ, 2011. С. 436–443.
4. Коблов Н.Н., Черватюк В.Д. Использование GSM-связи для диагностики, контроля и оперативного получения данных в системе электронного документооборота в ОАО «НПЦ «Полус» // Контроль. Диагностика. 2012. № 13. С. 36–39.
5. Коблов Н.Н., Черватюк В.Д. Перспективы взаимодействия предприятий РОСКОСМОСА при работе с электронной технической документацией // Вестник СибГАУ. 2015. Т. 16, № 1. С. 52–61.

### **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЙ**

Шангина Е.А., Шангина Н.А.

Научный руководитель: Зеленский П.С., доцент, к.э.н.  
Красноярский государственный педагогический университет имени В.П. Астафьева  
Россия, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89  
E-mail: [kna\\_2012@inbox.com](mailto:kna_2012@inbox.com)

### **APPLICATION OF TECHNOLOGY PROJECT MANAGEMENT SYSTEMS PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT**

Shangina E.A., Shangina N.A.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Zelensky P.S.  
Krasnoyarsk State University named after V.P. Astafieva  
Russia, Krasnoyarsk, Ada Lebedeva str., 89  
E-mail: [kna\\_2012@inbox.com](mailto:kna_2012@inbox.com)

*Промышленные компании (предприятия) заинтересованы в улучшении своих процессов разработки и повышении уровня их унификации и стандартизации. Существующие потребности могут считаться основным стимулом улучшения операционной деятельности предприятия, внутренней и внешней совместной работы, а также обеспечения необходимого качества продукции. Вопросы управления бизнес-процессами остро встают на предприятии, когда на определенном этапе ее развития сбой во взаимодействии подразделений, менеджеров, сотрудников начинают носить регулярный характер, при этом оказывая существенное влияние на эффективность деятельности самой организации. Рассмотрен вопрос о совместной работе системы управления жизненным циклом изделия и системы управления проектами, на примерах систем ENOVIA Smarteam, ENOVIA V6 и MS Project. Рассмотрены некоторые аспекты применения подобного комплекса систем в условиях отечественных наукоемких предприятий.*

*All industrial firms (enterprises) are interested in improving their development and increasing their level of unification and standardization. Existing needs can be considered as a major stimulus to improve the company's operating activity, internal and external collaboration, and ensuring the required product quality. The management of business processes acute in the enterprise, when at a certain stage of its development failures in the interaction of departments, managers, employees begin to be regular, thus providing a significant impact on the efficiency of the organization. Consider the joint operation of the control system product lifecycle and the project management system, examples of systems ENOVIA Smarteam, ENOVIA V6, and MS Project. Some aspects of the use of such complex systems in terms of domestic high-tech enterprises.*

В настоящее время в России значительное внимание уделяется развитию космических средств спутниковой связи и ретрансляции информации.

В процессе создания находятся перспективные космические системы спутниковой связи и ретрансляции с космическими аппаратами, которые отличаются от аналогов более сложной структурой,

ужесточенными требованиями к показателям эффективности и надежности, а также стоимостью разработки.

Перед предприятиями космической отрасли стоит задача в сжатые сроки с ограниченными финансовыми и временными возможностями изготовить сложное техническое изделие – космический аппарат. Космический аппарат – сложная электронная система, которая, находясь в космосе, должна выполнять возложенные на неё задачи в течение 10-15 лет.

Для достижения и повышения уровня развития космической техники, в отрасль направлены большие объемы инвестиций из Федеральных целевых программ и с помощью зарубежных заказчиков.

Вопросы организации работы в компании без сбоев во взаимодействии смежных подразделений является одной из приоритетных задач при разработке и изготовлении космического аппарата.

В основе управления бизнес-процессами лежат работы по их описанию, оптимизации и регламентации, и такого рода проекты затрагивают интересы широкого круга сотрудников, требования которых существенно различаются, в зависимости от их роли в компании. Топ-менеджеры заинтересованы в повышении управляемости, гарантированности управленческих воздействий, прозрачности и т.д. (понимая под этим индикаторы, по которым можно определять, насколько успешна деятельность компании, и инструменты воздействия на персонал). Менеджеры среднего звена хотят, прежде всего, понимать границы своей деятельности и результаты, за которые они отвечают. Наконец, исполнители хотят иметь понятные, четкие правила своей работы. При реализации проекта необходимо учитывать интересы всех этих групп сотрудников. Успешное решение задачи управления требованиями на этапе концептуальной разработки изделия является одним из ключевых факторов, определяющих результаты данного этапа жизненного цикла, как и результаты разработки изделия вообще.

В виду сложности выполнения проектов – созданию космических аппаратов, явно видно, что использование технологий управления проектами повысит экономический эффект и снизит затраты времени и ресурсов на планирование. Тем не менее, это влечет за собой серьезные требования по использованию и внедрению системы управления проектами, так как приходится управлять одновременно большим количеством задач одновременно из нескольких проектов. На одном предприятии, как правило, над проектами работают одни и те же ресурсы, поэтому целесообразнее применять систему управления портфелями.

Одной из особенностей проектов в космической отрасли является сложный цикл согласования документов. Его реализация средствами традиционного электронного документооборота не всегда приводит к сокращению срока выпуска документов. В этой связи видится целесообразным переход к пакетному согласованию технических решений, по методологии «ворот качества», который может быть реализован только в рамках методологии управления проектами [4].

Жизненный цикл космического аппарата представлен на рисунке 1.

Современные системы управления жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management - PLM) охватывают большую часть бизнес-процессов разработки, подготовки к производству, производства и эксплуатации изделия. В настоящее время имеется тенденция расширения сферы применения подобных систем и в область планирования ресурсов предприятия.

Разработка изделия и постановка его на производство обладают всеми признаками проекта. В этой связи, для успешной работы PLM системы необходимо взаимодействие данных и процессов системы с подсистемой управления проектами.

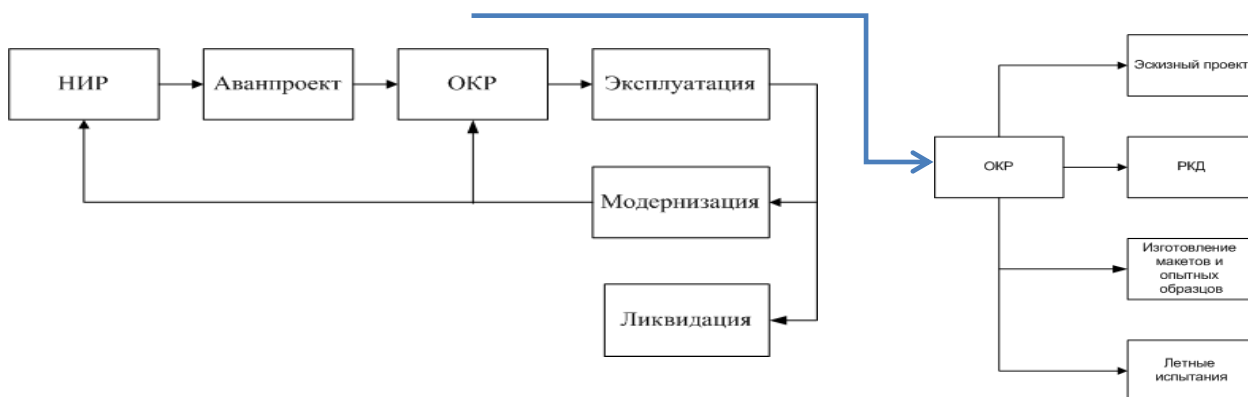


Рис. 1. Жизненный цикл космического аппарата

В настоящее время, нашли практическое применение два подхода к созданию подсистемы управления проектами: интеграция с внешней системой управления проектами и наличие встроенной подсистемы.

В частности, возможно использование внешней системы управления проектами MS Project совместно с PLM системой ENOVIA Smarteam. В данном решении реализовано хранение информации о задачах, ресурсах и их загрузке в среде Smarteam. Система управления проектами используется в качестве клиента базы данных системы управления жизненным циклом изделия. Структура декомпозиции работ содержится в PLM системе в виде древовидной структуры специальных объектов. Поскольку в БД системы Smarteam хранится информация обо всех проектах предприятия, и о загрузке всех его ресурсов, такое решение позволяет управлять портфелями проектов, и делает ненужным применение серверной части системы управления проектами.

Одним из основных преимуществ совместного использования PLM системы и системы управления проектами является возможность эффективной реализации процессов доведения работ до ресурсов (пользователей системы) и сбора актуальной информации о ходе выполнения работ. При этом для конечного пользователя системы отсутствует необходимость непосредственной работы с системой управления проектами.

На сегодняшний день роль PLM-систем в организации планирования, проектирования и управления ЖЦИ становится очевидной. Возрастающая сложность изделий и процессов проектирования, глобализация, ставят задачи повышения эффективности планирования процессов разработки технической документации, проектирования и изготовления продуктов. PLM-системы позволяют уменьшить стоимость продукции, ускорить процесс проектирования, вовлечь в работу цепочки поставщиков и подрядчиков уже на раннем этапе проектирования.

Одним из ключевых факторов внедрения PLM является эффективное управление информацией об изделии, а также организация управления процессами изменения и взаимодействия. ENOVIA Smarteam представляет собой наиболее оптимизированный набор продуктов, нацеленный на решение именно этих задач. Ключевыми особенностями решений ENOVIA Smarteam являются превосходное взаимодействие между ними и CAD-системами, интегрированная среда моделирования и управления информацией (в том числе, средства управления спецификациями и документооборотом), а также возможность ввода в эксплуатацию в короткие сроки.

В решении на базе ENOVIA Smarteam для раздачи работ ресурсам применяется механизм,

основанный на поиске объектов, по заданным критериям. Существует принципиальная возможность связать изменение в системе информации о реализации работ с прохождением процессов в подсистеме документооборота. При этом возникает вопрос о разделении функций между подсистемой технического документооборота и подсистемой управления проектами, и более широко: о ролях и взаимодействии процессного и проектного подходов на предприятии. У авторов пока отсутствует опыт решения задач подобного рода.

Наиболее современные PLM системы, в частности ENOVIAV6, имеют встроенные подсистемы управления портфелями проектов. Интересной особенностью является ориентация на модель бизнес-процессов «Ворота качества», которая является общепринятой в мировой промышленности. Данная модель позволяет преодолеть ряд недостатков, свойственных процессному подходу к организации разработки изделия. Отечественные стандарты не противоречат этой модели, но в то же время, ее преимущества не до конца осознаны и реализованы.

В мировой практике общепринятыми являются следующие стадии процесса управления требованиями, в рамках процесса управления изделием [1]:

- Идентификация запросов потребителей (выяснение требований к изделию, важных для заказчика (потребителя)) Производится, как правило, путем опроса потребителей. Результатом данной стадии является иерархический список требований с весовыми коэффициентами.

- Создание набора требований к изделию. Целью данной стадии является преобразование списка требований в список технических характеристик изделия.

- Анализ продукции конкурентов. На этом этапе формируется матрица характеристик изделий конкурентов, с учетом структуры требований, сформированной в предыдущих шагах.

- Разработка целевых технических требований, с учетом матрицы характеристик. На дальнейших этапах разработки и тестирование изделия за основу берутся целевые технические требования.

Таким образом, с точки зрения системы управления жизненным циклом изделия, требования к изделию являются иерархической структурой объектов, каждый из которых обладает набором атрибутов и ссылок на документы, а также, собственным жизненным циклом.

Доступ к данной структуре данных необходим на всех этапах жизненного цикла изделия.

Очевидно, что структура требований является частным случаем структуры изделия, сформированным на этапе концептуального проектирования. На основе структуры требований формируются структура функций изделия, логическая структура систем изделия, и, наконец, конструкторская и технологическая структуры изделия.

Таким образом, каждому этапу жизненного цикла изделия соответствует собственная иерархическая структура данных. Важным требованием к этой структуре является прослеживаемость – то есть наличие горизонтальных связей между иерархическими структурами, позволяющих проанализировать связи между требованиями, функциями и конкретными деталями изделия.

Вопрос о внедрении в деятельность современных отечественных предприятий комплекса PLM-СУП имеет высокую актуальность, поскольку его решение позволит значительно повысить управляемость предприятия, и, как следствие значительно уменьшить сроки разработки и постановки на производство новых изделий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger Product Design and Development. /International Edition: Irwin McGraw-Hill,

2000.

2. Д. Крысенков. *RFLP* – современный подход к проектированию высокотехнологичных продуктов / CAD/CAM/CAE Observer #5 (57) / 2010.
3. Зильбербург Л.И. Молочник В.И. Яблочников Е.И. Информационные технологии в проектировании и производстве. – СПб: Политехника, 2008.
4. Управление жизненным циклом изделия с помощью ENOVIA V6 Дмитрий Прилуцкий, CAD/cam/cae Observer #1 (53) / 2010.

**МОНИТОРИНГ ПРОЯВЛЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА ПО ДАННЫМ ОРБИТАЛЬНЫХ СЪЕМОК**

Шевырёва М.Ж., Шевырёв С.Л.

Научный руководитель: Шевырёв С.Л. к.г.-м.н., доцент  
Дальневосточный федеральный университет, Инженерная школа  
Россия, г. Владивосток, ул. Суханова 8, 690950  
E-mail: xmxmj@mail.ru

**MONITORING OF HYDROCARBON ACCUMULATIONS OF TATAR STRAIT'S SEDIMENTARY BASINS BY ORBITAL IMAGERY**

Shevireva M. Zh., Shevirev S.L.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Shevirev S.L.  
Far Easters Federal University, Engineering school  
Russia, Vladivostok, Sukhanova St., 8, 690950  
E-mail: xmxmj@mail.ru

*Рассматриваются зоны осадочных бассейнов Татарского пролива Японского моря, перспективные на обнаружение промышленных скоплений углеводородного сырья. Впадина Татарского пролива характеризуется сложным геологическим строением. Прогноз и оценка нефтегазоносности возможны комплексным анализом цифровых батиметрических моделей, синтезированных спутниковых продуктов, спектрональных изображений, а также сейсмических данных и полевых исследований. В качестве наиболее перспективной нефтегазоносной структуры, выделяется Исикари-Западно-Сахалинский осадочный бассейн, характеризующийся выраженными зонами антиклинальной складчатости и разрывными дислокациями. Изучение спутниковых материалов части Татарского пролива, прилегающей к южной оконечности острова Сахалин, позволило идентифицировать современный тектонический паттерн территории, установить распределение кольцевых и линейных структур, локальных депрессий и поднятий. Применение спутникового индекса САИ (корреляционный альгологический индекс) на участке исследования позволило установить корреляцию между развитием биосообществ и притоком биогенного материала из недр.*

*Areas of sedimentary basins of the Tatar Strait of the Sea of Japan are promising to detection of commercial accumulations of hydrocarbons. The depression of the Tatar Strait is characterized by a complex geological structure. Forecast and evaluation of prospective oil and gas potential can be performed by complex analysis of digital bathymetric models, the synthesized products of satellite, multispectral images, seismic data and field studies. Ishikari-West Sakhalin sedimentary basin which is characterized by distinct zones of anticlinal folding and disjunctive dislocations can be divided as the most perspective oil and gas structure. Satellite data analysis of the of the Tatar Strait, adjacent to the southern tip of Sakhalin island, allowed us to identify recent tectonic pattern of the area, to establish the distribution of ring and linear structures, local depressions and elevations. The application of satellite index, CAI (algological correlation index) on the section of the survey allowed establishing a correlation between the development of biocenosis and 0the inflow of biogenic material from the interiors.*

Развитие нефтегазовой промышленности Дальнего Востока России испытывает потребность в наращивании минерально-сырьевой базы углеводородного сырья. В этой связи пристальное внимание геологоразведочных организаций приковывают зоны сложного геологического и тектонического строения. Оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов шельфа возможна путем комплексного анализа

цифровых батиметрических моделей, синтезированных спутниковых продуктов (chlор\_a и sst систем Aqua и Terra), спутниковых спектральных индексов и их сопоставлением с сейсмическими данными, результатами исследований теплового потока и аномалиями магнитного и гравитационного полей.

На картах сейсмического районирования Дальнего Востока России акватория Татарского пролива отмечена сейсмоактивными зонами [1], здесь средне и глубокофокусные землетрясения наблюдаются на территории осадочных бассейнов, которые потенциально нефтегазоносны. Локализация скоплений углеводородов обусловлена спецификой геологического строения. Татарский пролив включает три осадочных бассейна (ОБ): в северной части располагается Северо-Татарский, в южной - Южно-Татарский, в западной части - Исикари-Западно-Сахалинский бассейны [2].

Активные сейсмические толчки могут воздействовать на нефтегазоносные толщи, провоцируя эмиссию углеводородов, которая фиксируется в виде контрастов теплового поля (связано с адиабатическими эффектами) и развитием планктонных биосообществ [3].

Осадочные бассейны пролива образовались в обстановках растяжения земной коры и представлены многоступенчатыми взбросами, сформированными в обстановке косоугольной конвергенции плит, образованием вулканических дуг, многократного внутридугового спрединга и рифтинга, с накоплением толщ турбидитовых осадков. Северо-Татарский и Южно-Татарский ОБ имеют рифтогенный генезис (возраст конец эоцена – начало олигоцена). Бассейны претерпевали несколько фаз тектоно-магматической активности и синхронного прогибания в эпохах позднего эоцена - олигоцена, раннего - среднего миоцена, позднего миоцена - раннего плиоцена.

Генезис углеводородных скоплений Татарского пролива и Сахалина может быть рассмотрен с позиций биогенной и абиогенной теорий [4, 5].

Структурно-тектоническое районирование Татарского пролива Японского моря отражено в сложной гравитационно-батиметрической модели, отраженной в данных спутников Envisat и Jason [6]. Наиболее выражены структурные элементы 2-го, 3-го, 4 порядков, структуры 2 -го порядка характеризуют прогибы, крупные вне - и межбассейновые поднятия, разделяющие и обрамляющие границы бассейнов. Структуры 3-го порядка отражают структурные неоднородности региона - это синклинальные складки, зоны, грабены и вулканотектонические депрессии, разделяющие и обрамляющие их внутривнутрибассейновые поднятия. Наиболее важными структурами в отношении накопления залежей углеводородного сырья, являются структурные формы 3-го порядка выраженные в антиклинальных зонах складчато-разрывных дислокаций. Структуры 4-го порядка характеризуют локальные антиклинали кон- и пост седиментационного генезиса и линейные сквозные тела.

Исикари-Западно-Сахалинский бассейн в большей степени имеет выраженность структурных форм 3-го порядка. На юге Татарского пролива осадочный бассейн располагается в шельфовой зоне.

Вдоль бассейна протягиваются складчато-разрывные структуры (Холмско - Шебушинская) и Кузнецовская антиклинальная зона, маркирующие Западно-Сахалинский разлом. Главными структурами элементами бассейна являются Монеронский, Холмский, Ясноморский прогибы шельфовой территории, разделенные между собой антиклинальными структурами. На спутниковых цифровых моделях рельефа они выражены в виде региональных линеаментных зон.

Поднятие фундамента Татарского пролива отчетливо выражено в региональных гравитационных максимумах. Контрастные аномалии магнитного поля характерны для Северо-Татарского и Южно - Татарского бассейнов, главным образом это связано с вулканотектоническими поднятиями. К тому же в осадочных бассейнах установлены как поднятия, так и отрицательны морфоструктуры грабенообразной



направленности, впадины, характеризующиеся отрицательным полем силы тяжести и резко пониженными значениями положительными магнитного поля, с локальными отрицательными аномалиями в осевых частях структур [7].

Изучение части Татарского пролива, прилегающей с южной оконечности острова Сахалин, позволило идентифицировать современный тектонический паттерн территории, распределение кольцевых и линейных структур, локальных депрессий и поднятий. Также на участке исследования применялся спутниковый индекс САИ – корреляционный альгологический индекс, рассчитанный как коэффициент корреляции множества замеров chl<sub>og</sub>\_a (концентрация хлорофилла а) и температуры поверхности моря sst. Использовались 200 виртуальных станций наблюдения, рассчитывались параметры САИ для акватории Южно-Сахалинской нефтегазовой провинции с 2007 по 2009 года. Была установлена корреляция развития биосообществ с притоком биогенного материала из недр бассейнов седиментации. В пределах залива Терпения, являющимся малоактивным на неотектоническом этапе, по виртуальным станциям наблюдения, точками с фиксируемыми координатами на космическом изображении и их продуктов, в мористой части залива установлен положительный САИ. Залив Анива, напротив, характеризуется нулевым и отрицательным САИ. Дно залива Анива является сейсмически активным, установлены выходы метана [3]. Сопоставление значений САИ с распределением тектонических структур на Юго-Западе Сахалина демонстрирует пространственное соответствие дешифрованный по батиметрической ЦМР морфоструктур и полей положительных значений САИ.

Исикари-Западно-Сахалинский осадочный бассейн (ИЗСОБ) располагает некоторыми особенностями, в частности структурно-тектоническими особенностями строения и оценивается как нефтегазоперспективный.

Данный бассейн протягивается почти на 800 км от южной части острова Хоккайдо (Япония) до северной части Западно-Сахалинских гор. От соседнего Южно-татарского бассейна, он отделен Пионерским и Монеронским поднятиями. Определяющими являются следующие особенности и черты бассейна: расположение в зоне Западно-Сахалинского разлома и наличие в пределах бассейна Холмско - Невельской постседиментационной антиклинальной зоны, а также кулисовидные постседиментационные складчато-разрывные структуры (Холмско-Шибушинская и Кузнецовская антиклинальные зоны).

Главными шельфовыми структурами ИЗСОБ являются Монеронский, Холмский и Ясноморские прогибы, отделенные между собой погребенными консидементационными антиклинальными поднятиями.

Следует обратить внимание на данные дистанционных исследований шельфовой части ИЗСОБ. Для бассейна характерны контрастные отрицательные значения полей силы тяжести, а также неоднородное положительное значение магнитного поля, также уверенно фиксируемые аномалии теплового потока. Акватория данного бассейна нуждается в проведении всестороннего комплексного изучения с применением дистанционного зондирования, с получением спутниковых альгологических, температурных и суспензионных данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплект карт Общего сейсмического районирования России [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://seismos-u.ifz.ru/personal/ocp-97-abc\\_3.htm](http://seismos-u.ifz.ru/personal/ocp-97-abc_3.htm). Дата обращения: 15.03.2016.
2. Жаров А.Э. Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива / А.Э. Жаров, Г.Л. Кириллова, Л.С. Маргулис, и др. // - Владивосток: ДВО РАН, 2004. с. 11-13
3. Обжиров А.И., Соснин В.А. Мониторинг метана в Охотском море / Владивосток: Дальнаука, 2002. 250 с.

4. Родников А.Г., Сергеева Н.А., Забарицкая Л.П. Глубинные причины образования осадочных бассейнов. / М.: РФФИ, 2014. с. 1-10.
5. Petford N., McCaffrey K. Hydrocarbons in crystalline rocks: an introduction. Published by the Geological Society from: The Geological Society Publishing House Unit 7, Brassmill Enterprise Centre Brassmill Lane, Bath 3JN, UK, p.1-5.
6. Шевырев С.Л., Шевырева М. Ж., Чернышев В.В., Морозов А. А., Ивин В. В. Об оценке тектонической позиции скоплений углеводородов на шельфе Дальневосточных морей России по космическим данным // Горный Информационно-Аналитический Бюллетень. №S36. 2015. С. 236.
7. Шеин В.С., Игнатова В.А. Геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Дальнего Востока. - М: ВНИГНИ, 2007. с.177-178.

## СЕКЦИЯ №5

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ И МОНИТОРИНГА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

### БЛОК ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕТАЛЕЙ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА

Андриеш Е.Б., Богданов И.А., Барилова Е.Р., Тур А.А., Эльхутов С.Н.  
Научные руководители: Тур А.А., профессор, д.т.н., Эльхутов С.Н., доцент, к.т.н.  
Ангарский государственный технический университет  
Россия, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, 665835  
E-mail: esn@fromru.com

### UNIT MEASURING THE TEMPERATURE OF PARTS OF THE CRANK MECHANISM

Andriyesh Y.B., Bogdanov I.A., Barilova E.R., Tur A.A., Elkhutov S.N.  
Scientific Supervisors: Prof., Dr. Tur A.A., Associate Professor, Ph.D. Elkhutov S.N.  
Angarsk State Technical University  
665835, Chaykovskogo st., 60, Angarsk, Russia  
E-mail: esn@fromru.com

*Разработан блок измерения температуры подвижных частей кривошипно-шатунного механизма тихоходных компрессоров. В состав блока входят два датчика температуры, акселерометр, радиопередатчик, микроконтроллер, литий-марганцевая батарея. Работа блока заключается в периодическом измерении температуры контролируемых деталей и отправки полученных данных через радиопередающий модуль. Блок разработан для применения в составе программно-аппаратного комплекса неразрушающего контроля поршневых машин. Блок размещен в герметичном корпусе из маслостойкого материала, что делает возможной его эксплуатацию в картере компрессора. Питание блока осуществляется от автономного источника, рассчитанного на непрерывную работу в течение одного года. Ввиду своей автономности, разработанный блок может применяться в составе средств неразрушающего контроля как поршневых компрессоров, так и другого промышленного оборудования.*

*A unit moving parts of the temperature measurement of the crank mechanism of low-speed compressors. The unit has two temperature sensors, an accelerometer, a radio, a microcontroller, a lithium-manganese battery. Unit operation is periodic measurement of temperature-controlled parts and sending the data via radio transmission module. The unit is designed for use in the software and hardware complex of nondestructive testing of piston engines. The block is placed in a sealed package of oil-resistant material, making it possible to operate the compressor crankcase. Unit is powered by an independent source, designed for continuous operation for one year. Because of its autonomy, designed unit can be used as a part of non-destructive testing as a means of reciprocating compressors and other industrial equipment.*

В настоящее время в технологических процессах отечественной нефтеперерабатывающей промышленности широко используются насосы и компрессоры различных типов, которые обслуживаются с использованием нескольких видов технического обслуживания оборудования, из которых наибольшее распространение получили следующие три вида:

- Обслуживание по отказу;
- Обслуживание с использованием планово-профилактических работ;
- Обслуживание с использованием планово-диагностических работ (ПДР);

Наиболее эффективным видом технического обслуживания промышленного оборудования является ПДР. Основой такого вида технического обслуживания является техническое диагностирование и прогнозирование состояния объекта. С помощью средств технического диагностирования проводят непрерывный или периодический контроль параметров состояния. Прогнозирование выполняют при непрерывном контроле для определения времени, в течение которого сохранится работоспособное состояние, а при периодическом контроле – для определения момента времени следующего контроля. Однако

использование данного вида технического обслуживания требует применения средств неразрушающего контроля.

Для насосов и компрессоров роторного типа наиболее информативным средством неразрушающего контроля является вибрационная диагностика. В тоже время для насосов и компрессоров поршневого типа анализ вибрации не позволяет сделать однозначный вывод о состоянии отдельных узлов. В связи с этим возникает задача разработки эффективных средств неразрушающего контроля для насосов и компрессоров поршневого типа [1].

В компрессорах поршневого типа (Рис. 1) наиболее уязвимыми с точки зрения износа, и в тоже время трудно диагностируемыми являются такие узлы, как: коренной и шатунный подшипники, пальцевое соединение шатуна и поршня, стенки поршня и цилиндра, клапанный механизм. Причем критический износ любого из перечисленных узлов может привести к разрушению компрессора или контакту рабочего тела с маслом в картере компрессора и атмосферой. Повышенный износ коренного или шатунного подшипников, а также пальцевого соединения сопровождается локальным нагревом, который практически не влияет на температуру самой машины. Следовательно, для контроля состояния кривошипно-шатунного механизма необходимо применение локальных измерительных устройств, датчики которых должны быть расположены в непосредственной близости с контролируруемыми соединениями.

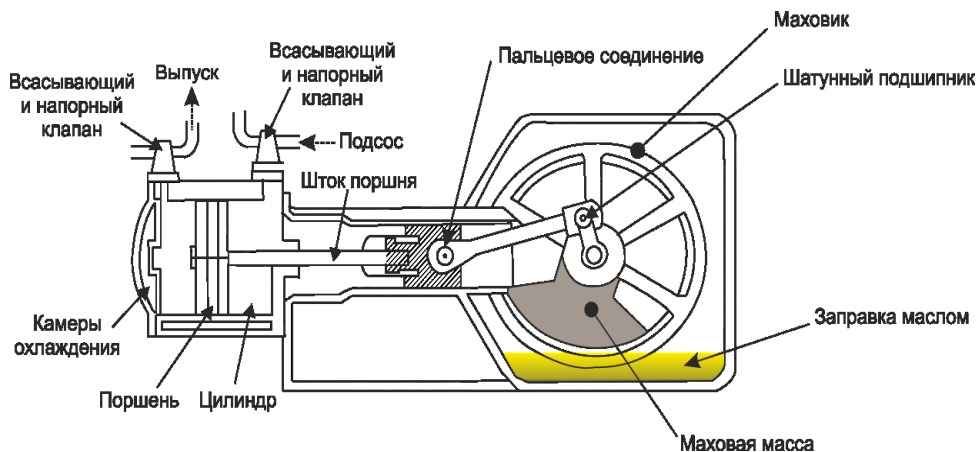


Рис. 1. Поршневая машина

Таким образом, при разработке системы неразрушающего контроля для поршневых компрессоров было предложено оценивать состояние коренных и шатунных подшипников, а также пальцевого соединения с помощью измерения их температуры.

Для решения этой задачи разработан автономный блок (Рис. 2), который предназначен для измерения температуры шатунного подшипника и пальцевого соединения. Поскольку контролируемые блоком узлы совершают возвратно-поступательные движения, то питание схем блока и передача измеренной информации по проводным линиям затруднительна. В связи с этим блок выполнен полностью автономным. Питание блока осуществляется от литий-марганцевой батареи емкостью 3 А/ч, расположенной непосредственно в корпусе устройства. В состав блока входят два датчика температуры для измерения температуры шатунного подшипника и пальцевого соединения. Датчики температуры вынесены за пределы корпуса блока и расположены в непосредственной близости к контролируемым точкам.



Рис. 2. Измерительный подвижный блок

Также в блоке присутствует одноосевой акселерометр, предназначенный для определения факта вращения вала компрессора. Кроме того, в состав блока входит радиомодуль 430 МГц, предназначенный для передачи информации, полученной от датчиков температуры. Для управления работой блока применен микроконтроллер ATtiny88. В задачи микроконтроллера входит сбор информации с датчиков температуры, контроль за напряжением источника питания, определение вращения вала компрессора и передача собранной информации через радиомодуль.

Кроме того, микроконтроллер управляет режимом энергопотребления блока, в зависимости от его состояния, по алгоритму, приведенному на рис. 3.

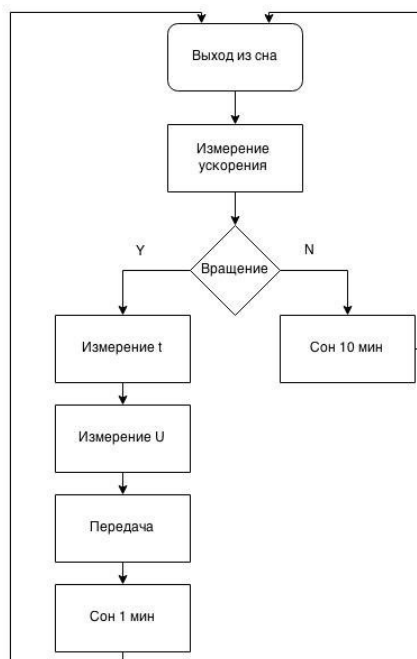


Рис. 3. Алгоритм работы измерительного блока

В соответствии с алгоритмом, блок может находиться в одном из двух режимов: в режиме измерений и режиме сна. Если данные акселерометра не изменяются – это означает, что вал компрессора не вращается и блок переходит в спящий режим на 10 минут, при этом микроконтроллер отключает питание всех датчиков и радиомодуля. После выхода из спящего режима выполняется повторный опрос акселерометра. Если показания акселерометра изменяются, то выполняется процедура измерения температуры и ее передача через

радиомодуль, после чего микроконтроллер снова переводит блок в спящий режим, но на меньшее время – 1 минуту. Затем работа алгоритма повторяется.

Конструктивно блок выполнен в виде печатной платы с расположенными на ней микроконтроллером, радиомодулем и передающей антенной. Печатная плата и батарея расположены в герметичном маслостойком радиопрозрачном корпусе, закрепленном на шатуне с помощью скобы, которая в свою очередь фиксируется болтом шатунной крышки. Датчики температуры вынесены за пределы корпуса блока и соединены с ним проводами с масло- и термостойкой изоляцией.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эльхутов С. Н., Ляпустина Л. Ю. Информационная система для определения технического состояния поршневых машин. Актуальные вопросы образования и науки: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 декабря 2013г. в 14 частях. Часть 12; Мин. образования и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес. Наука. Общество», 2014. – 171с.
2. Elkhutov S.N., Sitosanova O.V. Complex of Non-Destructive Control for Pumps and Piston Compressors // IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015), Russia, Omsk, 21-23 May 2015.

#### **АППАРАТНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЕТКИ**

Асочаков А.С., Шульгина Ю.В., Шульгин Е.М.

Научный руководитель: Сорокин П.В., доцент кафедры промышленной и медицинской электроники  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г.Томск, пр.Ленина,30,634050  
E-mail: arseniy.asochakov@yandex.ru

#### **HARDWARE PROCESSING OF DATA OF PHASED ARRAY**

Asochakov A.S., Shulgina Yu.V., Shulgin E.M.

Scientific Supervisor: Associate Professor of the Department of Industrial and Medical Electronics Sorokin P.V.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30,634050  
E-mail: arseniy.asochakov@yandex.ru

*Аппаратная реализация обработки данных с фазированной антенной решеткой датчиков, позволяющая проводить вычисления параллельно, т.е. по нескольким каналам позволит существенно усовершенствовать технику акустического неразрушающего контроля. В статье приводится методика построения изображения контролируемого объекта, с использованием программируемой логики. Описана процедура свертки матрицы, хранящей временные отрезки. В результате усовершенствования метода обработки данных с многоэлементных датчиков получили: сокращение объема памяти, необходимой для реализации системы обработки; увеличение скорости сканирования за счет организации параллельных вычислений; упрощение системы передачи данных вследствие того, что пропадает необходимость в передаче большого объема информации. Аппаратная обработка на ПЛИС, которая показана в данной статье, позволит передавать только конечное изображение объекта, снизив нагрузку на передающее устройство с помощью сокращения алгоритма построения изображения, представленного в статье.*

*The hardware implementation of the data processing with a phased array of sensors, allowing performing computations in parallel, i.e., across multiple channels will allow improving the technique of acoustic non-destructive testing. The article provides a method of imaging of the controlled object, with the use of programmable logic. Described procedure of matrix convolution, stored time intervals. As a result of improved data processing method with multi-element sensor, obtained: reducing the amount of memory required for the implementation of the processing system; increase the scan speed at the expense of parallel computing; simplified data transfer system because the is no need to transfer large amounts of information. As a result of improved data processing method with multi-element sensor, obtained: reducing the amount of memory required for the implementation of the*

*Использование космических технологий для биомедицинской инженерии и мониторинга природной среды*  
*processing system; increase the scan speed at the expense of parallel computing; simplified data transfer system*  
*because there is no need to transfer large amounts of information.*

Развитие техники неразрушающего контроля открывает новые возможности перед специалистами: появляются новые методики контроля, увеличивается скорость сканирования объекта, меняется формат данных др. В ультразвуковом контроле, с разработкой антенных решеток, появилась возможность получения более полной информации об объекте контроля. Очевидно, что с увеличением количества элементов массива датчиков, увеличивается и точность воспроизведения объекта контроля, в тоже время возрастает сложность и стоимость системы управления и обработки данных.

Разработанный во Фраунгоферовском институте, метод SPA (Sampling phased array) активно применяется для решения задач неразрушающего контроля [1]. Достоинством SPA метода является реализация всех углов озвучивания контролируемого объекта после одного цикла приема-передачи. Все элементы решетки последовательно возбуждаются, при этом после принятые параллельно каждым преобразователем сигналы сохраняются для последующей обработки. Увеличение количества элементов в массиве, приводит к увеличению объема хранимой и передаваемой информации. Ограничение в скорости у передающих каналов приводит к снижению скорости восстановления контролируемого объекта [2].

Метод может быть использован для большого количества задач контроля, например, исследование композитных материалов на наличие пор и включений, что является весьма сложной задачей для одноканального озвучивания объекта [3].

Аппаратная реализация обработки данных с антенной решетки позволит снизить время построения изображения за счет параллельных вычислений, которые можно реализовать на одном кристалле. Для проведения расчетов в режиме реального времени, предварительно рассчитываются и записываются все времена распространения ультразвука от каждого датчика через каждую точку объекта контроля. Для проведения диагностики пространство под решёткой делят на конечные элементы, с помощью теоремы Пифагора рассчитываются времена распространения ультразвука от центральной точки каждого излучателя до каждой точки контролируемого объекта (рис. 1).

Время распространения вычисляется по формуле  $t = \frac{\sqrt{(h \cdot w)^2 + (k \cdot w)^2}}{c}$ , где  $h$  – номер точки по вертикали,  $k$  – номер точки по горизонтали,  $w$  – шаг, расстояние между соседними точками,  $c$  – скорость распространения звука в среде.

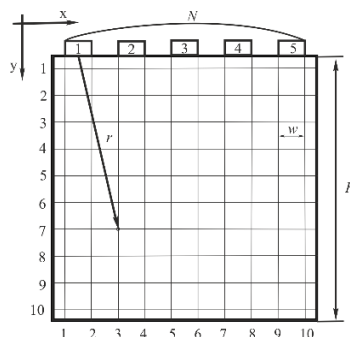


Рис. 1. Представление объекта исследований конечным числом контролируемых точек

В предварительных вычислениях формируется матрица, несущую информацию о временах распространения ультразвука в зависимости от номера точки, номера излучающего датчика и номера

принимающего датчика (Табл. 1). Размер этой матрицы будет определяться по формуле:  $V = m \cdot n \cdot N \cdot Z$ , где  $m$  и  $n$  – количество источников и приемников в сканирующей системе,  $N$  – количество точек в изображении объекта контроля,  $Z$  – количество бит, определяющих время распространения (зависит от точности восстановления изображения). В результате, для построения изображения размером 1280x1024 при сканировании объекта решеткой, состоящей из 16 датчиков необходимо зарезервировать под хранение временных отрезков 671 Мб памяти, если проводить сканирование решеткой из 64 элементов, то потребуется уже 171 Гб. Реализовать аппаратное перемещение и обращение к такому количеству информации крайне сложно, при условии, что необходимо завершить обработку до следующего цикла озвучивания контролируемого объекта.

Таблица 1. Таблица, хранящая расстояния от каждого излучателя до каждого приемника через все точки исследования

$i,j$	0,0	0,1	1,0	1,1	...	$i,j$
Точки						
0	$L_{0,0,0}$	$L_{0,1,0}$	$L_{1,0,0}$	$L_{1,1,0}$		$L_{i,j,0}$
1	$L_{0,0,1}$	$L_{0,1,1}$	$L_{1,0,1}$	$L_{1,1,1}$		$L_{i,j,1}$
...	...	...	...	...		...
$m$	$L_{0,0,m}$	$L_{0,1,m}$	$L_{1,0,m}$	$L_{1,1,m}$		$L_{0,0,m}$

$i$  – номер излучателя,  $j$  – номер приемника.

Существенно сократить память, хранящую предварительную информацию, позволит выявление равноудаленных от каждого датчика точек контролируемого объекта (рис. 2). В результате сокращения информационной матрицы для случая построения изображения размером 1280x1024 точек при сканировании 16 датчиками необходимо всего 2Мб, и для случая 64 элементов в массиве достаточно тех же 2Мб. При использовании сокращенной матрицы, ее объем будет зависеть только от количества выбранных точек сканирования, и не зависит от количества датчиков в массиве.

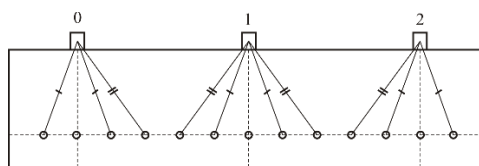


Рис. 2. Расположение точек под преобразователем

Формула, предназначенная для получения расстояния, выглядит следующим образом:

- Для расстояния от излучающего датчика до выбранной точки:

$$L = |x \cdot k - n| + h \cdot n$$

- Для расстояния от выбранной точки до принимающего датчика:

$$L = |y \cdot k - n| + h \cdot n,$$

где  $x$  – номер излучающего датчика;  $y$  – номер принимающего датчика;  $k$  – число точек между ближайшими датчиками;  $n$  – количество точек в строке изображения;  $h$  – количество точек в столбце изображения

На Рис. 3. приводится полученное в пакете MATLAB изображение исследуемого объекта.



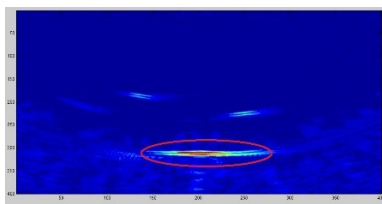


Рис. 3. Изображение исследуемого объекта

При реализации обработки для 16ти канальной системы с учетом оптимизации требуется 32768 бита памяти.

Построение системы обработки данных с фазированной антенной решеткой по описанному выше алгоритму, с учетом минимизации памяти, требуемой для хранения временных промежутков, позволяет сократить требуемый объем памяти в  $N^2$  раз, где  $N$  – количество элементов в решетке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Трехмерная реконструкция объектов контроля методом SAFT во временной области с использованием корреляционной функции. // Буй Д.В., Солдатов А.И., Солдатов Д.А., Хаскова Е.С. – Контроль. Диагностика. –2014. – № 13. – с. 128-132.
- 2.Nondestructive testing of pallets defects by multichannel ultrasound system. // Soldatov A.I., Sorokin P.V., Makarov V.S., Soldatov A.A., Kvasnikov K.G., Bolotina I.O. В сборнике: 52nd Annual Conference of the British Institute of NDT. – 2013. – с. 466-472.
- 3.Особенности ультразвуковой 3D-визуализации в современных средствах контроля. // Болотина И.О. [и др.] – Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – с. 154-157.

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

Битужева С.И., Щаденко С.В., Толмачев И.В.

Научный руководитель: Толмачев И.В., к.м.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: sib3@tpu.ru

#### **THE APPLYING OF THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION FOR PLANNING AND SUPPORTING SURGICAL OPERATIONS**

Bitueva S.I., Shadenko S.V., Tolmachev I.V.

Scientific Supervisor: Ph.D. Tolmachev I.V.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: sib3@tpu.ru

*Аппаратно-программный комплекс для помощи хирургу во время проведения операции, представляет собой систему отображения набора анатомических компьютерных 3D моделей зоны интереса на дисплее в хирургической операционной. Данные анатомические модели получают в результате предварительной реконструкции на основе сегментации медицинских изображений, таких модальностей как КТ, МРТ, ПЭТ и др. Аппаратно-программный комплекс поддержки проведения хирургического вмешательства включает в себя также систему захвата движения, предназначенную для бесконтактного управления, за счёт жестов оператора набором анатомических 3D моделей на дисплее. Система позволяет управлять положением набора 3D моделей, их масштабом и прозрачностью отдельных*

моделей, а также перемещаться между наборами 3D моделей, построенных для различных стадий проведения хирургической операции.

*Hardware and software system to assist the surgeon during surgery. This is a system for displaying a set of anatomical 3D computer models of regions of interest on display in the surgery. These anatomical models are obtained by a preliminary reconstruction based segmentation of medical images of such modalities as CT, MRI, PET, etc. Hardware and software system support surgery also includes motion-capture system designed for contact management, through gestures of the operator, a set of 3D anatomical models on display. The system allows to control the position of the set of 3D models, their scale and transparency of individual models and to navigate between sets of 3D models for various stages of the surgery*

В настоящий момент медицина в целом, и хирургия в частности, движется по пути улучшения качества предоставляемых услуг, с применением компьютерных технологий.

За счёт детального планирования операции с использованием современных компьютерных технологий можно значительно уменьшить негативное воздействие на пациента, за счёт уменьшения инвазивности, сокращения времени операции, а также времени восстановления после операции.

Развитие технологий медицинской визуализации привело к их активному внедрению в процесс планирования и сопровождения хирургических операций. В современных операционных для предоставления результатов визуализирующей диагностики (КТ, МРТ, ПЭТ, рентген) используются специализированные мониторы. Представляемые хирургу медицинские изображения позволяют правильно определить последовательность действий и учесть анатомические особенности пациента в процессе оперативного вмешательства. Помимо исходных медицинских изображений хирург в процессе операции может взаимодействовать с реконструированными анатомическими 3D моделями. Данные объекты компьютерной графики предварительно создаются при помощи специализированного программного обеспечения на основании обработки медицинских изображений пациента [1].

Не решенной до конца, остается задача навигации по базе данных медицинских изображений и компьютерных моделей в условиях асептики. В большинстве случаев для увеличения, уменьшения, поворота, изменения контрастности изображения и переключения между изображениями используются стандартные устройства ввода - клавиатура и мышь. Для того, чтобы не нарушать условия асептики, хирург может попросить кого-либо из врачей или медсестер управлять медицинскими изображениями, но это не всегда возможно и к тому же может сопровождаться временными задержками.

В мировой практике известен подход, когда для управления медицинским контентом использовался манипулятор- оптическая мышь, помещенная в стерильный мешок [2]. Решение оказалось довольно простым и эффективным, но обладает рядом недостатков: во-первых, существует вероятность нарушения целостности оболочки; во-вторых, с техническим устройством может в процессе операции непосредственно контактировать несколько человек, что тоже может нарушить асептику; в-третьих, указанная система позволяет работать только с исходными медицинскими изображениями без использования анатомической 3D реконструкции.

Таким образом, с точки зрения управления медицинскими изображениями в операционной, основной интерес представляют способы, основанные на бесконтактном взаимодействии с компьютером. Х. Уочс и соавт. в 2008 г. [2] реализовали систему управления радиологическими изображениями с использованием видеокамеры. Представленная система позволяет хирургу в реальном времени осуществлять навигацию по базе данных DICOM-изображений. К сожалению, использование камеры Canon VC-C4, несмотря на высокое качество регистрируемого изображения, часто приводит к ошибкам распознавания жестов и не позволяет реализовать достаточное количество команд для управления снимками.

С развитием технологии безмаркерного видео захвата появилась возможность реализации сравнительно дешевых систем управления изображениями. Одним из наиболее используемых сенсоров является Microsoft Kinect. Принцип его работы основывается на параллельном использовании лазера и горизонтально расположенной видеокамеры, работающей в инфракрасном диапазоне. Лазер создает проекцию с известной конфигурацией на поверхности регистрируемого объекта. Глубина расположения каждой точки определяется по деформации отраженного лазерного излучения зафиксированной видеокамерой. Далее данные обрабатываются при помощи алгоритма автоматического распознавания движений и формируется 31 сегментная модель (skeletal model) тела человека, в случае если он присутствует на изображении [4].

### Как создается 3D модель?

Рассмотрим основные этапы, необходимые для реконструкции 3D-модели зоны интереса, с ее дальнейшим использованием для диагностики состояния, виртуального планирования операции, а также разработки персонализированного имплантата. На основе данных этапов будет сформирована функциональная структура разрабатываемой системы 3D-визуализации для выполнения хирургических вмешательств.

Как показано на рис. 1, в системе можно выделить шесть основных этапов.

На первом этапе происходит формирование набора медицинских изображений для оцифровки зоны интереса пациента. Для этого необходимо большое количество снимков (срезов) объекта с разных ракурсов, для чего используется ряд методов визуализации, таких как компьютерная, магнитно-резонансная, позитронно-эмиссионная томография, рентген, ультразвук [7, 8]. Следует отметить, что качество и точность реконструируемой 3D-модели зоны интереса будут напрямую зависеть от качества полученных первичных медицинских изображений, поэтому необходимо уделить максимально пристальное внимание выбору визуализации и оборудования, а также составлению корректной процедуры первичного сканирования. Полученный набор 2D-срезов, в подавляющем большинстве современных аппаратов для медицинской визуализации, сохраняется в формате DICOM [5].

На втором этапе набор полученных 2D-изображений в DICOM-формате подвергается обработке с целью улучшения их качества, а именно для повышения контрастности и четкости, фильтрации шумов и т.д. Для задач улучшения качества первичных медицинских изображений применяются адаптивные фильтры изображений, многоуровневые нелинейные операторы, Фурье-дескрипторы и гибридные фильтры [6].

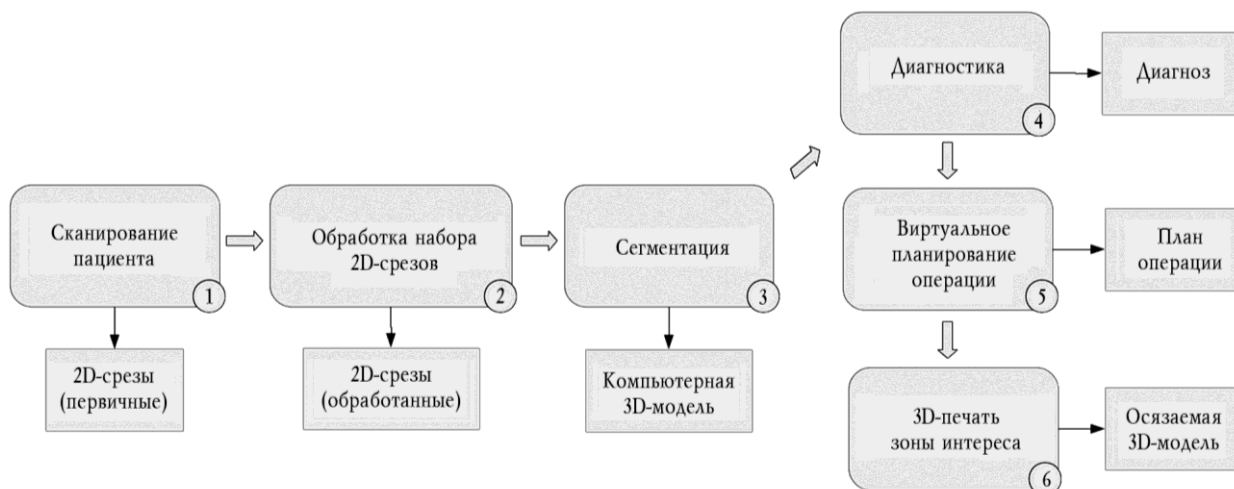


Рис. 1. Алгоритм создания 3D модели

После улучшения качества набора 2D-изображений, на третьем этапе, происходит регистрация улучшенных медицинских изображений с целью их приведения к единой системе координат [7, 8] и выполнения сегментации, для формирования точной анатомической компьютерной 3D-модели. В настоящее время разработано большое количество алгоритмов сегментации с применением методов, основанных на использовании локальных порогов и оттенков серого, на гистограммах, пиксельной корреляции, наращивании областей, сжатию, дереву квадрантов, дифференциальных уравнениях в частных производных и многих других [9, 10].

На четвертом этапе, представленном на рис. 1, реконструированная 3D-модель используется хирургом либо вспомогательным персоналом для детального осмотра зоны интереса с целью анализа ее геометрических размеров, расположения органов друг относительно друга, выявления аномалий и отклонений в строении. Для более точной диагностики зон интереса с мелкими органами, например, кровеносными сосудами, требуются медицинские изображения высокого пространственного разрешения.

Следует отметить, что кроме диагностики, проводимой человеком, перспективной задачей является разработка методов автоматического сравнения сформированной компьютерной 3D-модели зоны интереса пациента с заранее подготовленными наборами 3D-моделей, соответствующих органам с патологиями и без таковых. В результате подобного сравнения автоматически формируется диагноз пациента, который в дальнейшем может быть верифицирован врачом.

После реконструкции компьютерной 3D-модели и формирования диагноза, на пятом этапе происходит импортирование модели в CAD-систему для предоставления хирургу возможности проведения манипуляций над ней с целью планирования оптимального хирургического вмешательства. При необходимости, если того требует характер травмы или патологии пациента, в CAD-системе по полученной 3D-модели зоны интереса возможна разработка идеальной, персонифицированной 3D-модели имплантата.

На заключительном этапе компьютерная 3D-модель зоны интереса пациента, а при необходимости и модель имплантата, может быть создана с использованием современных систем быстрого прототипирования. Для этого компьютерные модели подвергаются предварительной подготовке, после чего передаются в систему 3D-печати.

В системах 3D-визуализации и виртуального планирования операций на основе использования медицинских изображений стоит задача обработки и преобразования медицинских изображений с последующей реконструкцией 3D-изображения и построением 3D-модели. Работа с 3D-изображениями и 3D-моделями приводит к необходимости применения систем высокопроизводительных вычислений. С учетом объема исходных данных и круга решаемых задач наиболее оптимальным способом реализации высокопроизводительных вычислений в CAS-системах является использование графической карты с возможностью организации параллельных вычислений на ней. В частности, для выполнения нашей работы, наряду с процессором Intel Core i7-3770K и 16 Гбайт оперативной памяти (DIMM DDR3), использовалась видеокарта NVIDIA GeForce GTX 660 с поддержкой технологии CUDA (Compute Unified Device Architecture) [11].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щаденко С.В., Горбачёва А.С., Арсланова А.Р., Толмачёв И.В.//Бюллетень сибирской медицины-2014, Т.13.-№ 4, -С. 165–171

2. Computer Assisted Surgery. Precision Technology for Improved Patient Care, March 22, 2004, <http://www.advamed.org/newsroom/caswhitepaper.pdf>
3. С.Б. Буцан, С.Б. Хохлачев, С.А. Перфильев, Ш.Н. Йигиталиев Хирургическое лечение больных с дефектами и деформациями скуло-глазничной области с применением трехмерного компьютерного моделирования при планировании оперативного вмешательства. // «Институт стоматологии» — Санкт-Петербург, № 47, июнь 2010.
4. DICOM [Электронный ресурс] // Digital Imaging and Communications in Medicine (<http://medical.nema.org/dicom>).
5. Pianykh O.S. Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)// A Practical Introduction and Survival Guide. Springer, 2009.
6. Жук Д.М., Перфильев С.А. CAS-системы – системы автоматизированного проектирования в хирургии // Наука и образование-2011, Т.3.
7. El-Baz A.S., Acharya U.R., Mirmehdi M., Suri J.S. Multi Modality State-of-the-Art Medical Image Segmentation and Registration Methodologies // Biomed. Sci. V. 1. Springer, 2011.
8. Hajnal J.V., Hill D.L.G. Medical Image Registration // CRC Press, 2001.
9. Suri J.S., Setarehdan S.K., Singh S. Advanced Algorithmic Approaches to Medical Image Segmentation //Mammography and Pathology- Neurology Springer, 2002.
10. Dougherty G. Medical Image Processing //Techniques and Applications. Springer, 2011.
11. Cook S. CUDA Programming: A Developer's Guide to Parallel Computing with GPUs. //Newnes, 2013.

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ПРИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ**

Булгакова О.В., Асочаков А.С., Шульгина Ю.В.  
Научный руководитель: Шульгина Ю.В., ассистент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: illoisa@mail.ru

#### **USING OF PHASED ARRAYS TO STUDY OF INTERNAL ORGANS**

Bulgakova O.V., Asochakov A.S., Shulgina Yu.V.  
Scientific Supervisor: Assistant Shulgina Yu.V.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: illoisa@mail.ru

*В статье показаны преимущества использования фазированных антенных решеток по сравнению с одиночными ультразвуковыми датчиками, также рассмотрены сложности разработки устройств на основе фазированных антенных решеток и возможные пути их устранения. В статье подробно рассмотрен метод SPA (Sampling phased array), разработанный в Фраунгоферовском институте неразрушающих методов контроля (Германия). Приводится последовательность обработки данных, полученных с антенной решетки для построения изображения объекта контроля. В статье приводится изображение объекта контроля, для случая сканирования антенной решеткой из пяти датчиков. Для получения экспериментальных данных был выбран материал со скоростью распространения ультразвука 1480 м/с, что близко к скорости распространения ультразвука в мягких тканях. Исходя из полученных результатов, был сделан вывод о высокой информативности сравнительно высокой скорости ультразвукового исследования при использовании фазированных антенных решеток.*

*The article shows the advantages of phased arrays in comparison with single ultrasonic sensors also considered the complexity of developing devices based on phased arrays and possible ways of their elimination. The*

*article considered in detail the method of SPA (Sampling phased array), developed by the Fraunhofer Institute for non-destructive testing (Germany). Contained the sequence of data processing obtained from the phased array for object of control imaging. The article presents an image of the control object for the case of scanning array from five sensors. For the experimental data was selected material with propagation velocity of ultrasound 1480 m / s, what is close to the propagation velocity of ultrasound in soft tissue. Based on the results, high information content and relatively high speed ultrasound control are concluded with using phased arrays.*

В настоящее время обследования с помощью ультразвука занимают огромную нишу в современной медицине как безопасный и достаточно точный способ диагностики. Данный метод используется и при диагностике космонавтов перед вылетом, так как любые заболевания, не обнаруженные на земле, могут стоить жизни астронавту в космосе. Однако ультразвуковую диагностику можно проводить 2 путями: с помощью одного датчика, что упрощает схему, но сильно усложняет получение изображения большого размера, или с помощью фазированной антенной решетки (ФАР), с помощью которой намного проще получить максимально возможное изображение минимальными движениями оператора.

ФАР, в ходе одного цикла излучения – приема, позволяет получить все углы прозвучивания исследуемого объема, в то время, как при озвучивании объекта контроля одиночным датчиком, необходимо обеспечить его перемещение [1, 2].

У устройств на основе ФАР существует серьезный недостаток – их стоимость, в связи с тем, что для обработки полученных данных в реальном времени необходимо использовать параллельно работающие мощные процессоры. Избавиться от этой проблемы возможно, используя программируемые логические интегральные микросхемы (ПЛИС), позволяющие организовать на одном кристалле параллельно выполняющиеся вычисления, что позволит сократить временные затраты на обработку данных без ущерба по стоимости.

Для реализации устройства был выбран метод тактированной фазированной решетки или SPA (Sampling phased array), 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 [3]. Для пояснения работы метода необходимо привести алгоритм и схематическое изображение принципа работы метода SPA.

Для начала исследуемая область условно разбивается на минимально необходимое число точек, под выбранное разрешение строится программа обработки. Для получения данных необходимо, чтобы в одном положении был пройден полный цикл приема-передачи. Все элементы решетки излучают по очереди, при этом в каждом такте все элементы принимают сигналы. Далее производится обработка полученных сигналов:

1. Производится расчет времени прохождения УЗ-луча до каждой точки исследуемого объема для всех пар излучатель – приемник и заносятся в матрицу.
  2. Из А-скана, по полученным временам, извлекается амплитуда сигнала в каждой точке.
  3. Полученные амплитуды для каждой пары излучатель – приемник суммируются.
  4. Строится изображение, на котором глубина цвета – это величина суммы амплитуд [4, 5].
- Визуально принцип работы метода состоит в следующем:

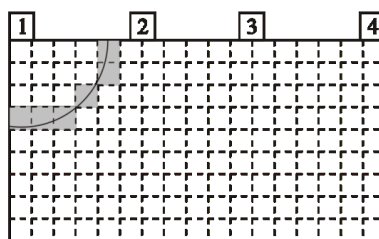


Рис. 1. Получение изображения участка с измененной плотностью при работе 1 излучателя и приемника

При однократном излучении определить геометрические размеры неоднородности не представляется возможным, так как в этом случае будет выявлено только расстояние до участка с измененной плотностью (См. рис. 1.). В определении точного места положения неоднородности и ее геометрических размеров помогут следующие циклы приема-передачи ультразвуковых волн (См. рис. 2)[6].

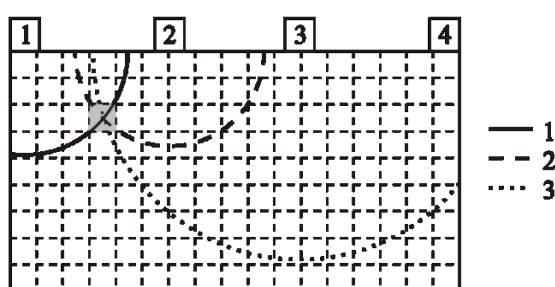


Рис. 2. Получение изображения участка с измененной плотностью 3 излучателей и приемников

Используя описанный выше алгоритм, была составлена программа для моделирования обработки данных в пакете MathLab с ФАР, состоящей из 5 элементов. В качестве обрабатываемых данных взяты реальные А-сканы. В качестве объекта контроля был использован резиновый брусок с полостью. Скорость распространения ультразвука в резине – 1480 м/с, что близко к скорости распространения ультразвука в мягких тканях.

В результате моделирования было получено изображение, представленное на рис.3.

На рис. 3. положение и форма неоднородности малоразличима. Это связано с тем, что А-скан имеет как положительное, так и отрицательное значение амплитуды. Для лучшей визуализации был взят модуль от полученного результата. Изображение представлено на рис. 4.

Рис. 4 показывает наличие неоднородности в нижней четверти изображения, ее положение и форма при этом хорошо различимы.

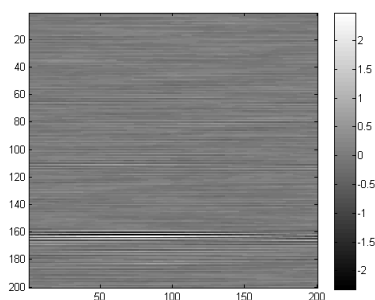


Рис. 3. Результат математического моделирования при наличии неоднородности в исследуемом объеме

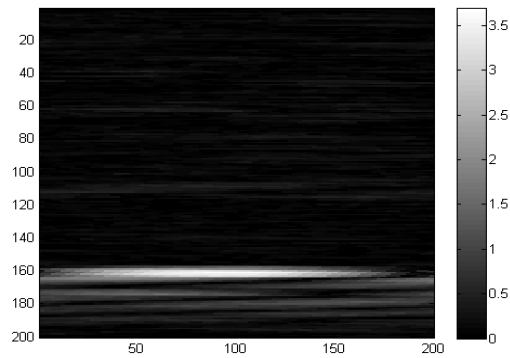


Рис. 4. Обработанный результат математического моделирования при наличии неоднородности в исследуемом объеме

Исходя из полученных результатов, можно сказать, что использование ФАР позволяет проводить сканирование на высокой скорости (при использовании параллельной обработки данных с антенной решеткой). Использование модуля сигнала для построения изображения улучшает визуализацию. При увеличении количества датчиков в решетке – растет точность изображения объекта и зона контроля, но при этом возрастает сложность системы обработки и ее стоимость. В каждом случае разработки устройства необходим разумный компромисс между этими параметрами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотина И.О. Ультразвуковые решетки для количественного неразрушающего контроля. Инженерный подход. // Дефектоскопия. – 2013. – № 3. – с. 21-40.
2. Soldatov A.I Nondestructive testing of pallets defects by multichannel ultrasound system. //52nd Annual Conference of the British Institute of NDT. – 2013. – с. 466-472.
3. Асочаков А. С. Метод обработки ультразвукового сигнала фазированной антенной решетки [Электронный ресурс] / А. С. Асочаков, Ю. В. Шульгина; науч. рук. А. И. Солдатов // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность : сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 25-29 мая 2015 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Т. 1. — с. 230-233.
4. Болотина И.О. Особенности ультразвуковой 3D-визуализации в современных средствах контроля. // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – с. 154-157.
5. Солдатов А.И. Акустическая дефектоскопия многослойных материалов, используемых в вертолетостроении. // Контроль. Диагностика. – 2013.– № 13. – с. 74-77.
6. Буй Д. В. Трехмерная реконструкция объектов контроля методом SAFT во временной области с использованием корреляционной функции. // Контроль. Диагностика. –2014. – № 13. – с. 128-132.



## УСТРОЙСТВО ДЛЯ АНАЛИЗА БРОНХОФОНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЧЕЛОВЕКА

Гатауллин А.А., Киселева Е.Ю.

Научный руководитель: Киселева Е.Ю., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: damperzzo\_aag@mail.ru

## ANALYSING DEVICE OF HUMAN BRONCHO-PHONOGRAPHY DATA

Gataullin A.A., Kiseleva E.Y.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Kiseleva E.Y.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: damperzzo\_aag@mail.ru

*Данная статья описывает эффективный и безопасный метод автоматического анализа легочных шумов с помощью специального устройства – бронхофонографа. Создание такого аппарата обусловлено увеличением заболеваемости такими болезнями как острый бронхит, пневмония, туберкулез. Устройство предназначено для получения, обработки и анализа дыхательных шумов человека с целью осуществления экспресс-диагностики состояния бронхо-легочной системы. В данной статье приведена структурная схема разрабатываемого прибора и принцип её действия, а также описан принцип действия существующего аналога прибора. Выявлены недостатки аналога. На основе проведенного анализа были предложены пути решения проблемы: использование пьезоэлектрических преобразователей для получения более детальной картины звуковых шумов, изолирование датчика, использование экранированных кабелей с целью предотвращения электромагнитных помех, а также экранирование аналоговой части системы.*

*This article describes an effective and safe method of the automatic analysis of pulmonary murmur using a special device – bronchophonography. The creation of such a device is conditioned by an increase of diseases such as acute bronchitis, pneumonia; tuberculosis. The device is earmarked for acquisition, treatment and analysis of human respiratory murmur for the purpose of rapid diagnosis of broncho-pulmonary system state. This article shows a block diagram of the device under development. In addition, its operating principle; it also describes the operating principle of the existing analogue device. We detected disadvantages of analogue device. Based on this analysis some solutions to the problem were proposed: the use of piezoelectric transducers to obtain a more detailed picture of sound noise, the isolating of sensor, the use of shielded cables in order to prevent electromagnetic interference, as well as shielding the analog part of the system.*

Поражение легких является одной из значимых причин ухудшения здоровья во всем мире. В Европе, хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), а также астма, вызываемая плохими экологическими условиями, курением и так далее, по некоторым оценкам может наблюдаться у 10-25 % населения [1-3]. ХОБЛ занимает 4 место в мире и 3 место в Европе среди причин смерти [1]. Различные виды легочных инфекций, таких, как острый бронхит, пневмония и туберкулез, так же вносят значительный вклад в статистику легочных заболеваний и требуют срочной и качественной диагностики.

Долгое время основным способом диагностики являлась перкуссия и аускультации легких врачом с помощью стетоскопа. С введением в широкую практику рентгенологических и эндоскопических методов исследований роль аускультации в диагностике заболеваний легких значительно снизилась. Основным недостатком метода являются субъективность мнения врача при анализе шумов на слух: результаты аускультации зависят и от того, кто проводит процедуру, и от типа используемого стетоскопа. Кроме того, частотная характеристика стетоскопа ослабляет сигналы, лежащие в полосе частот выше 120 Гц, а человеческое ухо имеет слабую чувствительность на низких частотах.

Использование современных достижений электроники в определенной мере позволяет компенсировать возрастные изменения наших органов чувств. При аускультации больного имеется возможность проводить запись и анализ респираторных звуков для их дальнейшего анализа и вынесения заключения.

Это во многом реанимировало интерес к акустическим исследованиям легочных заболеваний и позволило, по крайней мере в перспективе, создавать и внедрять в медицинскую практику эффективный и безопасный метод автоматического анализа легочных шумов. Об одном из таких и пойдет речь.

Бронхофонограф – инструментальный комплекс для сбора и обработки акустических легочных шумов. Структурная схема современного бронхофонографа представлена на рисунке 1. и включает в себя следующие основные элементы: пьезоэлектрический преобразователь или другой датчик для регистрации колебаний и преобразования их в электрический сигнал; Буферный усилитель сигнала со встроенными частотными фильтрами; второй каскад усиления; микроконтроллер используемый как буферный АЦП; устройство записи и обработки полученных данных.

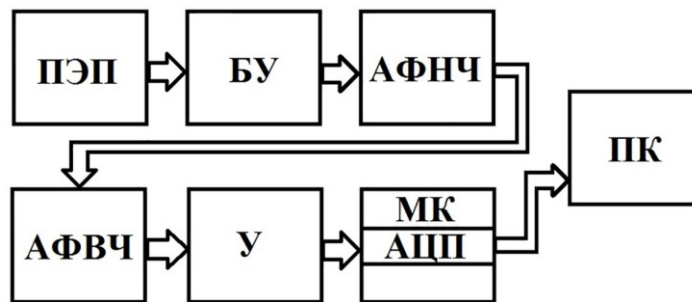


Рис. 1. Структурная схема

Частотный спектр записываемых сигналов начинается с частоты порядка 100 Гц и ограничивается частотой ~2кГц при записи сигналов с грудной клетки или ~4кГц при записи через трахею. Фильтрация записываемых сигналов обычно осуществляется как фильтром высокой частоты (что бы исключить помехи связанные с работой сердца, мускулов, или контактные шумы), так и фильтром низкой частоты.

В настоящее время аналогов данного устройства очень мало. В 2009г. был начат мелкосерийный выпуск отечественного бронхофонографа «Паттерн-01». Устройство выполнено в виде приставки, подключаемой к персональному компьютеру по интерфейсу USB, и набора компьютерных программ. Производится запись дыхательных звуков пациента в течении двух-трех форсированных выдохов с последующим частотным анализом на основе оконного преобразования Фурье. Основные параметры исследования: наличие звуковых колебаний в диапазонах частот выше 400Гц, их продолжительность и площадь под кривой (работа выдоха). Однако прямая оценка спектрального состава дыхательных звуков, несмотря на большое количество работ, посвященных этому направлению, не позволила создать действительно высокоспецифичной и достоверной диагностической методики бронхолегочных патологий, что, безусловно, негативно отразилось на отношении врачей к этому методу [5].

В разрабатываемом устройстве в отличие от Паттерна 01, где для сбора данных используется загубник, будет использоваться несколько пьезоэлектрических преобразователей, и они будут накладываться в точки аускультации на теле человека, что позволит получать более детальную картинку звуковых шумов. Так же стоит отметить создаваемые шумы в процессе съема данных и борьбу с ними.

*Помехи и посторонние шумы.* При записи акустических сигналов, многое зависит от окружающей обстановки и внутренних шумов, связанных с работой сердца, мускулов, или шумов, возникающих при движении. Особенно сильно эта проблема проявляется при использовании датчика колокольчикового типа с

воздушной камерой. Эти шумы можно уменьшить изолированием датчика, однако мало что можно сделать с шумами, проходящими через тело человека, особенно в диапазоне нижних частот.

*Электромагнитные помехи.* Наибольшее влияние оказывает электромагнитные помехи связанные с влиянием сети 220В 50 Гц, необходимо использовать экранированные кабели, а также экранировать аналоговую часть системы, кроме того активно используются режекторные фильтры.

Указанные рекомендации предполагают использование хорошо защищенных, высококачественных, чувствительных акустических датчиков, соединенных относительно короткой проводящей линией с устройством регистрации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривонос П.С., Крыжановский В.Л., Лаптев А.Н. Функциональные методы исследования легких: учебно-методическое пособие. Минск: БГМУ, 2009. 62 с.
2. Ицкович А. И., Шумарова Е. Ю., Коренбаум В. И. Современные проблемы анализа дыхательных шумов. // Тихоокеан. мед. жур., 2005, №2. С.11-13.
3. Проничев И. В. Лекции по физиологии центральной нервной системы. // М.: Свифт, 2004. 214с.
4. Kraman S.S., Wodicka G.R., Kiyokawa H., Pasterkamp H. // Biomed. Instrum. Technol, 2002. Vol. 36, No. 3. – P. 177–182.
5. Изделие медицинского назначения прибор бронхофонографический диагностический автоматизированный «ПАТТЕРН-01». Регистрационное удостоверение № ФСР 2009/04789 от 22.04.2009 г. Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения и социального развития.
6. Мальшев В.С., Ардашникова С.Н., Каганов С.Ю., Манюков М.Ф., Медведев В.Т. Способ регистрации дыхательных шумов. // Пат. RU 2038041 U1 РФ, МПК А61В5/00 / Заяв. 16.09.1992; опубл. 27.06.1995. – 16 с.
7. Rossi M., Sovijarvi A.R., Piirila P., Vannuccini L., Dalmaso, F., Vanderschoot J. Environmental and subject conditions and breathing manoeuvres for respiratory sound recordings // Eur. Respir. Rev., 2000, N10. P. 611–615.

#### **ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Каззаева А.А., Болотина И.О.

Научный руководитель: Болотина И.О., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: aas7@tpu.ru

#### **APPLICATION OF SPACE TECHNOLOGIES FOR IMAGING BIOLOGICAL OBJECTS**

Kazazaeva A.A., Bolotina I.O.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Bolotina I.O.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: aas7@tpu.ru

*В статье рассмотрена возможность применения ультразвукового метода контроля, используемого в аэрокосмической промышленности, для целей визуализации биологических объектов сложной геометрической формы в медицине. Приведено описание метода и поэтапная реконструкция изображения. При этом предварительно созданная САД модель контролируемого изделия загружается в программное обеспечение контроля в STEP формате. В дальнейшем она выступает не только в качестве исходного объекта для генерации программ сканирования, но и в качестве шаблона при реконструкции*

трехмерного изображения. Предлагаемый метод позволит проводить диагностику и терапию частей тела человека, имеющих сложную геометрическую форму (колени, локти). Экспериментальные исследования проводились с помощью автоматизированной ультразвуковой системы томографического контроля. Представлены результаты экспериментальных исследований по визуализации биологического объекта сложной геометрической формы.

*The article discusses the possibility of using the ultrasonic inspection method used in the aerospace industry, for the purposes of visualization of biological objects of complex geometric shapes in medicine. The description of the method and the gradual reconstruction of the image. In this pre-established CAD model of the controlled product is loaded into the control software in the STEP format. Thereafter, it acts not only as a source object for generating scanning programs but also as a template for the three-dimensional image reconstruction. The proposed method allows the diagnosis and therapy of human body parts with complex geometric form (knees, elbows). Experimental research of were carried out using the automated system of ultrasonic tomographic control. The results of experimental research by imaging of biological objects of complex geometric shapes.*

**Введение.** На сегодняшний день самым чувствительным и информативным методом неразрушающего контроля является ультразвуковой метод. Данный вид контроля широко распространен в аэрокосмической промышленности, в производстве которой в последние годы значительно увеличилось использование композитных материалов. Соответственно существует необходимость контроля данных материалов на наличие структурных дефектов типа расслоений, включений (как правило, технологических пленок), недопитанных зон (зон повышенной пористости), непроклеев в клеевых соединениях. Получаемая с использованием ультразвукового метода контроля информация о размере, площади и ориентации дефекта в пространстве, дает возможность построения качественного изображения для последующей оценки работоспособности и ресурса конструкции из композиционных материалов[1-3].

Очень часто детали из композиционных материалов, применяемых для изготовления космических аппаратов, имеют сложную геометрию, для контроля качества которых требуются усовершенствованные методы контроля. Аналогичные задачи стоят и перед биомедицинской инженерией, когда необходимо провести диагностику или терапию таких сложных по геометрии частей тела человека, как колени и локти.

В этом случае становится целесообразным применить в медицине методы и системы, используемые для ультразвукового контроля изделий аэрокосмической промышленности.

**Описание метода.** Несомненным преимуществом применения систем ультразвукового метода контроля является возможность производить автоматическое движение пьезопреобразователя по заданным координатам сложной геометрической формы.

Ультразвуковая систематомографического контроля предназначена для выполнения процедур автоматизированного контроля, при которых сканирование объекта осуществляется при помощи манипулятора, оснащенного сервоприводом с функцией одновременного измерения и сохранения позиций измерений. Наличие в измеренных ультразвуковых данных информации о пространственной координате позволяет в реальном масштабе времени производить реконструкцию изображений с последующей визуализацией ультразвуковых индикаций и возможностью их локализации.

Расчёт траектории сканирования производится на стадии создания программы контроля конкретного объекта с учётом заданных границ зоны контроля. В упрощённом виде выполнение процедуры реконструкции можно разделить на два этапа, которые, выполняются параллельно. На первом этапе в квазистатическом режиме производится синтезирование локальных томограмм – двухмерных изображений на основе данных в одиночных позициях измерений. Непосредственно принцип реконструкции заключается в пространственном усреднении амплитудных значений эхограмм с учётом времён пробега от излучающего элемента до соответствующего синтезируемого элемента контролируемого объёма и обратно до принимающего элемента.

Второй этап реконструкции томографического изображения можно назвать динамическим, поскольку он реализуется путём наложения «соседних» локальных томограмм при движении измерительного преобразователя в процессе сканирования объекта контроля. Результатом данной реконструкции являются совмещенные изображения слоёв контролируемого объёма, которые в процессе контроля составляются в трёхмерное представление объекта контроля.

В динамическом режиме реконструкции изображений производится «составление» совмещенных изображений слоёв контролируемого объёма в объёмную модель. При этом предварительно CAD модель данного контролируемого изделия загружается в программное обеспечение контроля в STEP формате. В дальнейшем она выступает как в качестве исходного объекта для генерации программ сканирования, так и в качестве шаблона при реконструкции трёхмерного изображения.

**Экспериментальные исследования.** На рисунке 1 представлен внешний вид автоматизированной ультразвуковой системы томографического контроля, используемой для контроля композитных изделий для космической отрасли. В данной работе с помощью этой системы были проведены экспериментальные исследования по визуализации биологического объекта(БО) (тазобедренной части курицы) сложной геометрической формы.



*Рис. 1. Внешний вид автоматизированной ультразвуковой системы томографического контроля*

На рисунке 2 представлено проведение эксперимента с помощью автоматизированной ультразвуковой системы томографического контроля, на которой установлено программное обеспечение «РобоСкан». А также результаты эксперимента, проведенные одиночным УЗ датчиком с частотой 5 МГц на различных глубинах по отношению к поверхности биологического объекта (рисунки 3-4).



*Рис. 2. Проведение эксперимента с помощью автоматизированной ультразвуковой системы томографического контроля*

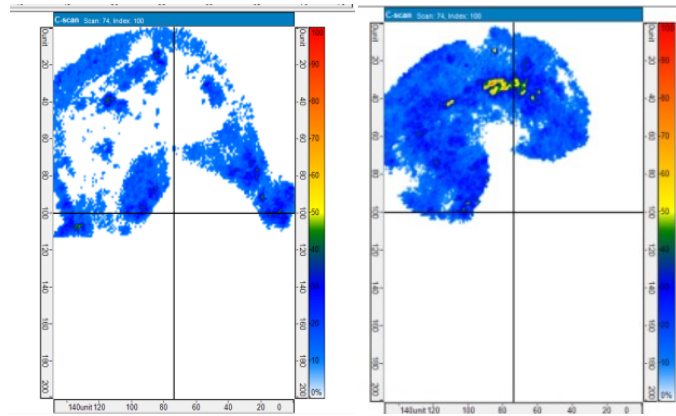


Рис. 3. Результаты ультразвуковой визуализации БО на глубине 10 мм (слева) и 15 мм (справа)

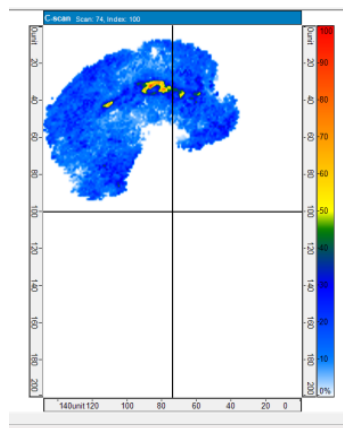


Рис. 4. Результаты ультразвуковой визуализации БО на глубине 20 мм

**Заключение.** В результате проведенных экспериментальных исследований было получено изображение БО сложной геометрической формы на различных глубинах. Это стало возможным благодаря использованию методов и аппаратуры для ультразвукового томографического контроля, применяемых в аэрокосмической промышленности. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в настоящее время космические технологии можно успешно применять и для решения задач биомедицинской инженерии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешин Н.П., Григорьев М.В., Щипаков Н.А. Современное оборудование и технологии неразрушающего контроля ПКМ // Электронный научно-технический журнал «Инженерный вестник». – 2015. – №1. – С. 533-538.
2. Бикша Д. Использование композитных материалов в оборонной промышленности и аэрокосмической индустрии // Вестник электроники. – 2014. – №1. – С. 24-27.
3. Сенюшкин Н. С., Ямалиев Р. Р., Ялчибаева Л. Р. Применение композиционных материалов в конструкции БПЛА // Молодой ученый. — 2011. — №4. Т.1. — С. 59-61.

## ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ БИМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ

Киселева В.А.<sup>1</sup>, Брагина А.Д.<sup>1</sup>, Торгаев С.Н.<sup>1,2,3</sup>, Евтушенко Г.С.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Евтушенко Г.С., профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева 1, 634030

<sup>3</sup>Томский государственный университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина 36, 634050

E-mail: [torgaev@tpu.ru](mailto:torgaev@tpu.ru)

## PROGRAM OF BIOMEDICAL SIGNALS PROCESSING

Kiseleva V.A.<sup>1</sup>, Bragina A.D.<sup>1</sup>, Torgaev S.N.<sup>1,2,3</sup>, Evtushenko G.S.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Evtushenko G.S.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

<sup>2</sup>V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Russia, Tomsk, Academic Zuev sq., 1, 634030

<sup>3</sup>Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: [torgaev@tpu.ru](mailto:torgaev@tpu.ru)

*В данной работе представлены результаты разработки лабораторного комплекса по изучению принципов обработки различных биомедицинских сигналов, а также принципов работы цифровых фильтров различного типа. Приведено описание разработанной программы по расчету цифровых фильтров различного типа и параметров различных биомедицинских сигналов. Программа позволяет выполнять расчеты фильтров и передавать результаты расчета с использованием последовательного интерфейса. Использование последовательного интерфейса позволяет осуществлять передачу оцифрованных биомедицинских сигналов в микроконтроллер с целью их дальнейшей обработки. В статье приведены примеры вывода и анализа сигнала ЭКГ (электрокардиограммы). Результаты работы будут внедрены в учебный процесс для подготовки специалистов в области биомедицинской инженерии.*

*This paper presents the results of the laboratory complex design for study of the principles of the biomedical treatment of various signals, as well as principles of the digital filters of various types. The description of the developed program for the calculation of the digital filters of various types and parameters of different biomedical signals were described. The program allows you to perform the filter calculations and transmit the results of calculations using the serial interface. Using the serial interface allows to transmit the digitized biomedical signals to the microcontroller for the purpose of the further processing. The paper provides examples of output and analysis of ECG signal (electrocardiogram). The results will be introduced in the educational process for the preparation of specialists in the field of biomedical engineering.*

## I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время цифровая обработка сигналов становится неотъемлемой частью различных отраслей науки. К данным отраслям можно отнести цифровое телевидение, биомедицинские технологии и т.д. Одним из направлений цифровой обработки сигналов является анализ и расчет различных биомедицинских сигналов. Обработка таких сигналов включает в себя цифровую фильтрацию сигналов, а также выявление различных характеристик исследуемых сигналов. Качественная обработка медицинских сигналов позволяет выявлять различные патологии [1].

Данная работа посвящена разработке лабораторного комплекса, позволяющего исследовать биомедицинские сигналы. Разработанный комплекс включает в себя программу расчёта цифровых фильтров различного типа и порядка, а также анализа медицинских сигналов. Результаты расчета цифровых фильтров могут быть переданы в микроконтроллер посредством асинхронного последовательного интерфейса.

## II. ПРОГРАММА РАСЧЕТА ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Блок программы цифровых фильтров, позволяет осуществлять расчет коэффициентов фильтров. В программу включены восемь типов фильтров: фильтр нижних частот, фильтр верхних частот, полосовой фильтр и режекторный фильтр (Баттерворта и Чебышева). При расчете фильтра есть возможность выбора его порядка, а также коэффициента неравномерности для фильтра Чебышева [1]. Результаты расчета могут быть выведены в файл, а также отправлены во внешние устройства посредством виртуального COM-порта.

Также имеется возможность построения амплитудно-частотной характеристики. Интерфейс программы для расчета фильтров представлен на рис. 1.

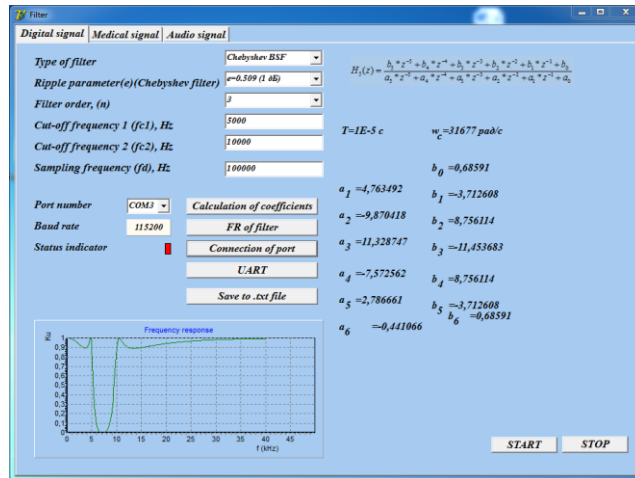


Рис. 1. Интерфейс программы расчёта цифровых фильтров

Разработанная программа была написана на языке программирования Delphi [2,3]. В качестве примера на рис. 1 представлен результат расчета коэффициентов полосового фильтра Чебышева третьего порядка со следующими параметрами:

- Тип фильтра – полосовой фильтр Чебышева.
- Порядок фильтра – 3.
- Коэффициент неравномерности – 0.509.
- Полоса пропускания – от 5000 до 10000 Гц.
- Частота дискретизации – 100 кГц.

### III. ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ БИОМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ

Интерфейс программы по обработке биомедицинских сигналов представлен на рис. 2.

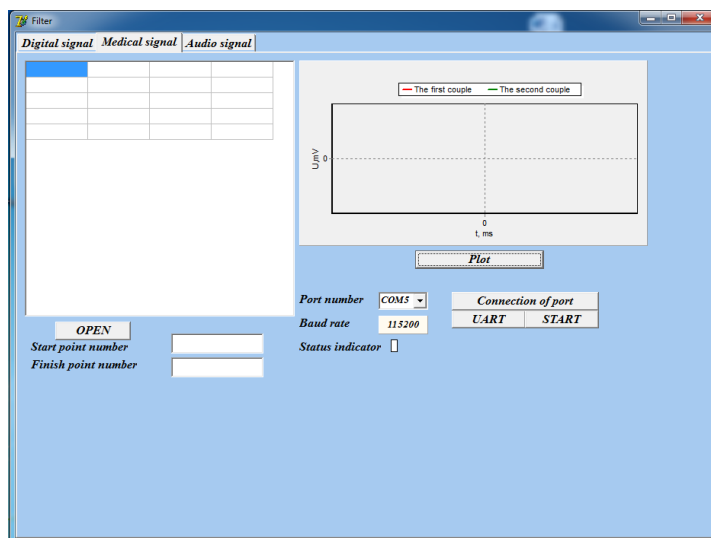


Рис. 2. Интерфейс программы по обработке биомедицинских сигналов



Данная программа позволяет включать в нее оцифрованные таблицы различных биомедицинских сигналов в формате Excel, с целью их дальнейшей обработки. Данные сигналов будут отражаться в табличном поле программы. Поле графика предназначено для визуального наблюдения данных сигналов в нужном диапазоне цифровых отсчетов (Startpointnumber и Finishpointnumber). По нажатию клавиши «Open», в программу можно загрузить необходимый для исследования сигнал. Задав область построения сигнала, и нажав кнопку «Plot», получим диаграмму исследуемого сигнала. На рис. 3 представлен результат вывода сигнала ЭКГ.

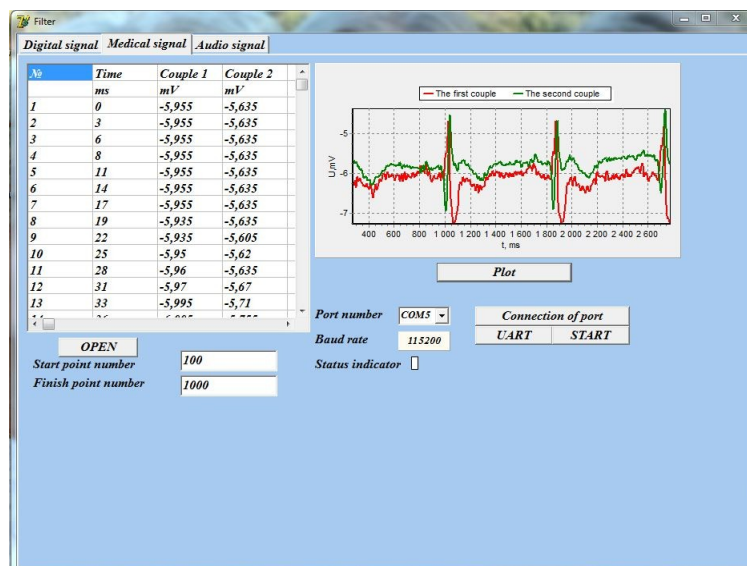


Рис. 3. Интерфейс программы по обработке сигнала ЭКГ

Далее используется блок асинхронной передачи сигнала в микроконтроллер. После отправки данных сигнала в микроконтроллер можно осуществлять обработку данного сигнала с целью выявления различных патологий.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом разработанный программный комплекс позволяет осуществлять расчеты цифровых фильтров различного типа, а также обработку биомедицинских сигналов. Обработка сигналов будет осуществляться в микроконтроллере, причем программа подразумевает изменение параметров обработки и фильтрации в режиме реального времени. Данный комплекс будет использоваться в рамках курса «Аппаратные и программные средства обработки аналоговых сигналов». Тем самым появляется возможность изучения принципов построения программно-аппаратных комплексов различного назначения, включая медицинскую направленность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Математические основы обработки сигналов: учебное пособие / О.С. Вадутов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 212 с.
2. Основы программирования в Delphi 7 / Н. Б. Культин. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 598 с.: ил. + CD-ROM. — Самоучитель. — Предметный указатель: с. 595-598. — ISBN 978-5-94157-269-4.
3. Delphi7 : Справочное пособие / А. Я. Архангельский. — Москва: Бинوم-Пресс, 2003. — 1024 с.: ил. — Предм. указ.: с. 1005-1022. — ISBN 5-9518-0027-7.

**РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ  
В КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ СИСТЕМАХ**

Королюк Е.С., Бразовский К.С.

Научный руководитель: Бразовский К.С., к.м.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: esk13@tpu.ru

**ANALYZING EMBEDDED DEVICE PROGRAMMING SPECIFICATIONS  
IN CRITICAL SYSTEM TO DESIGN PROGRAMMING GUIDELINES**

Korolyuk E.S., Brazovsky K.S.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Brazovsky K.S.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: esk13@tpu.ru

*Безопасность программного обеспечения является важной характеристикой, показывающей вероятность правильности работы программы при различных условиях эксплуатации. Однако разработчики встроенного программного обеспечения не всегда уделяют должное внимание этому аспекту, особенно в критически важных системах. В данной работе рассматриваются международные стандарты и сертификаты безопасности программного обеспечения. На основе исходного кода снятого с производства электрохирургического медицинского аппарата ЭХВЧ-80 компании НПО «НИКОР» анализируются вопросы обоснованности выбора языка программирования и использованной архитектуры. Приводится алгоритм работы программы, а также описаны основные задачи, выполняемые микроконтроллером. В заключительной части статьи, на основе анализа программного обеспечения автор предлагает рекомендации по упрощению поддержки и возможные варианты уменьшения ошибок, как в коде, так и в архитектуре разрабатываемого приложения. Результаты исследования позволяют повысить безопасность ПО, особенно в критически важных системах.*

*Software safety is an important characteristic, which indicates the probability of correct program operation under different operating conditions. However, embedded software developers do not always focus on this aspect, especially in critical systems. The present article discusses the international software security standards and certificates. The author studies the source code of the presently discontinued electrosurgical device EHVCh-80 by NPO "NIKOR" and analyzes the issues of validity of choosing the programming language and architecture. The paper provides the algorithm of the program's operation and describes the main tasks performed by the microcontroller. In conclusion, the author uses the results of this software's analysis to offer recommendations to simplify software support and possible options to reduce errors, both in the code and in the architecture of the developed application. The results of this research allow increasing software safety, especially in critical systems.*

По мере совершенствования систем управления во встраиваемых системах, необходимо обеспечивать безопасность и надежность проектируемого программного обеспечения, особенно в системах, критичных к безопасности. При создании медицинского оборудования следует понимать, что опасность для пациента может представлять не только отказ каких-либо изделий (электрических, механических и др.), но и ошибки в его программном обеспечении.

Существует ряд международных стандартов и сертификатов безопасности, например, MISRAC [1] или Safety Integrity Level [2]. При использовании данных стандартов анализ безопасности заключается в уменьшении потенциального источника вреда и сведении его к минимуму, путем рассмотрения этапов проектирования устройства, начиная от разработки и заканчивая выводом из эксплуатации.

Сертификация Safety Integrity Level (SIL) – системный уровень надежности появилась из-за крупнейших аварий, произошедших в промышленности: Бхопальской катастрофы (1984 год), утечки газа на нефтедобывающей платформе Piper Alpha (1988 год) и других. В ходе расследования этих событий были выдвинуты требования со стороны правительственных структур для проверки систем, отвечающих за безопасность. Появилось несколько международных стандартов ISA-S84 [3] и IEC 61508/61511[4], вошедших в основу отечественных стандартов, например, ГОСТ Р МЭК 61508-1-2007 [5]. Значение уровня надежности зависит от того, будет ли система подвергаться менее или более строгим требованиям.

Стандарт MISRA является набором дополнительных правил (требований) для разработки программного обеспечения на языке СИ в дополнение к стандартным правилам.

Использование языка высокого уровня, при написании программ для микроконтроллера добавляет некоторые преимущества по сравнению с языком ассемблера. Языка ассемблера имеет свои достоинства. Главными являются быстрота выполнения и малый размер кода, однако и недостатки в виде плохой читаемости и трудности поддержки, что добавляет дополнительных трудностей, если необходимо добавление новых функций или изменения структуры программы. Неправильно используемая команда может изменить данные и вызвать неправильную работу прибора. Из-за жесткой привязанности языка к определенной платформе, невозможно производить автоматический анализ кода на безопасность.

Причины популярности языка СИ во встраиваемых системах просты. Конструкции языка легко сопоставляются машинным инструкциям, язык стандартизирован. Программный код становится независим от типа контроллера и возможен перенос программы на разные платформы.

Помимо ошибок в синтаксисе существуют другие проблемы, где стандарт ISO C [6] указывает, что реализация может быть определенной или неопределенной. Начинающие программисты сталкиваются с трудностями применения этого языка программирования. Решением этого является ограничение использования некоторого функционала языка с четко описанными возможностями повышения производительности приложений. Для решения данных проблем Ассоциация по разработке надежного программного обеспечения для автомобильной промышленности (MISRA) выпустила ряд обязательных, требуемых и рекомендованных правил программирования [1].

Медицинская промышленность производит продукцию, которая напрямую воздействует на пациента. Строгие правила обеспечения безопасности, необходимые во время выполнения процедур, требуют дополнительного контроля в течение всего срока жизни изделия, в том числе к программному обеспечению. Жизненный цикл изделия можно разделить на следующие этапы:

- Научно исследовательская работа
- Опытно конструкторская разработка
- Серийное производство
- Поставка
- Эксплуатация
- Ремонт
- Утилизация

В результате, из-за дополнительных требований по внедрению между этапами жизненного цикла проходят длительные промежутки времени. Это обусловлено не только длительностью сертификации, но и необходимостью получения прибыли разработчиком для последующей разработки. Внедрение новых функций и усовершенствование оборудования также является необходимостью. Во время опытно-конструкторской разработки, взятая с запасом, система управления (обычно микроконтроллер или микропроцессор) к моменту необходимого усовершенствования устаревает и для внедрения новых функций программисту приходится использовать дополнительные приемы и нестандартные методы в программировании. Для анализа требований, которые необходимо выдвигать в начале этапа разработки, рассмотрим снятый с производства электрохирургический медицинский аппарат ЭХВЧ-80 компании НПО «НИКОР».

Главным элементом системы управления является микроконтроллер ATmega8 [7]. Программа написана на языке ассемблера в среде AVRStudio. Микроконтроллер выполняет следующие задачи:

- АЦП снимает параметры с датчиков, прикрепленных к пациенту. При завершении преобразования происходит прерывание.
- С помощью ШИМ происходит регулировка мощности выходного сигнала
- При переполнении таймера 0 вызывается прерывание и происходит опрос клавиатуры.
- При переполнении таймера 1 вызывается прерывание и происходит опрос данных с пациента, если прибор не используется, то отключается силовая часть.
- Таймер 2 задействован для сервисных целей. При его переполнении вызывается прерывание и происходит чтение/запись данных для настройки.
- Внешние прерывания срабатывают при нажатии кнопок управления непосредственно на инструменте.
- Выводы общего назначения используются для управления индикаторами, клавиатурой и элементами на силовой части прибора.

Программа работает по следующему алгоритму:

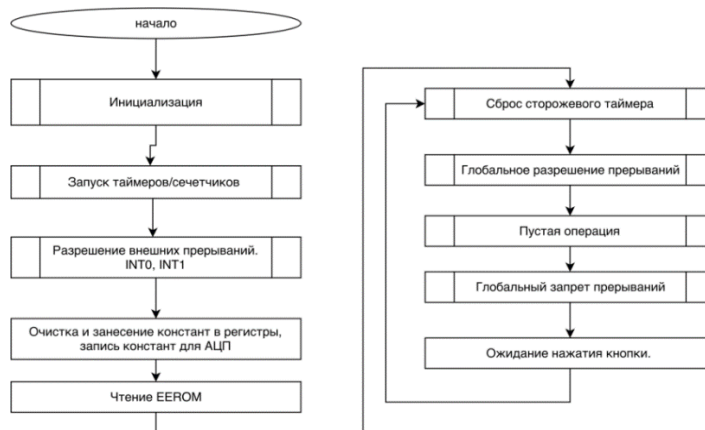


Рис. 1. Алгоритм работы программы аппарата ЭХВЧ-80

Основные действия совершаются во время глобального разрешения прерываний. В это время выполняются условия срабатывания прерываний, в которых выполняются все основные процедуры, и задействуются регистры для флагов, с помощью которых в других участках кода проверяются режимы работы устройства. Реализуется это следующим образом:



Рис. 2. Алгоритм работы прерываний аппарата ЭХВЧ-80

Используемая структура удобна, когда размер программного кода небольшой. При увеличении его размеров появляются проблемы с отслеживанием флагов. Ошибка с флагом может привести к установлению неправильного режима работы прибора. Микроконтроллер Atmega8 имеет 31 доступный регистр, из них программист использовал 4 регистра, что соответствует 32 флагам. При изменении структуры программы и дополнительной поддержке программы необходимо знать назначение каждого флага.

### **Заключение**

В результате анализа архитектуры и программного кода медицинского аппарата ЭХВЧ-80, было выявлено, что в целях повышения надежности написания программного обеспечения во встроенных системах можно сделать следующие рекомендации:

1. Не стоит возлагать большую уверенность на программное обеспечение. Разработчики не должны быть слишком уверены в корректности программного обеспечения. Для облегчения понимания кода не нужно его обфусцировать (запутывать).

2. Необходимость защитного проектирования. Программное обеспечение должно содержать процедуры самопроверки. Необходимо вести журналы работы.

3. Предупредить причины опасных отказов. Хотя и в описанном аппарате предусмотрены независимые предохранители, отключающие аппарат, разработчикам важно помнить об их наличии.

4. Не применять плохие практики программирования. Необходимо, чтобы назначение каждой переменной, управляемой устройством было понятно, и функции, возложенные на нее, описаны. Никогда не стоит использовать одну переменную для управления устройством, особенно это важно в критически важных системах.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. MIRA Limited. "MISRA-C: 2004 Guidelines for the use of the C language in critical systems." Edition 2. Warwickshire, UK: MIRA Limited, July 2008 (ISBN 978-0-9524156-4-0).
2. Manual Safety Integrity Level. Andy Ingrey, Patrick Lerévérénd, Dr. Andreas Hildebrandt [электронный ресурс] – Режим Доступа <http://goo.gl/IrxoKt> . Дата доступа: 10.03.16
3. ANSI/ISA 84.00.01-2004 and Existing Safety Instrumented Systems.
4. IEC 61508/61511 SafetyIntegrityLevel [электронный ресурс] - Режим Доступа <http://goo.gl/IWVZOA> . Дата доступа: 10.03.16.
5. ГОСТРМЭК 61508-2-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам. – М.:Стандартинформ, 2014
6. ISO/IEC 9899:2011 — Information technology — Programming Languages — C.
7. ATmega8535-16PU Atmel 8-bit Microcontrollers [электронный ресурс] –Режим Доступа <http://www.atmel.com/images/doc2502.pdf> . Дата доступа: 10.03.16.

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМОЙ**

Кучер А.В., Чжен Н.В., Фокин А.В.  
Научный руководитель: Фокин А.В., к.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: avk4@tpu.ru

**CONTROLLING SYSTEM OF STABILOMETRIC PLATFORM**

Kucher A.V., Chzhen N.V., Fokin A.V.  
Scientific Supervisor: Ph.D. Fokin A.V.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: avk4@tpu.ru

*В статье рассматривается проблема, связанная с разработкой системы для оценки координационных способностей человека. Многие виды деятельности во многом зависят от координации, что особенно актуально для оценки состояния космонавтов. Существует большое количество систем для оценки вестибулярного аппарата, но немногие из них способны дать полное представление о его состоянии. В данном исследовании были разработаны узлы, позволяющие дополнить комплекс для оценки качества движения динамической платформой, позволяющей менять угол наклона плоскости. Система может быть использована в любых учреждениях, требующих точной оценки вестибулярного аппарата.*

*The article considers the problem of developing systems for assessing coordination abilities of man. Many activities largely depend on coordination, which is especially important for assessing the condition of the astronauts. There are a large number of systems for assessment of the vestibular system, but few of them are able to provide a full picture of his condition. In this study, units were developed that will complement the system to evaluate the quality of motion of the dynamic platform, allowing to change the angle of the plane. The system can be used for any agencies that require accurate assessment of the vestibular system.*

В условиях технического прогресса значительное место занимают проблемы сохранения равновесия, ориентации и координации движений. Вождение транспортных средств, работа с многочисленными механизмами, управление производственными и технологическими процессами предъявляют жёсткие требования к двигательным реакциям. Многие заболевания опорно-двигательного аппарата имеют симптоматику, которая выражается в изменении балансирующих реакций тела пациента в основной стойке, сидя или при ходьбе. Наличие определённых симптомов становится очевидным только при серьёзной патологии. В то же время специальные методы диагностики позволяют обнаруживать такие изменения гораздо раньше [1].

Изучением координации движения занимается область медицинских знаний – стабилметрия. Одним из возможных путей исследования является использование стабилметрических платформ.

Стабилметрическая платформа представляет собой статичную платформу, которая снабжена датчиками измерения вертикально прилагаемой к ней силы для определения центра давления, создаваемого объектом, располагающимся на платформе.

Принцип работы стабилметрического устройства основан на измерении сил, прикладываемых к силоизмерительным датчикам и возникающих в результате размещения исследуемого объекта на опорной поверхности платформы, вычислении координат точки приложения равнодействующей силы, действующей со стороны объекта на опорную поверхность платформы общего центра давления. Цифровой сигнал от стабиллоплатформы поступает в компьютер, где специальная программа по данным измерения анализирует изменение координат общего центра давления человека на опорную поверхность за время исследования [2].

Стабилметрия бывает статической и динамической. Динамическая стабилметрия исследует основную стойку в изменяющихся внешних условиях (перемещение и наклоны платформы, движение

пространства, окружающего пациента). Как правило, эта методика сопровождается исследованием поверхностной ЭМГ. Разработано несколько видов диагностических тестов динамической стабилотрии, например, “тест сенсорной организации” [3]. В настоящее время разработано большое количество комплексов для обследований, в частности стабилотрическая платформа Стабилан-01-2.

Данные платформы позволяют изучать в качестве движения регистрирование изменения положения центра масс человека.

На кафедре медицинской и биологической кибернетики СибГМУ проводится работа по созданию программно-аппаратного комплекса для оценки системы координации движений, включающих в себя стабилотрическую платформу с управлением угла наклона.

В данной работе описывается система управления, позволяющую изменять наклон плоскости стабилотрической платформы в процессе обследования. Это позволит расширить диагностические возможности комплекса.

Стабилотрическая платформа стоит на металлической основе, по центру на карданном шарнире закреплена платформа. Карданный шарнир позволяет осуществлять управление платформой в двух плоскостях под углом 30°.

Стабилотрическая платформа включает в себя актуаторы, металлическую конструкцию, драйверы двигателей, датчики угла наклона.

В качестве системы привода угла наклона могут использоваться как электромеханические, так и гидравлические системы управления. Гидравлические системы, как правило, очень дороги и сложны в работе. Поэтому в нашем проекте было решено использовать актуаторы на основе двигателей постоянного тока для управления углом наклона как более дешевое средство.

Для управления стабилотрической платформой используются два актуатора, один измеряет по оси X, другой – по оси Y.



*Рис. 1. Линейный актуатор ZT-HAD1*

Технические параметры актуатора HAD1.

Длина хода 250 мм

Входной сигнал 12 В DC

Максимальная скорость 8 мм/с

Динамическая нагрузка 1000 Н

Статическая нагрузка 500 Н

Коэффициент заполнения 15 %

IP 65

На стенде были проведены измерения параметров актуатора. Далее разрабатывалась система с драйвером в виде микросхемы L293D, которая является одной из самых известных микросхем, предназначенных для управления положением стабилоплатформы.

Структурная схема стабилометрической платформы представлена на рис. 4.

Стабилометрическая платформа содержит систему привода вращения.

Повороты платформы относительно осей X и Y фиксируются датчиками, выходы которых связаны с входами системы управления и индикации.

Работа стабилометрической платформы происходит следующим образом. При нахождении пациента на платформе проекция его общего центра масс совершает движения относительно центра подвеса платформы. Возникающие при этом моменты сил приводят к деформации упругих элементов и соответственно повороту платформы. Повороты платформы относительно осей X и Y фиксируются актуаторами. Далее вырабатываются сигналы об углах поворота платформы. Сигналы поступают на усилители обратной связи, сигналы которых подаются на устройство силового воздействия на опорную платформу, которое возвращает платформу в первоначальное положение. Использование цепей обратной связи и устройства силового воздействия позволяет минимизировать угловое отклонение платформы, а значит, уменьшить жесткость упругих элементов и повысить точность регистрации движения общего центра масс человека.

Для дополнительного исследования вестибулярного аппарата пациента используется привод вертикального вращения платформы, управляемый по сигналам датчика оборотов [4].

Рассмотрим узел измерения положения угла наклона.

На данный момент разработано огромное количество систем для определения угла наклона, основанных на различных физических эффектах. Задачей работы является измерение угла наклона подвижной стабилометрической платформы. Наиболее используемыми устройствами для определения угла наклона являются акселерометры, гироскопы и различные типы датчиков. Для обработки сигналов, получаемых с датчиков, обычно используются микропроцессорные системы. Рассмотрим некоторые системы для определения угла наклона на их основе.

Одним из вариантов для выполнения поставленной задачи является использование трехосевого акселерометра. Данный акселерометр позволяет отслеживать изменения скорости по трем осям координат.

Углы наклона можно вычислить по формулам:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right) \quad (1)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}}\right) \quad (2)$$

$$\gamma = \arctan\left(\frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}\right), \quad (3)$$

где A - проекция ускорения на соответствующую ось [5].

Таким образом, для определения угла наклона с помощью акселерометра требуется выбрать микросхему акселерометра и микроконтроллер, провести соответствующие настройки и реализовать считывание и преобразование получаемых с датчика данных. Недостатком акселерометра является чувствительность, так как чувствительность изменяется при приближении угла наклона к 90 градусам,



также следует учесть, что изменение положения платформы может быть слишком медленным для регистрации его акселерометром.

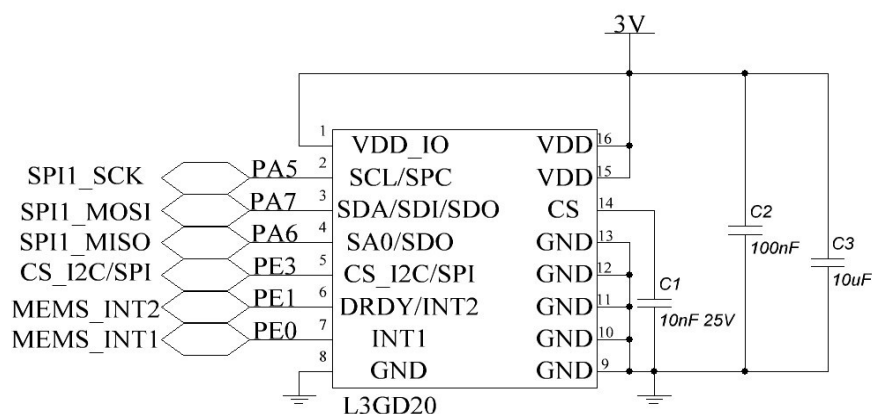


Рис. 2. Схема подключения L3GD20 к микроконтроллеру

Также для определения угла наклона можно использовать различные типы резистивных, индуктивных или емкостных датчиков. Для получения значения угла наклона потребуется использовать несколько датчиков и микроконтроллер. Но учитывая, форму платформы, потребуется несколько датчиков, также для преобразования выходных величин датчиков в углы потребуется калибровка датчиков. Помимо перечисленного, возможно, возникновение трудностей при монтаже датчиков на платформу.

Другим вариантом измерения угла наклона является использование гироскопа. Гироскоп не зависит от ускорения движения платформы, а также монтаж датчика на платформу не представляет особых сложностей. Для выполнения поставленной задачи разработаем подобную систему. Используется отладочную плату STM32F3DISCOVERY для отладки и демонстрации методики измерения угла наклона. На плате монтирована микросхема трехосевого гироскопа(L3GD20)

Рассмотрим измерение угла наклона с помощью гироскопа. В микросхеме предусмотрены два варианта передачи данных: через интерфейсы I2C или SPI. На отладочной плате реализована передача данных через SPI. Внешний цифровой интерфейс реализован по КМОП-технологии, позволяющей создать дизайн, подходящий под характеристики чувствительного элемента датчика. L3GD20 имеет шкалы  $\pm 250/\pm 500/\pm 2000$  dps и может измерять скорость изменения угла в выбранной полосе частот. Для настроек датчика требуется записать в соответствующие значения в регистры, указанные в технической документации. [6]

Датчик выдает значение угловой скорости, для получения значения угла наклона нужно умножить полученное значение на время от начала отсчета. Опрос датчика можно производить, используя таймер, отсчитывая определенное время. При достижении таймером заданного значения вызывается подпрограмма прерывания, в которой происходит съем и конвертация полученных значений угловой скорости. Одним из недостатков гироскопических датчиков является накопление ошибки при неподвижном датчике, для устранения этой ошибки периодически происходит обнуление значения регистров с данными угловой скорости.

Алгоритм программы

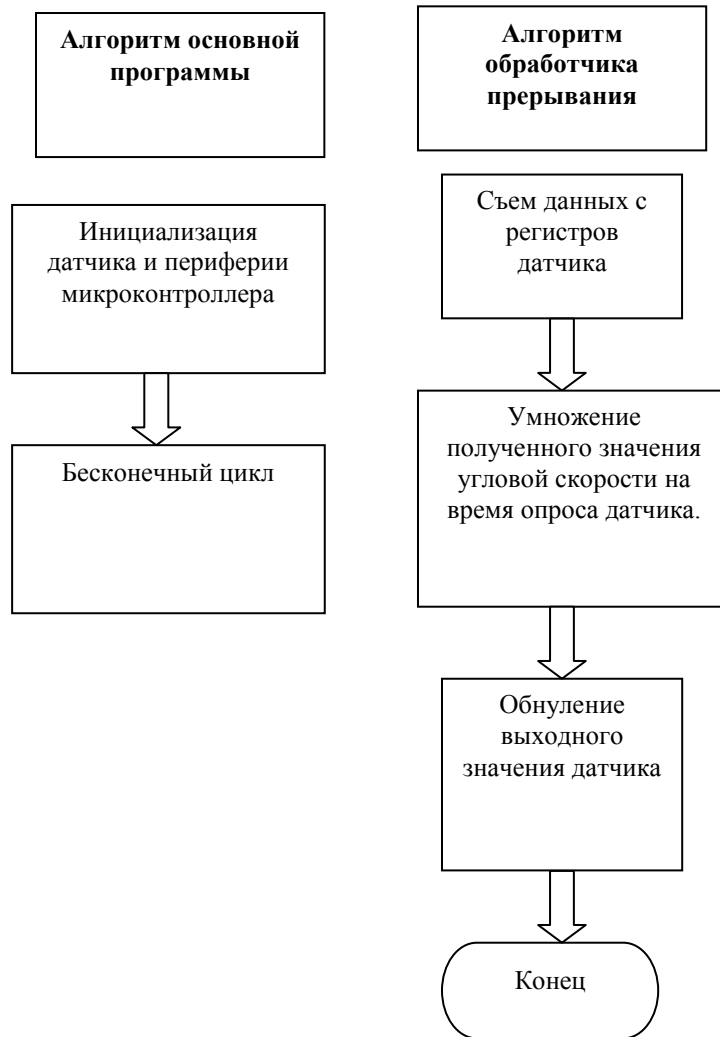


Рис. 3. Алгоритм



Рис. 4. Структурная схема стабилоплатформы

Таким образом, была разработана стабилометрическая платформа, позволяющая измерять угол наклона. Характеристики платформы позволяют расширить диагностическую ценность комплекса. Показано, что применение электромеханических актуаторов позволит добиться приемлемой скорости и точности работы системы управления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL: [http://www.mks.ru/library/conf/biomedpribor/2000/sec01\\_03.html](http://www.mks.ru/library/conf/biomedpribor/2000/sec01_03.html), режим доступа - свободный.
2. Кубряк О.В., Гроховский С.С. Практическая стабилметрия. Статические двигатель-но-когнитивные тесты с биологической обратной связью по опорной реакции. М.: ООО «ИПЦ „Маска“», 2012 — 88 с.
3. Стабилметрическая платформа [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Стабилметрическая\\_платформа](https://ru.wikipedia.org/wiki/Стабилметрическая_платформа), режим доступа - свободный.
4. Н.Е. Мясникова, Г.М. Проскуряков Медико-биологические основы работы стабилметрических платформ // Анализ, синтез и управление в сложных системах: Сборник научных трудов. - Саратовский государственный технический университет, 2009. – с. 15-24.
5. Определение угла наклона акселерометром [Электронный ресурс] – URL: <http://bitaks.com/resources/inclinometer/content.html>
6. STM32F3. SPI и гироскоп L3GD20. [Электронный ресурс] – URL: <http://microtechnics.ru/stm32f3-spi-i-giroskop-l3gd20/>

## **СИСТЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АГРЕГАЦИИ ЭРИТРОЦИТОВ В МИКРООБЪЕМАХ**

Литвинова С.А., Аристов А.А.

Научный руководитель: Аристов А.А., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [litvinova-svetlana@list.ru](mailto:litvinova-svetlana@list.ru)

## **THE APPLICATION OF OSCILLATING SYSTEM TO EXPLORE OF PROCESS OF RED BLOOD CELL AGGREGATION IN MICROFLUIDIC SYSTEMS**

Litvinova S.A., Aristov A.A.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Aristov A.A.

Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [litvinova-svetlana@list.ru](mailto:litvinova-svetlana@list.ru)

*В основе патогенеза многих заболеваний и их осложнений лежат процессы нарушения агрегации эритроцитов, инициирующие развитие тромбоза в сосудах. Существующие приборы, способные регистрировать степень агрегации эритроцитов, имеют ряд недостатков, таких как ошибочные результаты, трудности в интерпретации данных и большой объем крови, используемой при диагностике. Таким образом, разработка точного и стандартизированного прибора для оценки степени агрегации эритроцитов является актуальной задачей на сегодняшний день. В статье представлены результаты исследования, направленного на разработку микрометода оценки степени агрегации эритроцитов. Предложено устройство для первоначальной дезагрегации эритроцитов в капельных пробах. Проведена его апробация. Определены условия для получения необходимых сдвиговых деформаций в капельном образце для полного разрушения эритроцитарных агрегатов. Проведены исследования по оценке агрегации с использованием разных образцов крови, которые подтвердили возможность использования применение данного метода в клинической лабораторной практике.*

*The violation of aggregation process is significant in the pathogenesis of many diseases. However, there are no standardized devices today. The paper focuses on the research method and the technical specifications of the device aimed at investigating of the processes of aggregation of red blood cells. Primarily, in the course of work was defined method for mixing samples. With the help of laboratory device were determined technical specifications of the oscillating systems. In addition, the fact of breaking aggregates proved experimentally. The results of the experimental studies revealed the necessity of using the oscillating system to investigations aggregation of red blood cells.*

Изучение реологических свойств крови всегда привлекало интерес ученых. Этот интерес вызван тем, что подавляющее большинство заболеваний связано с изменениями состава и биофизических свойств крови. Основным фактором, определяющим реологические показатели крови, являются эритроциты, которые составляют 98% от общего объема форменных элементов крови. В патогенезе многих заболеваний большое значение играют гемореологические нарушения. Агрегация эритроцитов – это способность эритроцитов формировать “монетные столбики”, форма которых зависит от нормальных или патологических условий [1]. По характеру и показателям процесса агрегации эритроцитов можно сделать заключение о состоянии здоровья пациента.

Наиболее распространенными методами исследования процессов агрегации эритроцитов являются фотометрические методы. Фотометрический метод регистрации основан на измерении интенсивности светового потока, рассеиваемого кровью в процессе роста агрегатов, после прекращения перемешивания исследуемого образца в специальных кюветках [2]. В большинстве приборов для исследования агрегации используется большие объемы крови порядка 1 мл и более, что связано с конструктивными особенностями фотометрических кювет для исследования данного процесса. Актуальной является задача разработки устройств с использованием малых объемов крови.

На наш взгляд перспективным для создания устройства для исследования агрегации эритроцитов является методика проведения исследований с использованием капельных образцов, которая была успешно использована для оценки процесса оседания эритроцитов [3].

Необходимой операцией при регистрации спонтанной агрегации является первоначальное разрушение клеточных агрегатов, т.е. кровь перед началом исследования процесса агрегатирования должна представлять однородную суспензию. Используемое нами устройство для фотометрирования капельных образцов [4] не содержит системы получения сдвиговых деформаций для разрушения клеточных агрегатов в образце исследуемой крови. Поэтому одной из задач при разработке устройства для исследования агрегации с использованием капельных образцов являлось создание вибрационного механизма, интегрированного в данную измерительную систему.

Требования к колебательной платформе:

- Минимальные размеры;
- Обеспечить сохранность капли; (отсутствие растекания, в процессе вибрации)
- Частота и сила колебания кюветы с пробой, достаточная для разбивания агрегатов.

Для создания системы сдвиговых деформаций было решено использовать электромагнитный блок фокусировки, применяемый в оптических записывающих устройствах (CD-ROM, DVD-ROM). Габариты данного устройства позволили поместить его в камеру первичного преобразователя для фотометрических исследований. Взамен фокусирующей линзы была установлена кювета для размещения капельных образцов. Фото представлено на рисунке 1.

При подведении переменного напряжения к обмоткам электромагнитов, возможны колебания кюветы с образцом в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Дальнейшие эксперименты показали, что наиболее эффективными при разбивке клеточных агрегатов и обеспечении сохранности капли являются перемещение кюветы в горизонтальной области. Изменение амплитуды и частоты колебаний кюветы осуществляется посредством изменения амплитуды и частоты питающего напряжения. После подготовки пробы к исследованию и размещения ее на кювете данная система помещается в фотометрический прибор, подается питание к механизму, разрушающему образовавшиеся агрегаты, полученная однородная суспензия параллельно просвечивается и полученный сигнал записывается на ПК.



Рис.1. Лабораторный макет системы сдвиговых деформаций

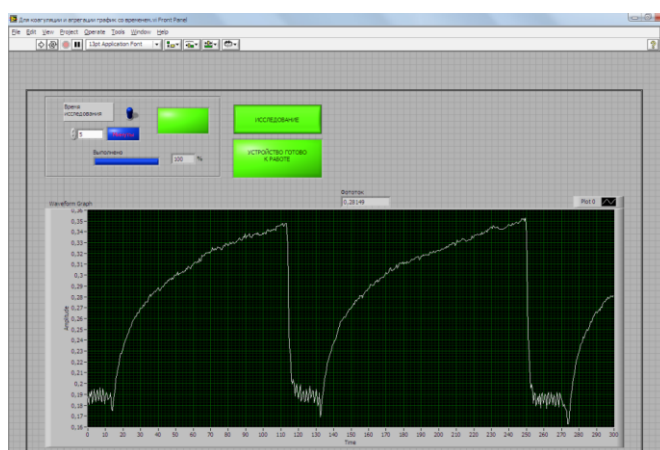


Рис.2. Пример работы программы

Для управления установкой, визуализации и записи данных, полученных при просвечивании пробы крови, используется программа, разработанная в среде LabView. Окно данной программы представлено на рисунке 2.

Представленная на рисунке 2 фотометрическая кривая, отражает процессы образования и разбивки агрегатов в капельном образце.

Начальный момент времени (10с) данного графика отражает процесс разбивания клеточных агрегатов при подаче напряжения на систему вибрации. Дальнейшее увеличение светопропускания (амплитуды) связано с образованием агрегатов. При достижении амплитуды 0,35 В снова включался механизм разбивания и амплитуда также опускалась до значения в 0,19В, это доказывает что данная система сдвиговых деформаций разбивает агрегаты и проба становится однородной. Были подобраны параметры, при которых достигалась максимальная разбивка агрегатов (минимальное светопропускание) и сохранение формы капли:

Напряжение питания ( $U_n$ ) – 2В,

Частота питающего напряжения ( $f$ ) – 80Гц.

Проведение исследований с помощью предложенного устройства, снабженного колебательной системой, обеспечивают воспроизводимость результатов и высокую чувствительность измерительной системы к процессу агрегации эритроцитов.

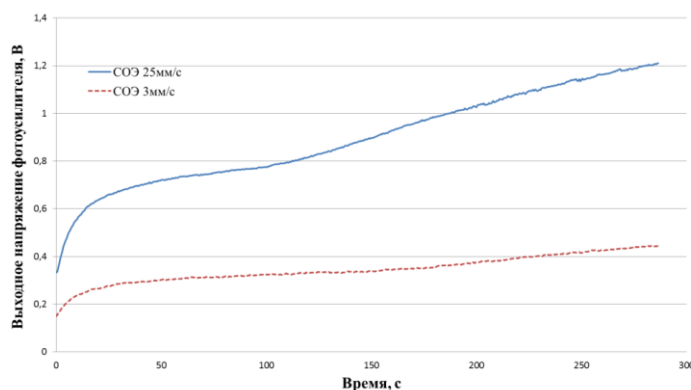


Рис.3. Кривые светопропускания для образцов с разным показателем СОЭ

Чтобы показать возможность оценки степени агрегации эритроцитов были проведены исследования с использованием образцов крови с разной агрегационной способностью. Косвенным показателем степени агрегации является скорость оседания эритроцитов в образцах, которая повышается с увеличением степени агрегации эритроцитов. На рисунке 3 приведены кривые светопропускания, отражающие процесс агрегации образцов крови с разным значением СОЭ. Как видно у образца с большим показателем СОЭ наблюдается большая скорость и амплитуда нарастания сигнала.

Проведенные исследования показали, что предложенная система сдвиговых деформаций соответствует основным заявленным требованиям и может быть использована в системе оценки агрегации эритроцитов. Таким образом, данная колебательная система может быть использована при создании фотометрического прибора для исследования агрегации эритроцитов в микрообъемах. В дальнейшем планируется доработать конструкцию устройства в плане удобства ее практического использования и провести его клинические испытания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воейков В.Л. Физико-химические и физиологические аспекты реакции оседания эритроцитов / В.Л. Воейков // Усп. Физиол. Наук., 1998. – Т. 29, № 4.
2. Попова Е.В., Аристов А.А. Устройство для оценки параметров агрегации эритроцитов // XIV международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии» . – Томск, 2008. – т. 1. – с. 226–228.
3. Способ определения динамики оседания клеток крови: пат. 2379687 Рос. Федерация: МПК G01N33/49 Оpubл.20.01.2010
4. Устройство для оценки физических свойств биологических жидкостей: пат. 47526Рос. Федерация: МПК G01N33/49 Оpubл. 27.08.05.

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ**

Новосельцева А.П.<sup>1</sup>, Мусоров И.С.<sup>1</sup>, Торгаев С.Н.<sup>1,2</sup>, Аристов А.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Аристов А.А., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,  
г. Томск, пл. Академика Зуева, 1, 634050  
E-mail: aristov@tpu.ru

## **THE CONTROL SYSTEM OF THE OPOTOELECTRONIC SENSOR**

Novoseltseva A.P.<sup>1</sup>, Musorov I.S.<sup>1</sup>, Torgaev S.N.<sup>1,2</sup>, Aristov A.A.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Aristov A.A.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

<sup>2</sup>V.E. Zuev Institute of atmospheric optics SB RAS, Russia  
Tomsk, Academician Zuev square, 1, 634050

E-mail: aristov@tpu.ru

*В данной статье описана система для съема сигнала с фотоприемника с автоматической подстройкой коэффициента усиления, которая является частью макета установки для обнаружения гематом мозга на основе ближней инфракрасной спектроскопии. Рассмотрены существующие на сегодняшний день приборы, работающие на данном принципе, выявлены их слабые места, устранение которых для нас является основной задачей. В статье указываются недостатки разработанного нами макета и излагаются возможные пути его дальнейшего совершенствования.*

*The article describes a system for obtaining signal from the photodetector with automatic amplification gain tuning, which is part of the device for the hematoma detection using near-infrared spectroscopy. It considers existing devices that operate in accordance with the principle of near infrared spectroscopy and reveals their limitations the illuminations of which are our key objective. The limitations of the designed unit are described and possible ways of upgrading the system are outlined.*

При травмах головного мозга очень важно быстро выявить наличие внутричерепных гематом. На сегодняшний день основным инструментальным методом для выявления повреждений мозга является томография, однако возможность проведения томографического обследования пациента сразу после получения травмы практически отсутствует. В связи с этим, является актуальной задача создания прибора оперативно выявляющего наличие внутричерепных повреждений. Решением данной проблемы может быть использование такого метода диагностики как ближняя инфракрасная спектроскопия. Данный метод основан на том, что спектры поглощения молекул являются характеристическими для некоторых веществ, а интенсивность их поглощения связана с содержанием поглощающего компонента в облучаемом объекте. Данный метод безопасен как для оператора, так и для пациента, т.е. его использование позволит исследовать органы и ткани животных и человека без нанесения какого-либо ущерба организму [1].

Компания InfraScan разработала прибор Infrascannermodel 1000 и Infrascannermodel 2000 [2, 3], который представляет собой переносной детектор внутричерепных гематом, работающий в ближнем ИК-диапазоне (808 нм). Согласно опубликованным экспериментальным исследованиям, осуществленным на моделях внутричерепных кровоизлияний, и клинические испытания показали достаточно высокую диагностическую чувствительность аппарата. Данный сканер позволяет выявить наличие гематом с вероятностью 91% (при залегании гематомы не более 2,5 см от коры мозга и размером более 3,5 см<sup>3</sup>) [4, 5].

Однако данное устройство не позволяет определить параметры самой гематомы (объем, глубина залегания, плотность, точная локализация), которые имеют важное диагностическое значение для проведения дальнейших реанимационно-реабилитационных мероприятий. Так как диагностика ведется дифференциальным способом, путем сравнения оптических свойств симметричных участков на поверхности головы в точно заданных точках остается значительная доля вероятности не “заметить”

небольшие или глубоко залегающие гематомы вне этих зон. Следовательно, необходимо дальнейшее совершенствование метода и устройства с целью получения более совершенных медико-технических характеристик.

Мы разрабатываем макет устройства для проведения лабораторных исследований по поиску возможных путей улучшения диагностических возможностей оптического метода обнаружения гематом. Задачи, которые будут решаться при эксплуатации данного устройства, это определение оптимальной конструкции первичного измерительного преобразователя, в частности, поиск наилучшего пространственного расположения источников и приемников излучения над диагностируемой областью и разработка алгоритма обработки сигнала с фотоприемников. Так как в процессе лабораторных испытаний необходимо оценивать возможности метода по определению размеров и положению гематом, устройство будет испытываться на фантоме головы позволяющем задавать различные диагностические случаи, что также должно быть учтено при разработке его конструкции.

В статье [6] был описан лабораторный макет для проведения лабораторных исследований с целью разработки методики и конструкции устройства, позволяющего диагностировать гематомы мозга. В ходе экспериментальных испытаний был выявлен ряд недостатков при работе устройства. Так, при практическом использовании прибора сигнал на фотоприемниках менялся в достаточно широком диапазоне, поэтому требуется подстройка коэффициента усиления усилителя в зависимости от снимаемого сигнала для получения минимальной погрешности при дальнейшем его измерении. Данная процедура на лабораторном макете осуществлялась вручную.

В данной работе представлены результаты по решению задачи разработки системы управления оптоэлектронным измерительным преобразователем с автоматической подстройкой коэффициента усиления. Для подстройки коэффициента усиления было принято решение использовать цифровой резистор, установленный в обратной связи усилителя.



Рис. 1. Структурная схема устройства

Структурная схема устройства для съема данных с фотоприемника приведена на рис. 1. Фотоприемник преобразует световой импульс (красный и/или инфракрасный) в электрический сигнал. Полученный сигнал приходит на трансимпедансный усилитель, который преобразует ток в напряжение. Далее сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь. Цифровой сигнал поступает в микроконтроллер, который реализует цифровую фильтрацию с целью выделения постоянной составляющей. Выделенный сигнал поступает на цифро-аналоговый преобразователь и далее на вычитающее устройство. Таким образом, после вычитающего устройства мы получаем сигнал без постоянной составляющей. Затем при помощи усилителя с регулируемым коэффициентом усиления



происходит усиление сигнала до определенного уровня, задаваемого микроконтроллером. По данной структурной схеме была спроектирована принципиальная схема (рис.2).

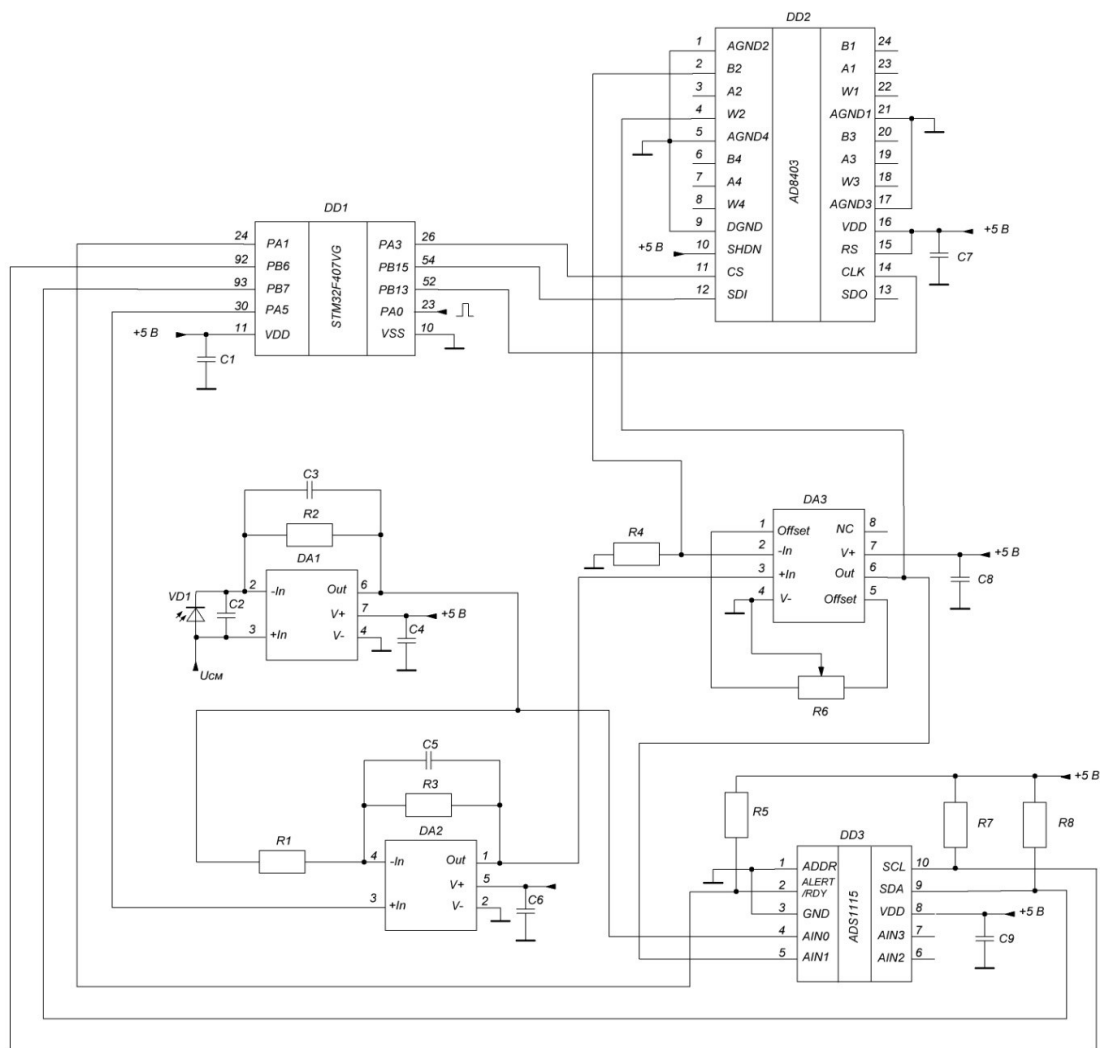


Рис. 2. Принципиальная схема устройства

На рис.3 приведен алгоритм работы программы микроконтроллера для автоматической подстройки коэффициента усиления. По внешнему прерыванию начинается съем данных с фотоприемника. Сначала происходит проверка того, была ли установлена переменная Check в 1, ее установка в 1 будет означать, что процесс преобразования сигнала с фотоприемника аналогово-цифровым преобразователем завершен. Затем происходит считывание и запись значений с АЦП в переменную ADC\_val. Далее происходит проверка того лежит ли значение ADC\_val, полученное с АЦП, в требуемом диапазоне значений (0.6–0.9 от максимального выходного значения АЦП). Если ADC\_val не лежит в заданном диапазоне, тогда необходимо произвести подстройку коэффициента усиления  $K_u$ . Если же ADC\_val лежит в заданном диапазоне, тогда на ПК можно отправить значение с АЦП и текущий коэффициент усиления. Подстройку коэффициента усиления осуществляем следующим образом: сначала рассчитываем необходимое значение коэффициента усиления, затем выбираем из ряда теоретических значений коэффициентов усиления, которые можно получить с помощью цифровых резисторов, ближайшее к рассчитанному коэффициенту усиления, и устанавливаем выбранное значение.

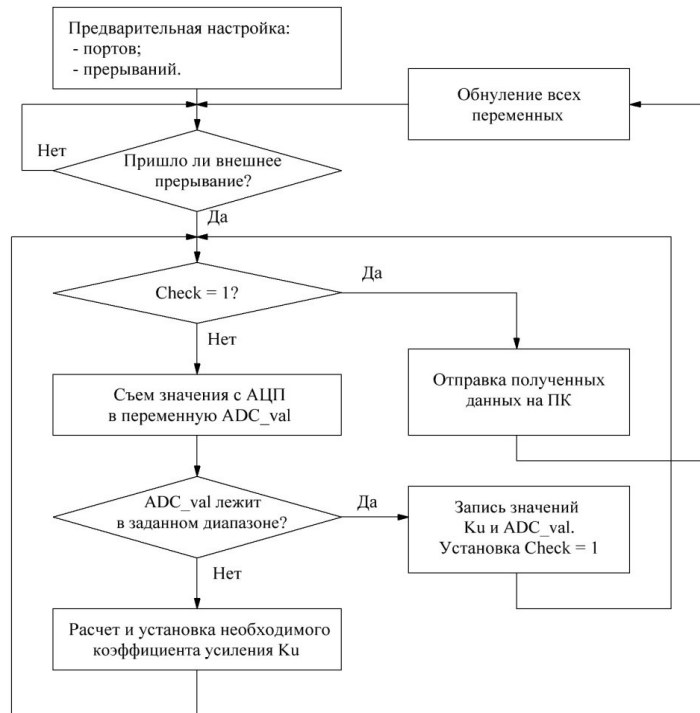


Рис. 3. Алгоритм работы программы микроконтроллера

В результате работы в лабораторный макет была внедрена система для съема сигнала с фотоприемника с автоматической подстройкой коэффициента усиления. В дальнейшем планируется разработать программное обеспечение для обработки и визуализации информации, получаемой с устройства, а также усовершенствовать конструкцию источников и приемников излучения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимняков Д.А., Тучин В.В. Оптическая томография тканей // Квантовая электроника, 2002, 32 (10), 849-867.
2. [Электронный ресурс] / The InfrascannerModel 1000. –Режим доступа: <http://www.infrascanner.com/solutions/the-infrascanner-model-1000/>, (10/03/2016.).
3. [Электронный ресурс] / The InfrascannerModel 2000. - Режим доступа: <http://www.infrascanner.com/solutions/the-infrascanner-model-2000/>, (10/03/2016.).
4. Bressan S., Daverio M., Martinolli F., Dona D., Mario F., Steiner I.P., Da Dalt L. The use of handheld near-infrared device (Infrascanner) for detecting intracranial hemorrhages in children with minor head injury // Childs Nerv Syst, Nov 2013, V.30, pp 477-484.5.
5. Robertson C.S., Zager E.L., Narayan R.K., Handly N., Sharma A., Hanley D. F., Garza H., Maloney-Wilensky E., Plaum J.M., Koenig C.H., Johnson A., Morgan T. Clinical Evaluation of a Portable Near-Infrared Device for Detection of Traumatic Intracranial Hematomas // Journal of Neurotrauma. September 2010, V. 27, No. 9: 1597-1604.
6. Новосельцева А.П., Тимченко К.А., Аристов А.А. Experimental facility control system for optical studies in the frame of problem solving of brain hematoma diagnostics// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – V. 93.

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА АРИТМИИ  
И ВНЕЗАПНОЙ СЕРДЕЧНОЙ СМЕРТИ**

Солдатов В.С., Бояхчян А.А., Оверчук К.В., Уваров А.А., Лежнина И.А.  
Научный руководитель: Лежнина И.А., к.т.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: bojahchyan@yandex.ru

**DEVELOPMENT OF THE DEVICE FOR MONITORING OF ARRHYTHMIA  
AND SUDDEN CARDIAC DEATH**

Soldatov V.S., Boyakhchyan A.A., Overchuk K.V., Uvarov A.A., Lezhnina I.A.  
Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Lezhnina I.A.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: bojahchyan@yandex.ru

*За последние несколько лет спрос на рынок телемедицины в области диагностики сердечно-сосудистых заболеваний сильно вырос и продолжает расти. Одной из причин является тот факт, что сердечно-сосудистые заболевания лидируют в структуре смертности в мире и в ответ на это создано большое количество устройств для диагностики состояния сердца. Подавляющая часть таких устройств предназначена для медицины, а для развлечения и спорта. С этой целью, актуальным является разработка устройства, адаптированного под медицину.*

*During several last year's demand to the cardiac telemedicine has significantly grown and keeps growing even today. The main reason of such a growth is high mortality from cardiovascular diseases. Moreover, as a possible solution a big amount of personal heart checking devices was invented, but the major part of these gadgets is build not like a medical tool, but for sports and entertainment. Totally, these reasons leads to the high interest for medically adopted heart checking devices.*

В мировой структуре смертности сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) занимают первое место. Примерно 17 млн. человек в год умирает от ССЗ. Из них 50% приходится на внезапную сердечную смерть (ВСС), которая в 80% случаев начинается с аритмии и фибрилляции сердца [1]. Выживаемость от ВСС около 1 %. Проблема диагностики аритмии заключается в том, что данное заболевание имеет эпизодический характер и проявляется хаотично. Человек может не почувствовать, что у него был приступ. Из-за хаотического проявления аритмии при разовом снятии ЭКГ ее трудно выявить и поэтому нужно проводить повседневный мониторинг. Для этих целей предпочтительно использовать постоянно носимые устройства.

Существует множество различных устройств для диагностики нарушений сердца, такие как ЭКГ холтеры, различные фитнес-трекеры и пульсометры. Существенным ограничением ЭКГ холтеров является то, что они используются только по требованию, т.е. уже после того, как у человека появились какие-то симптомы. А пульсометры и фитнес-трекеры не позволяют проводить регистрацию ЭКГ, без которой нельзя судить о характере аритмии. Также пульсометры плохо работают в условиях нестационарного ритма, так как они используют оптические датчики, которые не успевают зафиксировать быстрые изменения ритма характерные аритмии. Подобные устройства не адаптированы под медицинское применение и ни один врач не станет доверять данным, полученным с фитнес-трекеров или умных часов [2].

Были проведены патентные исследования, большинство из них являются открытыми. Большинство устройств, которые были найдены при проведении патентных исследований, также являются устройствами по требованию (Рис.1), а используемые в них медицинские электроды (AgCl) не позволяют достичь стабильности измерений в различных условиях [3]. Все активные действия, которые совершает человек, сказываются на полученных показаниях датчиков. Также, негативно, на медицинские электроды влияют волосяной покров, повышение температуры тела, влажность и пот. Таких факторов нужно избегать.



Рис. 1. Чехол для регистрации ЭКГ для мобильного телефона компании AliveCor

В связи с вышеперечисленными недостатками было принято решение создать браслет-монитор для регулярного ношения, который будет выявлять эпизоды аритмии и проводить регистрацию ЭКГ в реальном времени. Отличительной чертой прибора будет возможность автоматически определять жизнеугрожающие эпизоды аритмии и при угрозе сообщать врачу. Также, наравне с указанными функциями, ключевыми факторами успешного применения являются простота эксплуатации и ценовая доступность.

Был разработан метод регистрации эквивалента одноканальной ЭКГ с одной руки. Обычно для получения стабильной ЭКГ используют точки на теле, которые расположены на большом расстоянии друг от друга и желательно по разные стороны электрической оси сердца. При разработке браслета использовался метод регистрации эквивалента ЭКГ с одной точки. Форма такого эквивалентного сигнала ЭКГ отличается от первого стандартного отведения, но дает возможность определить фазы сокращения и расслабления сердечной мышцы, что способствует диагностики аритмии.

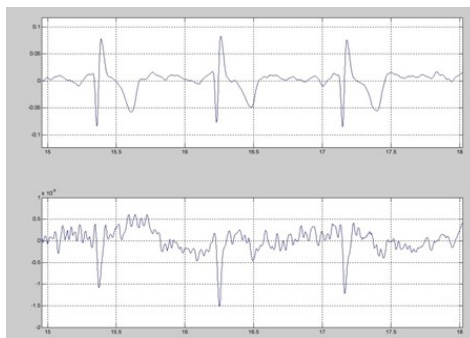
Чтобы доказать возможность регистрации ЭКГ таким способом была собрана измерительная схема – макет будущего устройства (рис. 2). Проводились эксперименты по регистрации ЭКГ. Снималась ЭКГ по двум каналам. Помимо регистрации ЭКГ с одной руки, использовалось еще грудное отведение, т.к. с него можно получить достаточно сильный сигнал. Этот сигнал использовался как эталонный и сравнивался с электрокардиограммами, полученными с руки.



Рис. 2. Измерительная схема устройства

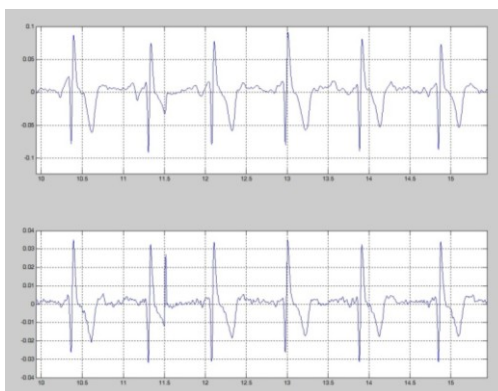
На представленном изображении (рис. 3) показаны зарегистрированные ЭКГ полученные с грудных отведений и с одной руки (бицепс левой руки). По полученным данным можно сделать вывод о том, что получить ЭКГ с одной руки вполне реально. Сигнал получился инвертированным по отношению к ЭКГ груди, но хорошо наблюдаются R-зубцы, что уже можно считать положительным результатом. Амплитуда

полученного сигнала слабее, потому, что проекция ЭКГ с бицепса слабее, поэтому не проглядывается полностью QRS комплекс, теряется в помехах.



*Рис. 3. Пример снятой ЭКГ полученные с груди (сверху) и руки (снизу)*

Более удачным примером является электрокардиограмма, снятая с запястий обеих рук (рис. 4). Если сравнивать его с ЭКГ полученной с грудного отведения, можно увидеть что R-зубцы и QRS комплекс совпадают, а значит можно говорить о достоверности данного эксперимента.



*Рис. 4. ЭКГ полученные с груди (сверху) и с запястья правой и левой руки (снизу)*

В дальнейшем, необходимо усовершенствование измерительной схемы, а именно нужно усиливать полученный сигнал и использовать соответствующие фильтры. Также, вместо медицинских электродов, будут использованы емкостные электроды, которые лишены недостатков медицинских электродов. Это повысит помехоустойчивость и стабильность сигнала. Ведется разработка устройства в форме браслета либо манжеты на плечо.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global Telemedicine Market (2015-2019), Mordor Intelligence, August 31, 2015.
2. Ростислав Ж. Медицинские технологии будущего [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://kardi.ru/ru/index/Article?&ViewType=view&Id=52>.
3. Бояхчян А.А., Оверчук К.В., Стасевский В.И., Солдатов В.С., Уваров А.А., Лежнина И.А. Проект браслета-монитора аритмии [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2016/1552/23150>.

**ПОРТАТИВНАЯ ИНГАЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДОЗИРОВАННОЙ ДОСТАВКИ  
ИНСУЛИНА**

Спиридонова А.К., Жук В.В., Нам И.Ф.  
Научный руководитель: Нам И.Ф., доцент, к.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: alyona.avot@yandex.ru

**PORTABLE INHALATION SYSTEM FOR A DOSED INSULIN SUPPLY**

Spiridonova A.K., Zhuk V.V.  
Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Nam I.F.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: alyona.avot@yandex.ru

*Интенсивная инсулинотерапия необходима для контроля состояния пациентов с диабетом. Несмотря на постоянное усовершенствование инсулинотерапии, все ещё существует проблема неудобства режимов многократных инъекций инсулина. Целью данной работы является создание системы, позволяющей осуществлять ингаляцию инсулина.*

*Intensive insulin therapy is necessary for the control of a condition diabetic patients. Despite the constant improvement of insulin therapy, there is still the problem of discomfort repeated regimes of insulin injections. The objective of this work is to create a system that allows the inhalation of insulin.*

Сахарный диабет – это тяжелое хроническое заболевание, которое уменьшает срок жизни человека в среднем на 13 лет. Диабет в 2-4 раза увеличивает риск сердечно-сосудистых заболеваний, таких как инфаркт миокарда, инсульт и др. Кроме того, он приводит к развитию слепоты, хронической почечной недостаточности, ампутациям конечностей. Сахарный диабет располагается на шестом месте среди причин смерти, а если при этом учесть заболевания, приобретенные при этой болезни и регистрирующиеся в качестве причин смертности отдельно, можно утверждать, что смертность при нем намного выше. Следует также отметить, что лечения сахарного диабета очень дорогостоящая и болезненная процедура [1, 4].

Все вышеперечисленное объясняет важность разработки современного эффективного и безболезненного метода доставки инсулина в организм пациента больного сахарным диабетом. Данная технология направлена на снижения смертности больных, повышения качества их жизни и уменьшения затрат системы здравоохранения. Ингаляционное введение инсулина в настоящее время система ингаляционного введения инсулина, является инновационным методом, в котором заинтересованы как врачи, так и сами пациенты, больные сахарным диабетом. Все это обусловлено тем, что при всей эффективности инъекционных способов введения инсулина, пациенты испытывают дискомфорт от необходимости постоянных инъекций. Эта проблема приводит к тому, что больные всячески стараются избежать применения инсулина, что обуславливает длительное (порой годами) течение диабета с некомпенсированной гипергликемией. «Страх иглы» у пациентов на сегодня явно недооценивается: до 70% пациентов из тех, кто нуждаются в инсулине, не желают переходить на инсулинотерапию; 70% из тех, кто уже принимают инсулин, против увеличения числа инъекций. Этим объясняется страх пациентов перед инсулинотерапией, но ни в коем случае не оправдывает отказ от инсулина в тех случаях, когда без него нельзя обойтись [3, 5].

***Методы доставки инсулина***

На данный момент существует огромное количество препаратов и способов их введения для инсулинотерапии, более того, данный список постоянно растет. Наиболее распространенным способом введения инсулина являются подкожные инъекции с использованием стандартных шприцов и игл. В

течение последних двух десятилетий было сделано большое количество попыток разработки других способов введения [2].

1. Инсулиновые шприц-ручки. Эта система внешне напоминает шариковую ручку с одноразовым картриджем, содержащем лекарство (обычно 300 единиц инсулина). Необходимое количество единиц инсулина набирается путем поворота нижнего сегмента ручки. Игла располагается в месте кончика ручки и меняется перед каждым использованием. Доставка четко фиксированного количества лекарства и введение иглы только под кожу обеспечивается за счет спускового механизма.
2. Инсулиновая помпа. В состав инсулиновой помпы входит насос, питающийся от батарейки, резервуар для лекарства и компьютерный чип, позволяющий пациенту контролировать количество вводимого в организм лекарственного препарата. Инсулиновая помпа работает по следующей технологии: Инсулин проходит в организм пациента через полую мягкую иглу, соединенную с насосом тонкой пластиковой трубкой. Игла вставляется под кожу пациента (чаще всего на животе) и меняется с периодичностью в два дня.
3. Ингаляционный инсулин. Капсулу с порошковый или жидким инсулином вводят в ингалятор небольших размеров, далее пользователь вдыхает лекарственный препарат методом ингаляции. Особенностью данной технологии является то, что через легкие инсулин быстро всасывается в кровь. Пик активности инсулина наступает в течение 12 - 15 минут и прекращает своё действие достаточно быстро. В отличие от традиционного жидкого инсулина, при применении порошкового инсулина нет необходимости в обязательном хранении в холоде и препарат можно хранить при комнатной температуре.
4. Интраназальный инсулин. Считается перспективным, но пока что так и не оправдавшим себя методом доставки инсулина. Основным недостатком является то, что данный способ введения вызывает раздражение слизистой полости носа и не обеспечивает должного всасывания препарата.
5. Чрезкожный инсулин (трансдермальный способ). Заключается в наклеивание самоклеящегося пластыря на кожу пациента. На сегодняшний день также не оправдал ожиданий.
6. Таблетированная форма приема инсулина. Считается менее эффективным направлением. Это связано с тем, что инсулин разрушается под воздействием пищеварительных ферментов, находящихся в кишечнике.

***Достоинства ингаляционного способа введения инсулина:***

- Данная технология обеспечивает равномерное распределение и одномоментное всасывание всей дозы инсулина в кровь за счет большой всасывающей поверхности альвеол.
- Ингаляционный инсулин обладает ультрабыстрой усвояемостью организмом, что ускоряет начало его действия после введения.
- Снижение потребности в инъекциях, т.е. отсутствие проколов тела и других неприятных манипуляций.
- Порошковый инсулин, используемый при ингаляции не нуждается в обязательном хранении в холоде и его можно хранить при комнатной температуре.

***Недостатки существующей технологии ингаляционного способа введения инсулина:***

- Невозможно применения препарата при хронических заболеваниях легких, бронхиальной астме и других обструктивных заболеваниях легких, а также у курильщиков, при пневмонии и хроническом кашле.
- Прогнозируемая цена инсулина 270\$ в месяц при учете, что вам необходимо 30 единиц в сутки.

- Сложность создания частиц инсулина размера необходимого для прохождения воздушно-легочного барьера (оптимальным размером считается от 1 до 5 микрон). От этого зависит как глубоко инсулин попадет в легкие, и какая его часть попадет в альвеолы и диффундирует в кровь.
- Проблема определения точной дозировки действующего вещества.
- Возможность использовать существующий пластиковый ингалятор не более 15 дней, т.к. в дальнейшем устройство может засориться.
- Необходимость обучения технологии использования ингаляционного инсулина.
- Отсутствия контроля правильного приема ингаляционного инсулина.

**Структурная схема портативной ингаляционной системы для дозированной доставки инсулина**

Данная ингаляционная система позволит контролировать корректность приема инсулина пациентом. Терапевтическая доза кристаллического инсулина нанесена внутрь пористого материала методом электроформования. При вдохе с необходимой силой у включенного прибора срабатывает светодиодный индикатор и через 10 секунд вдоха издается звуковой сигнал об окончании операции приема лекарства.

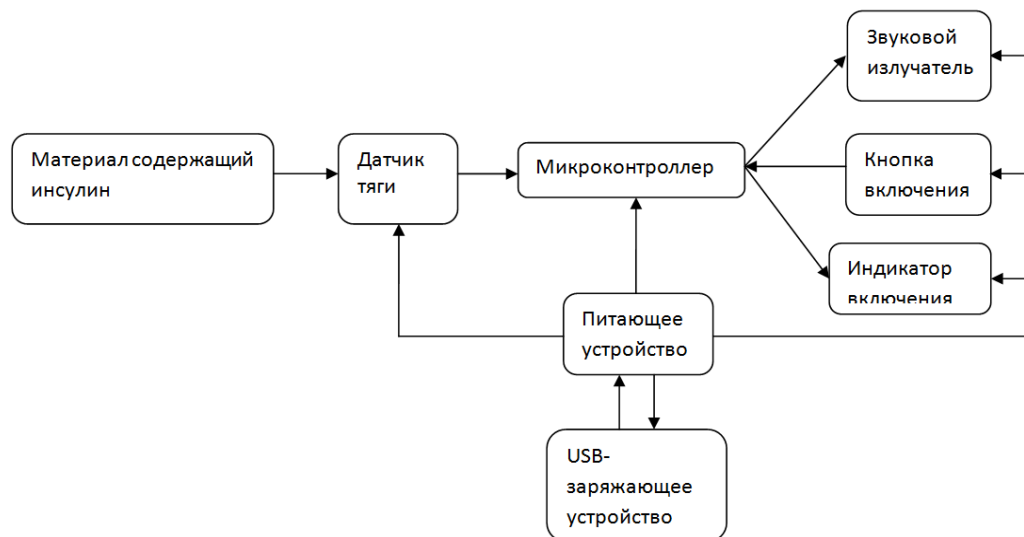


Рис. 1. Структурная схема портативной ингаляционной системы для дозированной доставки инсулина

*Материал содержащий инсулин* - инновационный пористый материал, с нанесенной на поверхность терапевтической дозой инсулина (4, 8, 12 ЕД)

*Датчик тяги* срабатывает при вдохе с определенной силой, достаточной для приема лекарственного препарата. При его активации подаётся сигнал на микроконтроллер, внутри которого запускается счетчик времени, в течение которого пациент должен принимать лекарственный препарат с вдыхаемым воздухом.

*Микроконтроллер* через 10 сек. после начала работы датчика тяги, активирует звуковой излучатель, для подачи звукового сигнала.

*Кнопка включения*, по нажатию этой кнопки происходит включение прибора.

*Питающее устройство*- литиевый аккумулятор, питающий элементы схемы.



*USB-заряжающее устройство*- устройство для заряда литиевого аккумулятора через стандартный USB разъем.

### **Заключение**

Применения инсулинотерапии- это радикальный, а в большинстве случаев единственный метод для поддержания жизни и трудоспособности больных сахарным диабетом. Создание безболезненной, не инъекционной отечественной технологии введения инсулина в организм пациента позволяет решить многие проблемы диабетологии России и спасти жизни миллионов людей, страдающих сахарным диабетом.

Создание ингаляционной системы доставки инсулина является востребованным в клинической практике методом. Данная технология введения идеально подходит для больных сахарным диабетом первого и второго типа. Ингаляционный инсулин может во многом улучшить качество жизни пациента. Это связано с тем, что нет необходимости соблюдать температурные режимы препарата, его можно всегда носить с собой и в случае необходимости приема препарата, при данном методе введения инсулин обладает особо быстрым воздействием на организм и улучшению самочувствия пациента.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Как научиться жить с диабетом / Пер. с англ. О. Лифсон / Е. Аметов, [и др.] - М.: Интерпракс, - 2009. - 109 с.
2. Каминский А.В. Сахарный диабет и ожирение: клиническое руководство по диагностике и лечению / А.В. Каминский, А.Н. Коваленко; 1. - Киев: Изд., 2010. - 256 с.
3. Зубаерова Д.Х. Биомедицинская химия / Д.Х. Зубаерова, Н.И. Ларионова; МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, М.: 2009, том 54, вып. 3
4. Ефимов А.С. Клиническая диабетология / А.С. Ефимов, Н.А. Скробонская; К.: Здоровья, 2009. - 320с.
5. Смирнова М.Н. Инсулинотерапия: пособие для врачей / М.Н. Смирнова [и др.] - ГУ ЭНЦ РАМН, 2009. - 30 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК СЪЕМА ЗНАЧЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ ПЛОТНОСТЕЙ ТКАНЕЙ С ПОВЕРХНОСТИ ГОЛОВЫ**

Тимченко К.А., Новосельцева А.П., Аристов А.А.  
Научный руководитель: Аристов А.А., к.т.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: tina\_tim7@mail.ru

### **RESEARCH OF THE METHODS FOR READING OPTICAL DENSITY ON DIFFERENT PART OF HUMAN HEAD**

Timchenko K.A., Novoseltseva A.P., Aristov A.A.  
Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Aristov A.A.  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: tina\_tim7@mail.ru

*В данной статье описаны экспериментальные исследования по оценке возможности применения различных методик съема оптических плотностей биологических тканей на поверхности головы. Рассмотрено две методики снятия данных. Проведен сравнительный анализ получаемых по обеим методикам результатов, задачей которого было выявить недостатки и преимущества каждой из них. В ходе исследования выявлен ряд особенностей, которые следует учитывать в дальнейшем при конструировании опытной модели устройства и обработке получаемой диагностической информации.*

*This article describes experimental research of the methods for reading optical density on different part of human head. It reviews two methods of reading optical density and provides a comparative analysis of the findings gathered from the two methods. The analysis aims to reveal strengths and weaknesses of each method. The study has discovered a few aspects that have to be taken into consideration in the further process of prototype device designing.*

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 не всегда представляется возможной. В связи с этим, задача создания прибора оперативно выявляющего наличие внутричерепных повреждений является актуальной. Решением данной проблемы может быть использование такого метода диагностики как спектроскопия в оптическом диапазоне длин волн. Метод основан на том, что спектры поглощения молекул являются характеристическими для данного вещества, а интенсивность поглощения связана с содержанием поглощающего компонента в облучаемом объекте [1]. Оксигенированный гемоглобин интенсивно поглощает световое излучение, начиная с УФ области и до длины волны 600 нм с максимумом в 585 нм. В диапазоне от 600 до 1200 нм излучение глубже проникает в ткань с минимальными потерями на поглощение и рассеивание. Специфических хромофоров с высоким коэффициентом поглощения в этом диапазоне не существует [2]. Таким образом, красный и ближний ИК диапазоны спектра наиболее применимы для диагностирования внутричерепных гематом методом спектроскопии. К тому же данная область спектра абсолютно безвредна как для пациента, так и для оператора.

В данном направлении ведутся исследования американской компанией InfraScan. Сравнительно недавно ими был разработан прибор Infrascannermodel 1000 и Infrascannermodel 2000 [3, 4], который представляет собой переносной детектор внутричерепных гематом, работающий в ближнем ИК-диапазоне (808 нм). Диагностика данным прибором ведется дифференциальным способом, путем сравнения оптических свойств симметричных участков на поверхности головы в точно заданных точках (рис.1.). Выявления гематомы основывается на оценке уровня поглощения света левым и правым полушариями головного мозга. В рамках теории, которой следует компания InfraScan, в нормальном состоянии оба полушария в симметричных участках поглощают свет одинаково. При наличии внесосудистого сгустка крови повышается местная концентрация гемоглобина, и коэффициент поглощения света возрастает [5].

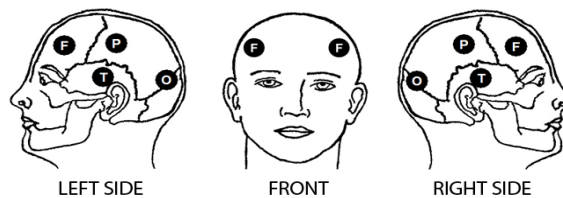


Рис. 1. Схема расположения диагностических точек для Infrascanner [6]

Задачей данного исследования является проверка достоверности, применяемой в приборе Infrascanner методики.

Для этого был поставлен ряд экспериментов, в которых приняло участие пять человек без травм головного мозга. Эксперименты проводились в темной комнате, чтобы исключить влияние внешнего света на получаемые данные. Измерения проводились в диагностических зонах, рекомендуемых для Infrascanner

(рис.1.) с использованием полупроводникового ИК лазера с длиной волны 805 нм и мощностью 100 мВт и приемного устройства на базе фотодиода ФД256. Принимаемый сигнал с поверхности головы к фотоприемнику подводился с помощью оптоволоконна. Эксперименты проводились по двум методикам. Первая условно названа: «прямое-обратное». Суть заключается в том, что приемник и источник излучения помещаются в одну из фиксированных зон на голове испытуемого (рис.1.) на расстоянии 2,5 см друг от друга, проводится первое измерение «прямое». Затем источник и приемник меняются местами, но устанавливаются строго в те же точки, с которых велся съем данных ранее, и проводится второе измерение «обратное». Таким образом, мы пытались выяснить, насколько отличается сигнал, проходящий одно и то же расстояние в одной и той же области головы, при различном направлении его движения у условно здоровых людей. Вторая: «триангуляционная». Как и в первом методе, измерения проводятся в одной из фиксированных областей (рис.1), и при изменении положения источников и приемников они устанавливаются строго в те же места с которых, было произведено первое измерение. Отличительная черта этого метода в том, что на этот раз мы имеем один источник и два приемника излучения, которые располагаются как точки АСВ на рис.2а. Сначала источник размещается в точке А, а приемники в С и В соответственно, проводится первое измерение. Затем источник перемещается в точку С, а приемники располагаются в точках А и В – второе измерение. И наконец источник перемещаем в точку В, а приемники располагаются в точках А и С – третье измерение.



*Рис. 2. Схема триангуляционного метода: а – без гематомы, б – с гематомой*

Этот метод позволяет получить усредненное значение плотностной структуры определенной исследуемой области. Также благодаря такому подходу появляется возможность отказаться от дифференциальной методики сравнения оптических плотностей симметричных участков левой и правой сторон головы, на которой строится диагностирование в приборе Infrascanner. В виду того, что мы имеем расположение источника и приемников в форме треугольника, то вполне вероятен вариант, когда при исследовании, гематома попадает в рабочую зону прибора как показано на рис. 2б. Таким образом, она оказывает влияние только на одно направление съема, в то время как два других все также будут показывать норму. В результате получаем прибор, способный не только проводить диагностирование без привязки к симметричности левой и правой частей головы, но и способный давать пространственное заключение о месторасположении гематомы, путем варьирования положения источника и приемников в месте съема.

Измерения проводились по обеим методикам на каждом из пяти испытуемых не менее 10 раз. По полученным данным были проведены необходимые математические расчеты, результаты которых сведены в таблицы 1 и 2, и построены графические зависимости. Значение величины принимаемого приемником оптического сигнала, в зависимости от оптических плотностей тканей, пропорционально выходному

напряжению с соответствующих усилителей фототока. По нему и проводилась сравнительная оценка исследуемых областей.

Таблица 1. Данные экспериментов по первой методике

	1				2				3				4				5			
	л	з	в	т	л	з	в	т	л	з	в	т	л	з	в	т	л	з	в	т
Левая сторона																				
min	1,4	0,1	0,36	0,1	0,66	0,02	0,33	0,02	2,4	0,12	0,4	0,02	0,62	0,02	0,25	0	0,69	0,13	0,25	0,13
max	3,71	0,65	1,29	0,7	1,73	0,16	0,78	0,15	7,24	0,55	0,8	0,13	2,45	0,11	0,88	0,3	2,89	0,26	1,23	0,26
moda	1,48	0,1	0,42	0,12	0,87	0,04	0,45	0,09	3,6	0,27	0,5	0,08	1,16	0,04	0,4	0,02	1,89	0,15	1,23	0,17
sr	2,264 5	0,253 5	0,647	0,319	0,953 5	0,063	0,548 5	0,072 5	4,098 5	0,284 5	0,577 5	0,082 5	1,174 5	0,047	0,485	0,054 5	1,579 5	0,194 5	0,787 5	0,194
razb	2,31	0,55	0,93	0,6	1,07	0,14	0,45	0,13	4,84	0,43	0,4	0,11	1,83	0,09	0,63	0,3	2,2	0,13	0,98	0,13
Правая сторона																				
min	1,21	0,04	0,26	0,11	0,88	0,03	0,34	0,03	2	0,21	0,25	0	1,6	0,01	0,18	0,01	0,87	0,14	0,48	0,12
max	3,71	0,58	1,19	0,3	2,04	0,2	0,56	0,08	5,8	0,68	0,68	0,12	3,01	0,6	0,42	0,11	2,67	0,37	1,12	0,27
moda	1,28	0,44	0,66	0,17	1,17	0,05	0,36	0,06	4,4	0,44	0,44	0,03	2,32	0,01	0,29	0,02	1,03	0,21	0,67	0,17
sr	2,042 5	0,302	0,614	0,169	1,301	0,081 5	0,405	0,057	4,18	0,416 5	0,424 5	0,045	2,347 5	0,071	0,29	0,037 1	1,879	0,219 5	0,785	0,196 5
razb	2,5	0,54	0,93	0,19	1,16	0,17	0,22	0,05	3,8	0,47	0,43	0,12	1,41	0,59	0,24	0,1	1,8	0,23	0,64	0,15

Таблица 2. Данные экспериментов по второй методике

	1				2				3				4				5			
	л	з	в	т	л	з	в	т	л	з	в	т	л	з	в	т	л	з	в	т
Левая сторона																				
min	1,38	0	0	0,09	0,5	0,03	0,55	0,05	0,49	0,07	0,08	0,05	0,7	0,01	0,11	0,01	0,71	0,13	0,37	0,1
max	3,07	1,23	0,52	0,56	2,6	0,28	1,7	0,32	6,7	0,88	0,9	0,75	3,27	0,11	0,75	0,6	2,87	0,37	1,6	0,49
moda	2,99	0	0,33	0,24	2,2	0,21	1,3	0,11	2,8	0,09	0,18	0,07	1,4	0,04	0,23	0,04	2,37	0,24	0,63	0,21
sr	2,237	0,249	0,221	0,269	1,668	0,17	1,053	0,159	2,492	0,189	0,391	0,232	1,453	0,046	0,351	0,065	1,82	0,22	0,721	0,257
razb	1,69	1,23	0,52	0,47	2,1	0,25	1,15	0,27	6,21	0,81	0,82	0,7	2,57	0,1	0,64	0,59	2,16	0,24	1,23	0,39
Правая сторона																				
min	1	0	0	0,02	0,65	0,03	0,57	0,02	0,8	0	0,12	0	0,13	0,01	0,09	0,01	0,69	0,14	0,33	0,16
max	3,46	0,99	0,84	1	1,8	0,5	3,4	0,41	5,5	0,63	2,8	0,34	3,01	0,6	1,7	0,6	2,89	0,31	1,18	0,34
moda	2,4	0	0,12	0,18	1,4	0,12	1,3	0,06	2	0	1,4	0,04	1,8	0,03	0,12	0,01	2,33	0,23	0,95	0,23
sr	2,238	0,17	0,265	0,341	1,186	0,154	1,604	0,145	2,492	0,189	0,932	0,081	1,51	0,063	0,49	0,064	1,844	0,214	0,698	0,23
razb	2,46	0,99	0,84	0,98	1,15	0,47	2,83	0,39	4,7	0,63	2,68	0,34	2,88	0,59	1,61	0,59	2,2	0,17	0,85	0,18

\*1,2,3,4,5 – порядковые номера испытуемых; л – лоб, з – затылок, в – висок, т – темя

По результатам измерений по методике «прямое-обратное» были построены гистограммы распределений полученных значений, одна из которых приведена на рис. 3. Из гистограммы видно, что получаемые данные при прямом и обратном съеме разнятся. Ожидаемо было бы получить одинаковые значения хотя бы в рамках одного опыта, но данные разнятся, что может говорить о том, что на значение оптической плотности влияют не только локация проведения измерения и путь, проходимый излучением, но и направление распространения детектируемого излучения.

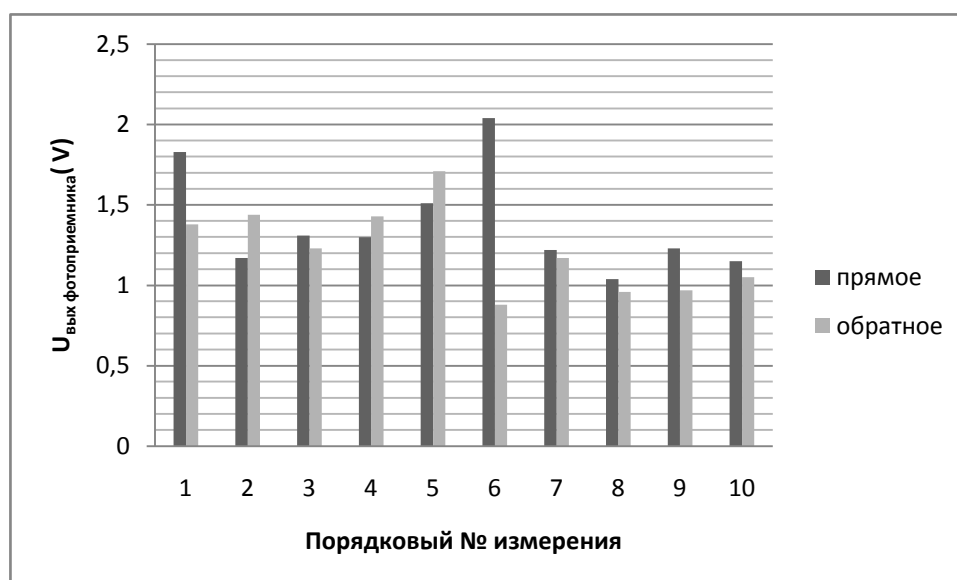


Рис. 3. Гистограмма распределения значений, полученных при просвечивании левой стороны лба одного из испытуемых по методике «прямое-обратное»

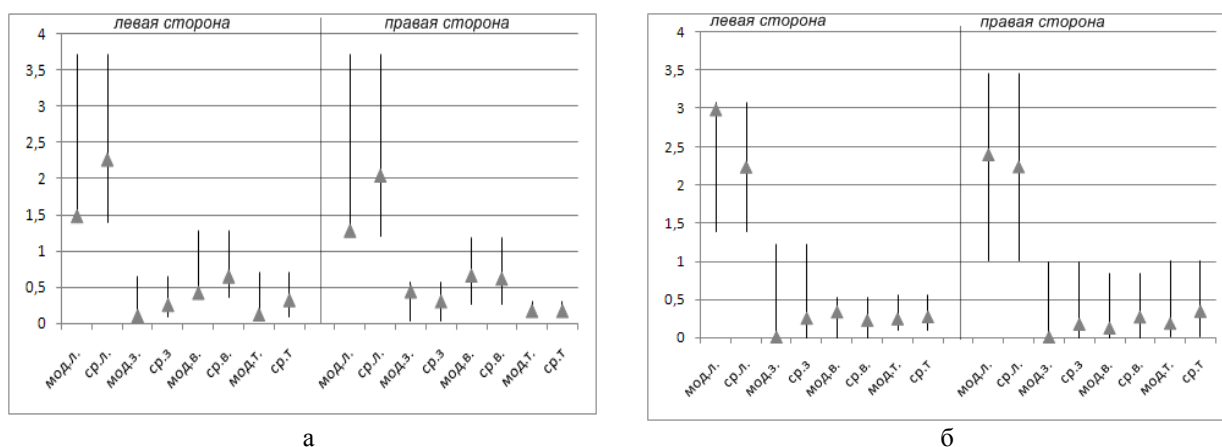


Рис. 4. Графики оценки симметричности оптической плотности зондируемых участков одного из испытуемых, а – построен по данным методики «прямое-обратное», б – построен по данным методики «триангуляции». Ось Y –  $U_{\text{вых}}$  фотопреобразователя в вольтах

Из графиков рис. 4 можно заключить, что говорить об абсолютной симметричности оптической плотности правой и левой частей головы нельзя, и строить на данной теории диагностические заключения не совсем корректно. Также следует заметить, что данные полученные по «триангуляционной» методике отличаются большей симметричностью, чем данные полученные по методу «прямое-обратное». Так, к примеру, усредненные значения правой и левой сторон лба, приведенные на графиках рис. 5 и в таблицах 1 и 2, снятые по первой методике отличаются на 10%, а снятые по второй методике отличаются всего на 1%. Это говорит в пользу использования в дальнейшем именно триангуляционного варианта расположения источника и приемников. Еще один напрашивающийся вывод – при обработке данных и постановке диагностического заключения следует использовать усредненное, а не модовое значение, так разброс в модовых значениях правой и левой частей (опять же опираясь на графики рис.4) может достигать 20%.

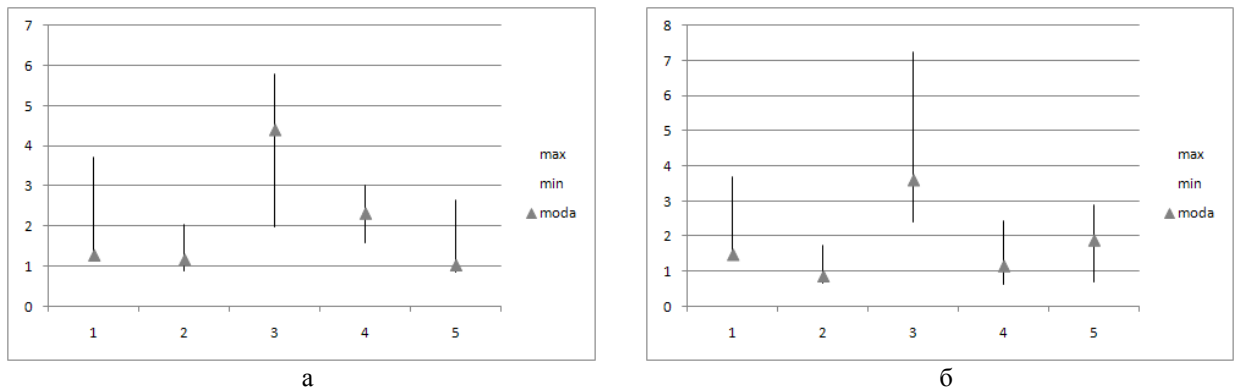


Рис. 5. Графики диапазонов и модовых значений оптических плотностей лба для пяти разных испытуемых, а – левая сторона лба, б – правая сторона лба. Ось  $Y$  –  $U_{\text{выхфотоприемника}}$  в вольтах

Из графиков рис. 5 отчетливо видно, что значения оптических плотностей в одних и тех же участках у разных людей сильно отличаются. Это связано с различными анатомическими факторами. К примеру, в ходе данного опытного исследования было выявлено, что у людей с темным цветом волос сигнал гасится значительно сильнее, чем у людей со светлыми волосами. Так испытуемые 1 и 5 имели светлый цвет волос, а 2 и 4 – темный. Испытуемый 3 была девушка, в то время как испытуемые 1, 2, 4 и 5 были мужского рода, что также отразилось на общей картине оптических плотностей, ее показатель значительно больше. Так как основной вклад в поглощение излучения вносит черепная кость можно заключить, что у людей женского пола толщина черепной кости меньше, чем у представителей мужского пола.

Выводом к проделанной работе могут служить следующие утверждения: в снимаемых данных присутствуют нестабильности требующие значительного усреднения; используя матрично-площадное расположение источников и приемников можно отказаться от дифференциального метода съема основанного на симметричности правой и левой частей головы, и давать пространственные заключения о нахождении гематомы, но при таком методе съема необходимо обеспечивать хороший контакт между оптической частью устройства и кожей головы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D.A. Zimnyakov, V.V. Tuchin Optical tomography of tissues //Quantum Electronics. 2002, V.32(10), pp.849-867.
2. В.А. Серебряков опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии в медицине». – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 266 с.
3. [Electronic resource]/The Infrascanner Model 1000. - access mode: <http://www.infrascanner.com/solutions/the-infrascanner-model-1000/>,(date of treatment 17/03/2016.).
4. [Electronic resource]/The Infrascanner Model 2000- access mode: <http://www.infrascanner.com/solutions/the-infrascanner-model-2000/>,(date of treatment 17/03/2016.).
5. S. Bressan, M. Daverio, F. Martinolli, D. Dona', F. Mario, I.P. Steiner, L. Da Dalt The use of handheld near-infrared device (Infrascanner) for detecting intracranial hamorrhages in children with minor head injury //Childs NervSyst, Nov 2013, V.30, pp 477-484.
6. [Electronic resource]/Near Infrared Technology. - access mode: <http://www.infrascanner.com/solutions/near-infrared-technology/>,(date of treatment 17/03/2016.).

## РОБОТИЗИРОВАННАЯ РУКА С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Шадрин Д.В., Арышева Г.В.  
Научный руководитель: Арышева Г.В., к.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: shadiv195@gmail.com

## ROBOTIC HAND WITH REMOTE CONTROL

Shadrin D.V., Arysheva G.V.  
Scientific Supervisor: Ph.D. Arysheva G.V.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: shadiv195@gmail.com

*В данной статье описывается процесс создания рабочей модели роботизированной руки с дистанционным управлением. Подобные устройства применяются во многих сферах деятельности человека, таких как автоматизированное производство, медицина, индустрия развлечений и, конечно, космонавтика. В этой статье, во-первых, подробно разъясняется процесс подбора компонентов, плюсы и минусы каждого из вариантов, во-вторых, поэтапно проиллюстрирован процесс сборки первого прототипа устройства, и в-третьих, изложен принцип работы устройства. В процессе разработки роборуки было выяснено, что управляющие алгоритмы для микроконтроллера не сложно написать самому. Однако организовать правильную работу датчиков оказалось весьма сложно. Автор предполагает, что это устройство будет одним из шагов к созданию высокоточных манипуляторов для использования в космосе.*

*This article is described the process of creating of the working model of a robotic hand with remote control. Similar devices are used in many fields of activity of society, such as automatic manufacture, medicine, entertainment industry and, of course, cosmonautics. This article firstly explained in detail the process of selection of components, pluses and minuses of each of options, secondly, assembly process of the first prototype of the device is step by step illustrated, and thirdly, the working principle of the device is described. In the process of development of a robohand it has been found out that it isn't difficult to write the operating algorithms for the microcontroller. However to organize the correct operation of sensors it has appeared very difficult. The author assumes that this device will be ones more step to create high-precision manipulators for use in space.*

Механические манипуляторы давно закрепились в разных сферах жизни людей. Одна из них – космонавтика. Это перспективная сфера для манипуляторов с телеуправлением, применяемые на шаттлах для захвата и ремонта спутников. Однако с развитием технологий людям может понадобиться их иная помощь. Например, для проведения высокоточных хирургических операций (аналог робота-хирурга daVinci) или при техническом обслуживании (системы ассистирования в виде третьей руки).

Цель данной работы – построить манипулятор, по внешнему виду и функционалу соответствующий реальной человеческой руке, с детальной проработкой как механизма манипулятора, электроники, так и алгоритма управления им.

Одной из главных проблем при конструировании подобного манипулятора является то, каким образом его механизм будет приводиться в движение. Наиболее популярная модель механической части манипулятора заключается в том, что её можно разделить на две части: первая часть – это сами пальцы вместе с тросами или шпильками, на которые будет передаваться движение, и конструкция, к которой они крепятся. Вторая часть – это двигатели – устройства, которые приводят в движение всю конструкцию. И если с первой частью особых проблем не возникает, то от выбора типа двигателя будут зависеть такие параметры манипулятора как скорость перемещения пальцев, максимальная нагрузка, его вес и габариты.

Существует несколько видов приводов[1-4]: 1) Пневматический привод, основой которого является так называемая пневматическая, или воздушная, мышца. Она является пневматическим устройством способным линейно сокращаться при подаче сжатого воздуха в систему. При работе эта мышца действует по схожим с живой биологической мышцей образом. 2) Гидравлический привод - основан на использовании

гидравлических цилиндров. 3) Привод, основанный на преобразовании вращательного движения в поступательное, который позволяет уменьшить габариты всей конструкции, так как электродвигатели можно закрепить прямо на «ладони». 4) Привод на сервомашинках - устройство, используемое в моделизме для управления подвижными частями моделей, такими, как сочленения конечностей роботов, или поворотом колес автомоделей.

Всю электронику работы можно разделить на три группы: датчики, управляющий микроконтроллер и непосредственно сервоприводы. Для того, чтобы микроконтроллер знал, на какой угол нужно повернуть сервоприводы, ему необходимо знать, какое положение имеют пальцы реальной руки. Для этого на руку человека надевается перчатка с датчиками, определяющими, на какой угол согнуты пальцы. При данной специфике устройства могут быть использованы два типа датчиков: тензорезисторы и интегральные акселерометры-гироскопы.

Интегральные акселерометры-гироскопы (МЭМС акселерометры-гироскопы) – устройства, которые представляют собой специальные микросхемы, внутри которых содержится полноценная микроэлектромеханическая система – устройство, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты. Основная проблема таких устройств в том, то со временем накапливается погрешность измерения и координаты положения пальцев перестанут соответствовать реальности. Чтобы этого избежать, стоит использовать тензорезисторы. Эти устройства меняют своё сопротивление в зависимости от величины их деформации. С помощью тензорезисторов можно измерять деформации механически связанных с ними элементов, которыми в нашем случае являются пальцы человека.

Принимая во внимание, что при вычислении перемещения элементов роборуки будет необходимо получать и обрабатывать данные от 5 тензорезисторов (по одному на палец) и делать это в реальном времени, то стоит выбрать контроллеры с наилучшим соотношением цена-производительность. К таковым можно отнести микроконтроллер Atmega8. Он достаточно производителен, имеет большое количество портов ввода-вывода, 6-канальный АЦП (для DIP-корпуса), несколько таймеров-счётчиков, среди которых один 16-битный (Рис. 1).

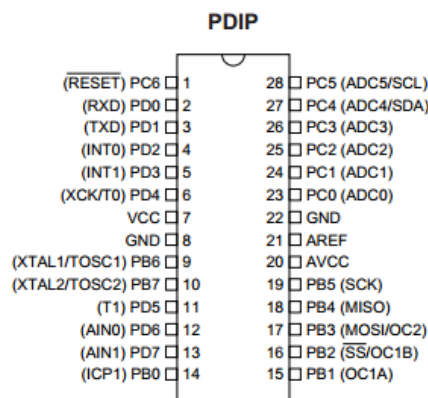


Рис.1. Функции выводов Atmega 8

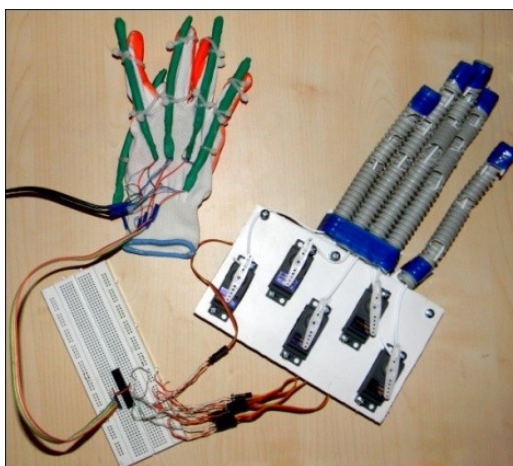
Вся механическая часть работы может быть разделена на две части: блок сервоприводов и сами "пальцы" руки. Для установки датчиков использовались два типа нейлоновых хомутов: длиной 100 и 200 мм. 100-миллиметровые хомуты использовались для непосредственного крепления датчиков к перчатке, в то время как каждый из 200-миллиметровых хомутов устанавливался таким образом, чтобы сквозь него



проходил палец, то есть образовывал своеобразное кольцо. Благодаря жёсткой фиксации датчика кольцо позволяет увеличить амплитуду его сгиба, улучшая, таким образом, работу всей системы.

После закрепления датчиков на перчатке нужно было собрать в одну общую шину выводы, ответственные за питание датчиков, а также правильным образом организовать все их сигнальные линии. Шина питания была сделана следующим образом: все положительные выводы были объединены в один с помощью скрутки и пайкой соединены с проводом, идущим к положительному полюсу источника питания. То же самое было сделано и с отрицательными выводами датчиков. А сигнальные линии были присоединены к шлейфу, который оканчивается специальной штыревой вилкой PLS. Эта вилка подключается к контактам беспаячной макетной платы, на которой установлен управляющий микроконтроллер.

Конструктивно блок сервоприводов выполнен из двух пластиковых пластин толщиной 1,5 мм каждая, в которых вырезаны отверстия для сервоприводов. Приводы закреплены с помощью винтов и гаек М4. В специальных местах ввинчены дополнительные винты, которые играют роль своеобразных натяжителей для нити, которая будет управлять пальцами. В свою очередь пальцы сделаны из гофры, которая нарезана на 5 частей (по одной части на палец) определённой длины. В каждой части в местах сгиба вырезаны выемки. Сквозь весь палец проходит нейлоновая нить, которая закреплена изолирующей лентой на конце (аналог верхней фаланги). Сами пальцы установлены на пластиковой пластине, расположенной на блоке сервоприводов. Нить от каждого пальца идёт к своему собственному сервоприводу и закрепляется на насадке, насаженной на вал. Вся конструкция показана на Рис. 2.



*Рис. 2. Конструкция роботизированной руки*

Таким образом, когда вал сервопривода начинает вращаться, он натягивает нейлоновую нить, протекшую сквозь пальцы. Длина нити внутри пальца сокращается и под действием силы натяжения ему приходится сгибаться на определённую величину, которая зависит от угла поворота вала сервопривода. Так и происходит функционирование механической руки.

Возможные сферы использования данного устройства: работа с опасными веществами (ядерная техника, бактериологическое, химическое производство или исследование); на космических аппаратах, как устройства захвата.

Основную сложность составляют датчики изгиба, связанную с их дороговизной и, во-вторых, с обработкой данных, получаемых от датчика. Дело в том, что эти данные должны были обрабатываться с помощью встроенного в микроконтроллер аналого-цифрового преобразователя. Однако настроить

контроллер так, чтобы АЦП заработал, оказалось непростой задачей из-за сложного алгоритма запуска. В ближайшем будущем представляется возможным изготовление тестовой платы для датчика и написание алгоритма управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воздушные мышцы [Электронный ресурс]: /Wikipedia.org. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Воздушные\\_мышцы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Воздушные_мышцы), свободный.
2. Гидравлический привод [Электронный ресурс]: /Wikipedia.org. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Гидравлический\\_привод](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидравлический_привод), свободный.
3. Рука робота для аниматроники [Электронный ресурс]: / Myrobot.ru. – Режим доступа: [http://www.myrobot.ru/articles/sol\\_ani\\_arm.php](http://www.myrobot.ru/articles/sol_ani_arm.php), свободный.
4. Сервомашинка [Электронный ресурс]: /Wikipedia.org. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Сервомашинка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сервомашинка), свободный.

---

# СЕКЦИЯ №7

## SPACE ENGINEERING

### (СЕКЦИЯ ДЛЯ ДОКЛАДОВ НА АНГЛИЙСКОМ И НЕМЕЦКОМ ЯЗЫКАХ)

---

#### WELTRAUMMÜLL ALS ERGEBNIS MENSCHLICHER TÄTIGKEIT

Assipkina L.A.

Wissenschaftliche Betreuerin: Doktor der Pädagogik, Dozentin M.V. Plekhanova,  
Nationale Polytechnische Forschunguniversität Tomsk  
Russland, Tomsk, pr. Lenina 30, 634050  
E-mail: laa7@tpu.ru

#### КОСМИЧЕСКИЙ МУСОР, КАК СЛЕДСТВИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Асипкина Л.А.

Научный руководитель: Плеханова М.В., доцент, к.п.н  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: laa7@tpu.ru

*Im vorliegenden Artikel werden die Probleme der Weltraumverschmutzung dargestellt. Der Artikel beschreibt, wie gefährlich die Weltraummissionen sein können, dass sogar unbemannte Satelliten der ständigen Gefahr ausgesetzt werden. Genauso erfahren wir, was wir gegen diese Gefahren tun können, z.B. ausgediente Satelliten vorsichtig zu entsorgen, indemman sie auf eine andere Umlaufbahn bringt oder in den festen Schichten der Erde verglühen lässt. Wenn man dies nicht macht, so können sie mit den funktionierenden Satelliten zusammenstoßen und diese außer Betrieb setzen, was zur einen Kettenreaktion führen kann. Zudem beschreibt der Text, wie die Satelliten geschützt werden z.B. mit Hilfe von Schottelementen und dass man die Probleme der Entsorgung schon in der Projektierung angehen muss. Wenn wir dieses Problem schon heute angehen, so überlassen wir unserer nachfolgenden Generation einen sauberen und sicheren Weltraum.*

*В данной статье рассматриваются проблемы загрязнения космического пространства. В статье описывается, какими опасными могут быть космические полеты, даже беспилотные спутники находятся в постоянной опасности. Кроме того, что мы можем предпринять для устранения этих проблем, к примеру, выведенные из строя спутники должны быть аккуратно утилизированы, их можно перенаправить на более низкую орбиту или они могут сгореть в плотных слоях атмосферы. Если не предпринять вовремя необходимые мероприятия, то они могут столкнуться с еще действующими спутниками и вывести их из строя, а это может привести к цепной реакции. В статье описывается, как защищенны спутники от внешнего воздействия и что проблема их утилизации должна решаться еще на стадии проектирования. Если мы уже на данном этапе времени займемся данной проблемой, то мы сможем оставить будущим поколениям чистый и безопасный космос.*

Die Dringlichkeit des Problems des Weltraummülls intensiviert die Verschmutzung des erdnahen Raums, unter diesem Einfluss verringert sich die Qualität, die Funktionsweise von Satelliten und führt zum Versagen im System sowie zur Kollisionen und Explosionen von Objekten im Weltraum.

Unter dem Weltraumschrott versteht man alle von Menschen gemachten Objekte und deren Fragmente im Weltall, die bereits defekt und ohne Funktion sind und keinem nützlichen Zweck mehr dienen, sie stellen aber eine Gefahr für die funktionierenden Satelliten dar, vor allem wenn sie bemannt sind.

In einigen Fällen können große oder mit am Bord befindliche, gefährliche (nukleare, giftige, etc.) Materialien, eine direkte Gefahr für die Erde darstellen – bei einem unkontrollierten Abstieg aus dem Orbit, einer unvollständigen Verbrennung beim Wiedereintritt in die dichten Schichten der Erde können die herunterfallenden Objekte aus der Atmosphäre große Schäden an Siedlungen, Industrieanlagen, Transportkommunikationen, und ähnlichem verursachen [1].

Das Problem der Verstopfung der niedrigen Umlaufbahn durch den "Weltraummüll" als eine rein theoretische Tat trat im Wesentlichen unmittelbar nach dem Start der ersten Satelliten in den späten fünfziger Jahren

auf. Den offiziellen Status auf internationaler Ebene hat das Problem nach dem Bericht von UN-Generalsekretärs mit dem Titel "Die Auswirkungen der Weltraumaktivitäten auf die Umwelt" am 10. Dezember 1993 erhalten, wo betont wird, dass das Problem internationaler und globaler Natur: Es gibt keine nationale Verschmutzung vom erdnahen Weltraum, es gibt nur eine globale Verschmutzung, welche die gleichen negativen Auswirkungen auf alle Länder hat.

Das Ausmaß der Verschmutzung durch Weltraummüll auf den Betrieb von Raumfahrtssystemen wird durch vier Faktoren bestimmt: der Zeit in der Umlaufbahn, dem Einsatzgebiet, der Bahnhöhe und der Neigung der Bahnebene. Für die ungefähre Darstellung der Objekte, die die Weltraumverschmutzung verursachen, werden mathematische Modellen seiner Verschmutzung entwickelt. Sie beschreiben die Schadstoffverteilung von Objekten im Raum, ihre Bewegung und physikalischen Eigenschaften (Größe, Masse, Dichte, etc.). Die entwickelten Modelle sind von zweierlei Art: kurzfristig (bis zehn Jahre) und langfristig (100 Jahre). Diese Modelle berücksichtigen die Erhöhung der Anzahl der Objekte in der Umlaufbahn durch erneute Starts, Rangieren (Verschmutzung ist mit der Zündung von festen Raketen Kraftstoffe verbunden), Zerstörung (Explosionen und Kollisionen) usw. Darüber hinaus ist der Zweck der Langzeitmodellierung die Vorhersage der Anzahl der Objekte als eine Funktion der Zeit. Es gehen folgende Trends aus der Grundlage des langfristigen Modells hervor:

Wenn Weltraummissionen genauso stattfinden, wie es in der Vergangenheit geschah, wird sich die Verschmutzung des Weltraums in der Zukunft aufgrund von Kollisionen mit einer steigender Masse von Objekten in der Umlaufbahn beschleunigen [2].

Fragmente vom Weltraummüll, die sich nach einer Explosion gebildet haben, sind im 21. Jahrhundert eine der größten Quellen von Verschmutzung.

Die durch Kollisionen erzeugten Fragmente können Kontamination erzeugen, dies führt zu einer erhöhten Verschmutzung in geometrischer Progression.

Dies kann durch Reduzieren der Last auf die untere Erdumlaufbahn vermieden werden. Auch ein Problem ist die Rückkehr von Objekten aus dem Weltraum in die Atmosphäre der Erde. In den letzten 40 Jahren sind es mehr als 16.000 Stück. In den letzten fünf Jahren gibt es etwa einmal pro Woche Wiedereintritte eines Objekts in die Atmosphäre mit einer Querschnittsfläche von etwa  $1 \text{ m}^2$ . Der Eintritt eines Objektes in die Atmosphäre ist nicht nur gefährlich durch eine mechanische Wirkung, sondern auch durch die mögliche chemische oder radiologische Kontamination der Umgebung [1].

Derzeit bilden 12% des katalogisierten Weltraummülls in der Umlaufbahn Objekte die während des normalen Satellitenstarts und während der weiteren Nutzung von Satelliten entstanden sind. Grundsätzlich sind es Schrauben, Stecker, etc. Schutzmaßnahmen zu Reduzierung der Verschmutzung mit solchen Objekte, können relativ einfach technisch, so wie auch wirtschaftlich durchgeführt werden. Zur gleichen Zeit gibt es Situationen, in denen die Trennung von Teilen aus technischen Gründen aussichtslos ist. Während des Fluges kann es zu unwillkürlicher Entstehung von Feinstaub kommen z.B. durch die Schlacke bei der Verbrennung von festem Treibstoff des Raketenantriebes, oder Trennung der Farbpartikel durch Erosion, sickende Kühlmittel. Es müssen Maßnahmen zur Reduzierung der Bildung von Feinstaub getroffen werden. Fragmente, die durch die Zerstörung des Satelliten erzeugt werden, machen 43% der Zusammensetzung der orbitalen Objekten aus und 85 % des Weltraummülls der größer ist als 5cm. Der Hauptgrund für die Zerstörung des Satelliten sind Explosionen und Kollisionen. Die Analyse der Zerstörung von Satelliten zeigte, dass der Abstieg aus dem Orbit oder Passivierung (Energieabgabe) nach der Durchführung seiner Aufgaben, die meisten dieser Fälle verhindert. Zur den wirksamen Maßnahmen gehören komplettes Verbrennen oder Ausblasen von nicht verwendetem Kraftstoff, Batterieentladung und die Freisetzung der Flüssigkeiten von dem Druck. Die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Kollision von Raumfahrzeugen in einer

niedrigen Erdumlaufbahn, ist zwar gering, aber sie besteht trotzdem. Ein Beispiel dafür war ein Zusammenstoß eines Fragments, der durch die Explosion der Trägerrakete der oberen Stufe " Arian " entstanden ist, mit dem aktuellen französischen Satelliten „Cerise“. Als Ergebnis wurde seine Leistung beeinträchtigt. Wir können sagen, dass die Zunahme der Anzahl und der Größe von Satelliten in der Umlaufbahn zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit von Kollisionen führt. Was die Satelliten betrifft, die ihr Programm beenden, so gibt es eine deutliche Verringerung der Wahrscheinlichkeit einer Kollision bei ihrer Verlegung auf eine niedrigere Umlaufbahn oder ein kontrollierter Wiedereintritt [3].

Aus der Sicht gegenwärtigen Standes der Verschmutzung der niedrigen Laufbahn, muss man das Konzept des direkten und indirekten Schutz anwenden. Schutz gegen Partikel in der Größenordnung von 0,1–1 cm kann durch die Verwendung von Schottkonstruktionen ausgeführt werden. Schutz gegen Partikel, die größer als 1 cm sind, wird durch die Verwendung von Sondermaßnahmen bei der Gestaltung des Satelliten durchgeführt so z.B. werden die lebenswichtigen Systeme in den sogenannten toten Zonen in Bezug auf die Richtung des Aufpralls platziert. Was die Schottkonstruktionen angeht, sie gibt es in verschiedenen Arten: Es gibt einfache mit einem Scharnier ausgelegte Schottschirme, die vor dem Maschinenkörper platziert werden und komplexe mit mehreren Scharnieren bestückte Schottschirme aus Metall und Keramik. Es ist aber auch möglich, dass die Astronauten das Raumschiff in einer bestimmten Art und Weise als Schottschutz verwenden können. Diese Praxis wurde schon in der Raumstation „Mir“ angewandt. Für die Raumschiffe " Shuttle" wurde der orbitale Grad so ausgerichtet, dass das Heckteil in der Bewegungsrichtung gedreht wurde. Arbeiten im Weltraum werden so ausgeführt, dass die Astronauten durch das Stationsgehäuse geschützt werden [4].

Einer der wichtigsten Schutzmaßnahmen zur Verringerung der Verschmutzung sind die Informationen über die Gefahren, die mit der Verschmutzung vom Weltraum verbunden sind, so wie über die vielen Quellen von Weltraummüll entstehung. Wirtschaftlich gerechtfertigt ist die Verwendung von Emissionsminderungsmaßnahmen in den frühen Phasen der Konstruktion eines Satelliten. Mit der Verwendung von Langzeitsimulationsmodellen der Weltraumumgebung werden Arbeiten ausgeführt, um die Wirksamkeit der verschiedenen Szenarien und die Kosten, die mit ihrer Verwendung verbunden sind, zu rechtfertigen. Die Forschung ermöglicht es uns abzuschätzen, welchen Einfluss verschiedenen Praktiken in diesem Bereich haben. Genauso wird das Problem der Kollisionen und Explosionen mit unkontrollierten Starts verschiedener Raumfahrzeuge verbunden. Um dieses Problem zu beheben muss die Kontrolle über Materialien, Fertigungstechnologien sowie die Starts von Raumschiffen eingeführt werden. Um Kollisionen von Raumfahrzeugen zu vermeiden, die die Grundlage für die Entstehung von großen Stücken von Müll ist, ist es ratsam, die prognostizierten Schätzungen für die Einrichtung eines sicheren Startfensters zu bilden, ohne der Überschneidung der Flugbahn von der Raumsonde mit einem bemannten Raumschiff, der sich auf der Umlaufbahn befindet [5].

Auf kurze Sicht kann der größte Nutzen durch die Vermeidung von unwillkürlichen Explosionen entstehen. Eine wirksame Maßnahme eine solche Zerstörung zu verhindern, ist Passivierung von Geräten am Ende ihres Flugprogramms. Auf langer Sicht in Abwesenheit von Maßnahmen zur Reduzierung der Verschmutzung wegen der Unordnung der Objekte auf der Umlaufbahn kann es zu deutlichem Risiko für Raumoperationen in dem Gebiet sowohl in niedriger als auch in hoher Erdumlaufbahn führen. Schutzmaßnahmen zur Verringerung der Verschmutzung und Schutz vom Weltraum kann das Raumschiffdesign, Kosten und Service beeinflussen. Kosteneffizienter ist es, diese Veränderungen früh in der Entwicklung und Herstellung von Raumfahrzeugen und Trägerraketen vorherzusehen und zu integrieren [6].

Die Verschmutzung des Weltraums jedes Jahr steigt, wodurch das Risiko einer Kollision mit der Schädigung der Raumsonde zunimmt. Denn mit Hilfe der bestehenden Technologien ist es schwer, die Aufgabe zur

Verbesserung des Zustandes der Weltraumumgebung zu lösen. Ein kluger Schachzug für Weltraumerhaltung für künftige Generationen wäre es jetzt mit den Maßnahmen zur Verringerung der Verschmutzung des Weltraumes zu beginnen.

QUELLENVERZEICHNIS:

1. Metz M. Weltraummüll-Forschung. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: [http://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-2265/3376\\_read-5091](http://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-2265/3376_read-5091).
2. Lukaschuk I. I. Mezhdunarodnoe pravo. –M.: BEK, 1997. – 12 s.
3. Wikipedia. Weltraummüll. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <https://de.wikipedia.org/wiki/Weltraummüll>.
4. Populjarnaja mehanika. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <http://www.popmech.ru/article>.
5. Brjuchan' V. Wlijanie raslitschnych otraclej narodnogo chosjajctwa na coctojanie okruzhajushej credy: [w t. tsch. o negatiwnom wosdejctwii raketno-kocmitscheckoj dejatel'nocti na okolokocmitscheckoe proctranctwo]. 20.1 B – 89 // Promyslennaja jekologija / V. Brjuchan', M. Gravkina, E. Cdobnjakowa. – M., 2012 – Kapitel8. – S.156–157.
6. Geworkjan Je. Kul'turnyj cloj: [o kocmitsheckom mucore ]. / J. Gevorkjan // Wissenschaft und Relegion.– 2013. – № 4. – S. 2–6.

**DESIGN OF A PARAMETRICAL FLYWHEEL WITH USE OF NEW TECHNOLOGIES**

Ayusheev M.S., Kostyuchenko T.G.

Scientific Supervisors: Associate Professor, Ph.D. Kostyuchenko T.G; Associate Professor, Ph.D. Ivanova V.S.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: [muncko94@mail.ru](mailto:muncko94@mail.ru)

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МАХОВИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Аюшеев М.С., Костюченко Т.Г.

Научные руководители: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент; Иванова В.С., к.т.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050,  
E-mail: [muncko94@mail.ru](mailto:muncko94@mail.ru)

*Article contains a optimization ways of a flywheel characteristics of the navigation executive body system of the small spacecraft on the basis of the a flywheel mathematical model analysis. The mathematical model allows to estimate mutual influence of his characteristics and to establish connection between them which directly aren't defined. The variation of a design parameters through parametrization with use of the specialized software realizing geometrical parametrization and a possibility effective calculation of the required characteristics is the most effective method of optimization of characteristics. The parametrical 3D model including calculation of operational characteristics is created. It is possible to receive an optimum complex of operational parameters a variation of a 3D model parameters. It is very actual at a design stage as allows to increase significantly quality of the designed device and to reduce the general time of design.*

*Статья содержит один из способов оптимизации характеристик маховика исполнительного органа системы ориентации малого космического аппарата на основе анализа математической модели маховика. Математическая модель позволяет оценить взаимное влияние его характеристик и установить связи между ними, которые напрямую не определяются. Наиболее эффективным методом оптимизации характеристик является варьирование параметров конструкции через параметризацию с использованием специализированного программного обеспечения, реализующего геометрическую параметризацию и возможность эффективного расчета требуемых характеристик. Создается параметрическая 3D-модель, включающая в себя расчет эксплуатационных характеристик. Варьированием параметров 3D-модели*

возможно получить оптимальный комплекс эксплуатационных параметров. Это весьма актуально на этапе проектирования, поскольку позволяет существенно повысить качество проектируемого устройства и сократить общее время проектирования.

### Introduction

A flywheel is a rotating mechanical device that is used to store rotational energy. Flywheel has a significant amount of inertia moment and thus resists changes in rotational speed. The amount of energy stored in a flywheel is proportional to the square of its rotational speed energy transferred to fly wheel by applying torque to it, thereby increasing its rotational speed hence its stored energy conversely, a flywheel released stored energy by applying torque to a mechanical load thereby decreasing its rotational speed [1].

### Calculation of flywheel parameters

The purpose of this work is to design a flywheel of small spacecraft executive body with the following parameters: the kinetic moment –  $H=0,2$  of Nms, the maximum sizes –  $70 \times 70 \times 45$  mm, the maximum operating moment –  $M = 0,02$  Nm.

Flywheel will be calculated for the servo electric motor which is shown in Fig.1. It consists of the massive rotor with obviously expressed rim established on multiball bearings and the electric motor bringing a flywheel into rotation, rotor is fixed on a flywheel and the stator – on the basis. The device has a protection cover.

For calculation of a flywheel parameters the following formulas were used:

- inertia moment:  $J = \frac{H}{\Omega}$ , where  $H$  - the angular momentum,  $\Omega$  - angular velocity of rotation;
- inertia moment of the flywheel rim:  $J_u = m \cdot R_u^2$ , where  $m$  - mass,  $R_u$  - radius of gyration;
- mass:  $m = V \cdot \gamma$ , where  $V$  - volume,  $\gamma$  - specific gravity of the material of the flywheel;
- volume:  $V = h \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2)$ , where  $h$  - height of the flywheel rim,  $R$  - radius of the outer rim flywheel;  $r$  - inner radius of the flywheel rim;
- inertia moment of the flywheel rim:  $J_u = h \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot \gamma \cdot R_u^2$ , where  $\gamma$  - specific gravity of the flywheel material;  $R$  - the outer radius of the flywheel rim;  $r$  - inner radius of the flywheel rim;  $h$  - height of the rim flywheel;  $R_u$  - the radius of gyration;  $m$  - mass flywheel rim [1].

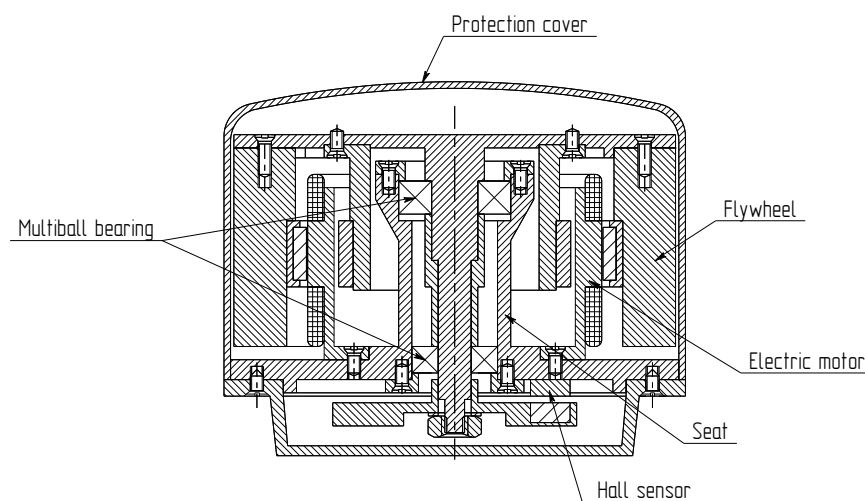


Fig. 1. Overall view of the servo electric motor

Parametrical variation of flywheel dimension and mass combination analysis depending on its angular speed was carried out for definition of rational constructive variation by the flywheel dimensions and mass. Table 1 shows weight dimension characteristics.

Table 1. Weight-dimension parameters of a flywheel at various angular rotation speeds and constant height of a flywheel rim  $h = 0,03$  m.

The height of the flywheel rim $h$ , m	The outer radius of a flywheel rim $R$ , m	The inner radius of a flywheel rim $r$ , m	Weight $m$ , kg	Angular speed $\Omega$ , 1 / min
0,03	0,032	0.015	0,482	5000
0,03	0,033	0.017	0,443	5000
0,03	0,034	0.02	0,394	5000
0,03	0,035	0.023	0,370	5000
0,03	0,03	0.01	0,573	6000
0,03	0,031	0.013	0,512	6000
0,03	0,032	0.016	0,464	6000
0,03	0,033	0.018	0,400	6000
0,03	0,034	0.020	0,373	6000
0,03	0,035	0.023	0,382	6000

Figure 2 gives an example of the dependence of the flywheel mass from the outer diameter for different values of the flywheel rim height when the angular velocity  $\Omega = 6000$  1/ min.

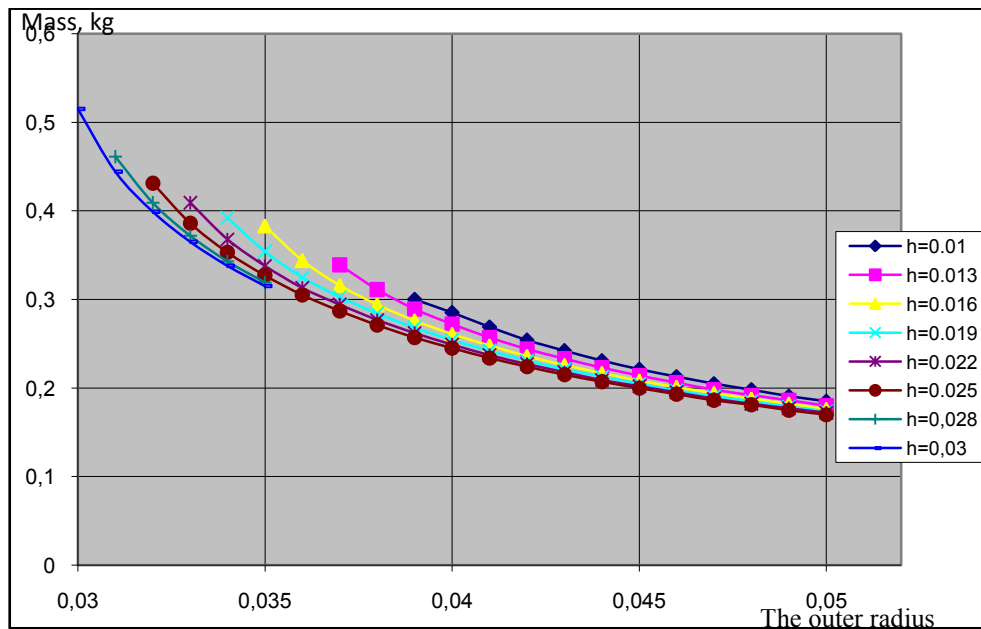


Fig. 2. Flywheel mass dependence of the outer diameter for various values of the rim height,  $\Omega = 6000 \text{ min}^{-1}$



**Parametrical 3D model of a flywheel**

The parametrical 3D model has been created in the calculated parameters of a flywheel and given in figure

3.

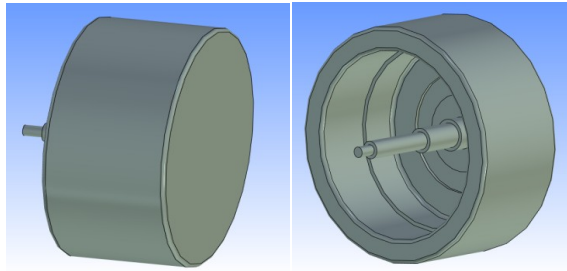


Fig. 3. Parametric 3D model of the flywheel

The inner radius of the flywheel is calculated according to the formula

$$r = R \cdot \sqrt{1 + \frac{J}{\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \pi \cdot h \cdot R^4}},$$

where  $\gamma$  - specific gravity of the material of the flywheel;  $R$  - radius of the outer rim of the flywheel;  $r$  - inner radius of the flywheel rim;  $h$  - height of the flywheel rim;  $m$  - mass flywheel rim;  $J$  – inertia moment.

The model is completely reconstructed at change of external radius of a flywheel, at the same time there is a recalculation of the parameters depending on the geometrical sizes of a flywheel and the internal radius because a flywheel 3D model parametrical. Copies of the screen with the editor of variables at two values of external radius of a flywheel are shown in figure 4.

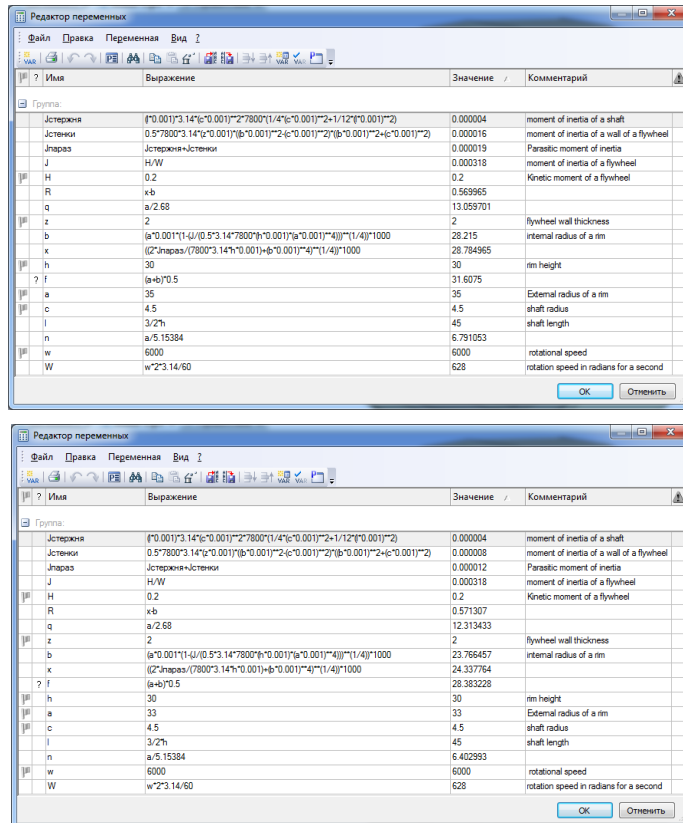


Fig. 4. Calculation of a flywheel internal radius at two values of external radius (33 and 35 mm) in the editor of variables

## Conclusion

Flywheel 3D model which meets qualifying standards has been designed. As the 3D model of a flywheel is parametrical, the model completely reconstructs while flywheel changing of external radius. At once there is a recalculation of the parameters depending on the geometrical dimensions of a flywheel, in particular, of internal radius [2]. Application of modern computer design aids allows to project quickly and effectively elements of spacecrafts designs. Parametrization helps to carry out search of a flywheel optimum design with the best strength characteristics.

## REFERENCES

1. Mugesh Raja V., Srinivasa Raman V., Raja K. Design and optimization of flywheel using prompthee // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Volume 10. – Issue 49. – p. 494-499.
2. Gee A.M., Dunn R.W. Analysis of Trackside Flywheel Energy Storage in Light Rail Systems // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2015. – Volume 64. – Issue 9. – p. 3858-3869.
3. Yuan Y., Sun Y., Huang Y. Design and analysis of bearingless flywheel motor specially for flywheel energy storage // Electronics Letters. – 2016. – Volume 52. – Issue 1. – p. 66-68.
4. Muzakkir S.M., Talreja V. Design of flywheel for maximization of storage energy using ANSYS // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Volume 10. – Issue 19. – p. 40291-40300.

## DEVICE FOR CONTINUOUSLY MONITORING OF HEALTH OF COSMONAUTS

Boyakhchyan A.A., Soldatov V.S., Uvarov A.A., Overchuk K.V., Lezhnina I.A.  
Scientific Supervisors: Associate Professor, Ph.D. Gormakov A.N.; Associate Professor, Ph.D. Lezhnina I.A.;  
Associate Professor, Ph.D. Ivanova V.S.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: bojahchyan@yandex.ru

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ КОСМОНАВТОВ

Бояхчян А.А., Солдатов В.С., Уваров А.А., Оверчук К.В., Лежнина И.А.  
Научные руководители: к.т.н., доцент каф. ТПС Гормаков. А.Н.; к.т.н., доцент каф. ФМПК  
Лежнина И.А.; к.т.н., доцент каф. ТПС Иванова В.С.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: bojahchyan@yandex.ru

*Cardiovascular disease can appear even absolutely healthy people. Particularly at risk are the cosmonauts, as a long stay in space has a negative effect on the heart. To prevent the occurrence of cardiovascular disease need to detect disease in the early stages, for which require constant monitoring. The article is devoted to the study of devices for the diagnosis of heart disease during the period of cosmonauts on the space station. Were studied devices that use American astronauts during training on Earth and in space. Research has shown that such devices are popular abroad, particularly in the US, but in Russia these analogues are used only in earthly conditions. On the basis of the information received has been offered the idea of a portable cardiograph, which can be used regularly in weightlessness.*

*Сердечно-сосудистые заболевания могут возникать даже у абсолютно здоровых людей. Особому риску подвержены космонавты, так как долгое пребывание в космическом пространстве отрицательно сказывается на сердце. Чтобы предотвратить возникновение сердечно-сосудистых заболеваний нужно отследить болезни на ранних стадиях, для чего требуется постоянный мониторинг. Статья посвящена изучению устройств, для диагностики сердечных заболеваний космонавтов в период нахождения на космической станции. Были изучены устройства, которые используют американские космонавты во время тренировок на Земле, а также уже непосредственно в космосе. Исследование показало, что подобные*

*устройства распространены за рубежом, в частности в США, но в России подобные аналоги используются только в земных условиях. На основе полученной информации был предложен вариант создания портативного кардиографа, который можно использовать регулярно в условиях невесомости.*

Everyone has seen on TV cosmonauts on the space station, as they live in weightlessness. Most cosmonauts feel well while being on orbit, but only because they receive extensive training before they are sent into space. Cosmonauts can become human beings who have good health, without any diseases and pathologies. But disease can be raised on the board. Due to long-term living in weightlessness the mass of circulating blood is decreasing and blood pressure in the head is keeping constantly high at the same time. All these can cause heart disease. Cosmonauts can have serious health problems after arrival to Earth. For example, one of the crew members of «Soyuz-9" after returning to Earth suffered from two heart attacks [1].

There is the necessary medical equipment on the station. But what if health problems arise during sleep, or when a cosmonaut is in open space. One of the problem solving is the constant monitoring of some health indicators of cosmonauts, such as: pressure monitoring, heart rate and ECG. These indicators are sufficient for detecting early heart disease.

NASA (National Aeronautics and Space Administration) uses such devices for many years. That's look at Keeping the Beat (Figure 1) [2]. This is a special monitor to track heart rate, developed by NASA research center. Continuous monitoring allows doctors to find out the effect of weightlessness on the heart over time. Device technology is quite simple; it is an advanced portable electrocardiograph, which uses ordinary medical electrodes.



*Fig. 1. Keeping the Beat*

On the space station there is the mini server, which records electrocardiogram in real time over the Internet and transmits to Earth, where a cardiologist views all data. Experiments have shown that the device works well in low gravity and can be used both on Earth and in space.

Another positive feature of this device is that doctors can carry out continuous monitoring of cosmonauts before sending to the orbit, so long as the cosmonauts are training, doctors will be able to determine whether the long-term mission will affect the heart or not.

Similar development of NASA's is 12-channel ECG monitor in the form of a vest (Figure 2) – NimbleHeart [3, 4].



Fig. 2. Nimble Heart

This design allows cosmonauts to carry the device daily. The device is based on dry electrodes [5], which are devoid of the disadvantages, which have ordinary medical electrodes. There is no need prepare the skin, lubricate the electrodes, hair, body temperature or humidity, too, does not prevent to take readings.

Nimble Heart prototype was tested, patients feel comfortable and safe throughout the test. Electrodes cannot prevent a person to make active actions, and it does not affect the readings.

Most portable cardiographs can be used not only on Earth, but in space too. Such a portable cardiograph developed a small innovative company «Potential» (Fig.3) [6]. Design features of the device and algorithms of signal reading allow using the device in weightlessness [7]. But for correctly working need to improve the reliability and fail-safety of the device.

This problem is solving, it requires duplicate the functions of the software, if by any chance the device will be damaged.



Fig. 3 Portable cardiograph by «Potential»

The addition of these modifications allows using a portable electrocardiograph in space. Nevertheless, this device is not a class of continuous monitoring devices. Therefore, the best solution would be the development of devices for continuous ECG monitoring. A distinctive feature of the device is that the capacitive electrodes are used instead of conventional medical electrodes [8]. Such electrodes are less susceptible to external influences and interferences. The devices planned to carry on the shoulder; it is look as a heart rate monitor, which to carry on the shoulder. The signal from the shoulder better than the wrist. Also, if the installed in device a pulse oximeters, it is possible besides the ECG and a pulse to receive data about the blood pressure. It will be recorded all the necessary

information about the heart health of cosmonauts. Data from the device will be transmitted wirelessly and doctors can see the indications of health of cosmonauts. The use of lithium-polymer batteries allow to use the device for several days without recharging.

#### REFERENCES

1. L. Sitnik, Spacehealth, [Электронный ресурс] – URL: <http://vtbrussia.ru/tech/kosmicheskoe-zdorove>, режим доступа – свободный.
2. Jan Wittry, Nancy O'Bryan, NASA's Glenn Research Center. Keeping the Beat [Электронный ресурс] – URL: [http://www.nasa.gov/vision/earth/technologies/heart\\_monitor\\_feature.html](http://www.nasa.gov/vision/earth/technologies/heart_monitor_feature.html), режим доступа – свободный.
3. Todd T. Schlegel, MD NASA-JSC Houston, Dry Electrode Harness System for Wireless Self Acquisition of Resting 12-lead ECGs to Android Smart Phones [Электронный ресурс] – URL: [http://www.nasa.gov/pdf/658836main\\_03\\_3\\_NHPC2012\\_Schlegel\\_ECG%20Harness%20and%20Android\\_schlegel\\_panel.pdf](http://www.nasa.gov/pdf/658836main_03_3_NHPC2012_Schlegel_ECG%20Harness%20and%20Android_schlegel_panel.pdf), режим доступа – свободный.
4. NimbleHeart delivers wearable 12 lead ECG harness to NASA for astronaut monitoring [Электронный ресурс] – URL: <http://www.prnewswire.com/news-releases/nimbleheart-delivers-wearable-12-lead-ecg-harness-to-nasa-for-astronaut-monitoring-300112648.html>, режим доступа – свободный.
5. Yu Mike Chi, Dry-contact and noncontact biopotential electrodes, IEEE REVIEWSM IB BIOMEDICAL ENGINEERING, Vol. 3, 2010. P. 106-118.
6. Overchuk K.V., Uvarov A.A., Lezhnina I.A., Modification of the Algorithm Processing and Control Hardware Functions in the Portable Electrocardiograph for Use in Space Industry, Collection of scientific papers III Russian forum for pupils, students, post-graduate students and young scientists with international participation, Vol.6, 2015. P. 353-355.
7. Starchak A. S., Electrocardiograph as a Space and Ground Support Equipment, Collection of scientific papers III Russian forum for pupils, students, post-graduate students and young scientists with international participation, Vol.6, 2015. P. 386-389.
8. Overchuk K.V., Boyakhchyan A.A., Uvarov A.A., Soldatov V.S., [Электронный ресурс] – URL: <http://www.scienceforum.ru/2016/1552/23148>, режим доступа – свободный.

#### **COLONIZATION OF PLANETS BY HUMANITY: MYTH OR REALLY?**

Damdinov B.O.

Scientific Supervisor: Ph.D. Koblov N.N.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [damdinov.94@mail.ru](mailto:damdinov.94@mail.ru)

#### **КОЛОНИЗАЦИЯ ПЛАНЕТЫ ЛЮДЬМИ: МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?**

Дамдинов Б.О.

Научный руководитель: Коблов Н.Н., к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [damdinov.94@mail.ru](mailto:damdinov.94@mail.ru)

*The humanity seeks for conquering a galaxy. Colonization of other planet will be one of the biggest step to space exploration. The humanity have managed a lot of achievements in the space exploration sphere in short period of time. Many researches of space have been realized. Many planets have been explored for determination of*

*possibility for their colonization, and methods how they can be reached . Among all the planets of the solar system, Mars is the most similar to Earth. In this article it is written about colonization of this planet. It will also consider projects that are currently developing in this area.*

*Человечество стремится покорить галактику. Одним из самых больших шагов к освоению космоса будет колонизация другой планеты. В течение очень короткого времени человечеству многого удалось достичь в области космонавтики. Были проведены многочисленные исследования космоса. Было изучено много планет для определения возможности их колонизации, а также способы добраться до них. Среди всех планет солнечной системы планета Марс имеет самое большое сходство с Землёй. О колонизации этой планеты будет говориться в данной статье. Также будут рассмотрены проекты, которые в данный момент развиваются в этой сфере.*

## **Introduction**

Lately the humanity thinks about colonization of any planet suitable for life. There are many planets similar to our Earth, which locate outside of Solar system. One of the major challenges is to get to these planets, which will take years. Thereby, we must choose a planet, which is located in the Solar system. Venus is not suitable for life. The average temperature on all surfaces of Venus sometimes exceeds four hundred eighty degrees Celsius, and pressure of the atmospheres is in ninety times more than Terrestrial. The planet is surrounded with the clouds, which almost consist of sulfuric acid and there are often acid rains on planet surfaces. Jupiter does not have surface and almost completely consists of helium and hydrogen and the strongest winds never stop in the atmosphere. The other planets are also not suitable for life, except Mars [1]. Afterwards, in the course of studying of the splinters of the meteorites falling from a surface of Mars to the Ground fossilized remains of microorganisms have been found.

In scientifically fantastic movies and books, colonization of other planets seems idle time. We only need to make the leap into "hyperspace" on your star cruiser, and you punch the put space-time and instantly you arrive to the destination. In reality, it does not look that beautiful. Mankind will colonize the planet by series of small steps, since successful accommodation on low Earth orbit [2].

In order to understand the process of Mars colonization, first of all it should be briefly examined the different phases of activity, which will be necessary to make in transforming the Red Planet. The author has chosen four main phases, which are called "exploration," "base building," "settlement," and "terraforming".

The phase of research of the colonization of Mars was made through telescope reviews. It is necessary to learn resources on the red planet, and the optimum location for the basis and the settlement of people. To determine an operations procedure, which people will be based and by means of what can live on Mars and perform useful operations on essential areas of a surface of Mars.

The following phase is a construction phase. In this phase, we should conduct agricultural, industrial and chemical researches. Thereby, the humanity wants to know if they could turn the Martian raw materials into useful resources. In these missions the question whether it is possible to provide from Martian air, fuel and oxygen in a phase of construction of a basis for colonization are raised. The purpose of this mission is to grow crops on Mars, to be able to make ceramics, metals, plastics and all kinds of other minerals. The initial phase of research can demand small team in number of 4 people working from the base camps widespread in areas of a Martian surface. The phase of construction of a basis will require division of labor. This phase should involve many people. The big team must have lumps of the equipment and have a lump of power supplies for these devices as energy on Mars meanwhile will not manage to be gotten.

If turn out well supports of a considerable part of the population on Mars from local resources, it is possible to begin a phase of settlement of the red planet. This phase will help to create a new human civilization on Mars. Further, by the growing opportunity to transform the Red planet.

However, long-term accommodation in Martian colonies will demand transformation of the planet, so-called terraforming. Terraforming includes a rise in temperature on Mars to terrestrial conditions. The only realistic way to make it — to construct blocks of processing of the soil, which will pump up super greenhouse gases like methane and ammonia in the atmosphere of Mars. These gases will absorb solar energy and to warm the planet, starting emission of carbon dioxide from the soil and polar ice caps. As carbon dioxide increases in the atmosphere, pressure will fall, providing additional heat and formation of the oceans. Eventually the colonists will begin to do without space suits though will be forced to carry oxygen cylinders.

After several decades, later Mars will be almost indistinguishable from Earth. If it will happen, Mars can become the second home for people.

People can't inhale the atmosphere of Mars, which red planet have at this moment. Plants from the Earth could be planted on the surface of Mars to make it possible to create the soil and oxygen. Presence of pressure considerably would bring benefit to human settlers. People will be able to breathe and walk without spacesuits, therefore, it was possible to accelerate to the process of colonization of Mars. In addition, it is necessary to create special structures or buildings for storage and use by people of air from Earth. Such buildings have very big expenses and are not convenient [3].

Among extraterrestrial bodies in our solar system, Mars is unique in this. Red planet possesses all the raw materials required to support not only life, but also a new branch of human civilization. This uniqueness is illustrated most clearly, if we compare Mars and Moon, the most frequently cited alternative location for extraterrestrial human colonization [4].

Difference of Mars from the Moon that it is rich with carbon, nitrogen and oxygen, in all biologically available forms, such as CO<sub>2</sub> gas and gas of nitrogen and so on. These components of the Moon are only present in paucity, also as well as gold in sea water on Earth. Oxygen of course enough on the Moon, but there is a problem that she is in densely connected oxides, such as SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. According to knowledge, which is collected during all the time, scientists have put forward the theory. The theory says that if Mars was smooth and all permafrost, which is present on Mars has thawed and would turn into water, then all planets would be covered by the ocean more than 100 meters from the surface of Mars. This judgment gives plus towards Mars. In order to grow plants on the Moon, it is necessary to import much of our planet Earth.

Also not only metals (or example, copper), and such elements as sulfur and phosphorus are interesting to humanity. While Mars has almost all elements stated above numerous number. On Mars, as well as on Earth, there were hydrological and volcanic processes, which, most likely, will concentrate various elements in local concentrations of quality mineral ore. Judging by mineral resources, it is possible to draw optimistic conclusions. In addition, on the Moon there were no events connected with water or volcanic actions. Because the Moon is made of rocks of garbage with very small difference in ores, which represent useful concentration, something interesting [5].

The most important difference of colonists of Mars from colonists of any other planet, Martian inhabitants will be able to live quietly on a surface. Will not hide from various storms and will be able freely to grow up grain crops on a surface of Mars. Mars is a place where people can increase population and supporting itself by those materials, which are made of local Martian raw materials. Mars is placed where the actual civilization, can be developed not only a scientific outpost and mining industry, but also various fields of activity, which are in the interests of humanity. It is also possible to create interplanetary trade, Mars and Earth - where people will be able to be engaged in export in all fields of activity [6].

Everything that has been described above can be made ideally. However, in reality there will be set of difficulties. It is not enough events on the colonization of Mars.

There is a project called Mars One. It is the private project directed by the Bass Lansdorp and assuming flight to Mars with the subsequent basis of a colony on his surface and broadcast of all events per television. Now the project has already carried out several stages of realization of creation of a colony on Mars. In 2013 the international selection of astronauts has been made. Also in 2015 technical and psychological training of the selected 24 candidates, obtaining skills of a survivor in the isolated environment and in the conditions, which are brought closer to Martian, started.

In addition, there is such project as Inspiration Mars Foundation — the American non-profit organization (fund) founded by Dennis Tito, planning to send in January 2018 the piloted expedition for flight on Mars with return to Earth. In 2013, the Inspiration Mars Foundation fund has held a press conference to announce the plan of fund to provide an equipment, to get services to start on the carrier rocket, to select crew from marrying men and women. Now fund raising, lacking for a start is made.

If to look even more widely and further, then it is possible to consider the project under the name Hundred-Year Starship-the project of NASA and DARPA for preparation of the piloted flight in distant space. The project assumes preparation within hundred next years of the piloted expedition for other star systems [7].

At the moment, "Mars One" project, has the largest commitment to the colonization of Mars than the other projects. Technology development continues, so in the future we might be able to colonize Mars.

#### REFERENCES

1. Solar System Planets: Order of the 8 (or 9) Planets [Electronic resources] –2016. – URL: <http://www.space.com/16080-solar-system-planets.html>.
2. Will We Ever Colonize Mars? (Op-Ed) [Electronic resources] – 2015 – URL: <http://www.space.com/30679-will-humans-ever-colonize-mars.html>.
3. The Economic Viability of Mars Colonization [Electronic resources] – 2015 – URL: <http://www.aleph.se/Trans/Tech/Space/mars.html>.
4. The cosmic abundances of potassium, uranium, and thorium and the heat balances of the Earth, the Moon, and Mars [Electronic resources] – 1955 – URL: <http://www.pnas.org/content/41/3/127.short>.
5. Colonization of Mars - Wikipedia [Electronic resources] – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Colonization\\_of\\_Mars](https://en.wikipedia.org/wiki/Colonization_of_Mars).
6. The colonization of space. Gerard K. O'Neill. Princeton University [Electronic resources] – 1975 – URL: <http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.1975-2041>.
7. How to colonize Mars [Electronic resources] – 2015 – URL: <https://www.theguardian.com/science/political-science/2015/nov/05/how-to-colonize-mars>.



**TO THE QUESTION OF DISTANCE LEARNING IN AEROSPACE INDUSTRY**

Isaeva D.V., Ivanova V.S

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Ivanova V.S,

Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: miss.alien2012@yandex.ru

**К ВОПРОСУ О ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

Исаева Д.В., Иванова В.С.

Научный руководитель: Иванова В.С., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: miss.alien2012@yandex.ru

*This article contains an information about the possibilities of applying distance learning in the educational process in order to earn bachelor's degree or master's degree, or to obtain a certificate of passing the educational course in the field of aerospace engineering. The advantages and disadvantages of e-learning in the aerospace field are also mentioned. Comparative analysis of various distance learning programs in foreign countries was made according to the main criteria: tuition fee, duration and course content, student requirements, etc. In addition, the prevalence of online learning in the aerospace industry in Russia and possible problems of implementation of distance learning in aerospace engineering are covered.*

*Данная статья содержит информацию о возможности применения дистанционного обучения в образовательном процессе для получения степени бакалавра или магистра, либо для получения сертификата о прохождении образовательного курса в области аэрокосмической инженерии. Также рассматриваются преимущества и недостатки электронного обучения в аэрокосмической сфере. Проводится сравнительный анализ различных программ дистанционного обучения в зарубежных странах по основным критериям: стоимость обучения, продолжительность и содержание курса, требования к студенту и т.д. Кроме того, изучена распространённость онлайн обучения в аэрокосмической отрасли в России и выявлены возможные проблемы реализации дистанционного обучения в аэрокосмической инженерии.*

In a century of modern technologies, the problem of new learning methods becomes more and more popular. One of the prospective method is called e-learning or distance learning. E-learning provides access to studying when the source of information and the learners are separated by time and distance. This method is convenient for those students, who have no opportunity to attend classes in case of being involved into working process or because of other personal reasons. During this type of education learners communicate with the faculty and other students via e-mail, electronic forums, videoconferencing and other forms of computer-based interaction [1]. The development of distance learning appeared due to modern achievements in the field of technology. It uses such advances as a computer and information technology, educational television, satellite communications systems, the proliferation of computer-based training programs, DVDs and etc.

Distance education has become widespread relatively recently, but has already allowed identifying the obvious benefits of the process:

1) Flexibility

An independence from schedule is the greatest advantage of distance learning. Students need only a few hours of free time, personal computer and an access to the internet. In addition, e-learning is a good training for self-organization and motivation.

2) No need for campus attendance

Doing learning tasks at home or any other place is much more comfortable and less stressful for students. Non-local learners save money related to accommodation and transportation.

3) An engineering graduate degree from a prestigious university

After successful completion of the studying program, each student gets an accredited diploma or certificate, which has the same value as degree, earned offline.

4) Enhancing your career opportunities

Getting E-learning certificate or diploma helps to raise chances to make career advancement and makes possible to increase personal competitiveness.

5) Improving professional skills

Fully online self-paced study offers employed students the time flexibility needed to balance work and studies and allows achieving new competencies, broadening expertise and expanding knowledge [2].

A characterization of e-learning cannot ignore what has been called the negative sides of the method.

Possible disadvantages of distance learning in aerospace sphere are:

1) High price

Not every student can afford to study by the distance learning program. Sometimes the tuition fee can reach great amount of money. Fortunately, most recognized universities provide all diligent students with scholarships.

2) An absence of human interaction

Social contact and direct communication with professors play an important role in studying process, especially in aerospace engineering. Some e-courses are unable to provide online video chats with tutor. This fact may lead to low quality of individual preparation due to lack of guidance and explanations [3].

3) Self-motivation problem

The success and quality of studying depend not only on well-structured courses but also on student's responsibility and ability to manage time. Some learners may face with a problem of self-motivation. The ability to do tasks before deadline is very valuable and necessary, especially at work.

4) No guarantees about future employment

Despite of positive influence of distance learning, it has no guaranty that student will get desired job position.

5) A lack of practical knowledge of working with real instruments and equipment.

Each specialist must have an experience of working with equipment, knowing the construction and properties is mandatory. Those skills allow better conduct research, design and develop vehicles and systems for air, space, or any fluid environment.[4] Without such knowledge, aerospace engineer is going to have difficulties on the future job.

All degrees of high education are graduated on 3 groups:

- 1) Bachelor
- 2) Short course
- 3) Masters

Bachelor degree in aerospace engineering belongs to blended type of studying. It means that course includes both online training and practice in campus. Master's degree and short courses might be blended or fully online. The most important requirement for entry in master's and short courses is a bachelor degree in aerospace engineering or related sphere. Aerospace engineering courses are such a popular evidence in Netherlands.

The table 1 below shows some examples of short-time courses at Delft University of Technology.

Table 1. Online aerospace engineering short courses

The name of the course:	Spacecraft Technology [5]	Smart Structures[6]	Advanced Design & Optimization of Aerospace Structures [7]
Tuition fee	1000 euro per year	600 euro per module	800 euro per module
Duration time	3 months	3 months	2 months
Educational variant	Full-time	Full-time	Full-time
Entry Level	Bachelor	Bachelor	Bachelor
Student interaction	Individual work/assignments (with online group discussions), Online group works/assignments	Online group works/assignments	Online group works/assignments
Teacher support	Continuous support with feedback on request	Continuous support with feedback on request	Continuous support with feedback on request
Course Content	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Satellite Bus Platform;</li> <li>• Rocket &amp; Onboard Propulsion;</li> <li>• CubeSat Design Workshop.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to smart structures;</li> <li>• Structures and materials for smart structures;</li> <li>• Actuation, sensing and control of smart structures;</li> <li>• Morphing structures;</li> <li>• Biomimetic structures;</li> <li>• Integration of smart structures, multifunctionality and multidisciplinary.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The basic components of an airframe structure;</li> <li>• The realities of composite design such as the effect of material scatter, environmental knockdowns, and damage knockdowns.</li> </ul>
Requirements	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expected Level of English: TOEFL score 90+; IELTS overall Band score of at least 6.5; University of Cambridge: "Certificate of Proficiency in English" or "Certificate in Advanced English";</li> <li>• A CV which describes your educational and professional background;</li> <li>• CV;</li> <li>• A copy of relevant transcripts and diplomas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expected Level of English: TOEFL score 90+; IELTS overall Band score of at least 6.5;</li> <li>• Expected prior knowledge: A BSc in Aerospace or equivalent.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expected Level of English: TOEFL score 90+; IELTS overall Band score of at least 6.5; University of Cambridge: "Certificate of Proficiency in English" or "Certificate in Advanced English";</li> <li>• Prior knowledge in aerospace engineering;</li> <li>• A clear and relevant essay in English (1,000 - 2,000 words);</li> <li>• Two reference letters in English: 1) from your professor, 2) from your employer.</li> </ul>
Type of degree	Certificate	Certificate	Certificate

The table demonstrates that conditions and requirements are rather similar, but there are some differences in course's costs and studying programs. Each course provides fully online process of studying, a feedback from tutor and certificate as a result of working. Requirements show that the level of English must be high; TOEFL or IELTS or Cambridge tests have to be passed. Tuition fee depends on quantity of academic hours, course's relevance and duration time. Students do not need work experience to participate in the course program.

The highest quantity of master's degree suggestions are at USA universities. Table 2 shows three different aerospace engineering programs.

Table 2. Online aerospace engineering master's degree

The name of the course:	Aerospace Engineering [8]	Mechanical & Aerospace Engineering (Dynamics & Control) [9]	Space Studies [10]
University	Georgia Institute of Technology, USA	University of Florida, USA	University of North Dakota, USA
Tuition fee	\$1421 per credit	\$12680 total cost of program	\$843 per module (for international students); 352\$ per module (for national students).
Duration time	5 years	2 years	2 years
Educational variant	Full-time	Full-time	Part-time
Student interaction	Online works/assignments	Online group works/assignments	Online group works/assignments
Teacher support	Continuous support with feedback on request	Continuous support with feedback on request	Continuous support with feedback on request
Course Content	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viscous Fluid Flow</li> <li>• Unsteady Aerodynamics</li> <li>• Computational Fluid Dynamics</li> <li>• Rotary Wing Aerodynamics</li> <li>• Rotary Wing Aerodynamics</li> <li>• Rotorcraft Design I</li> <li>• Aircraft Design II</li> <li>• Propulsion System Design I</li> <li>• Kalman Filtering and etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analytical Dynamics I</li> <li>• Geometry of Mechanisms and Robots I</li> <li>• Principles of Engineering Analysis I</li> <li>• Numerical Methods of Engineering Analysis I</li> <li>• Control System Theory</li> <li>• Structural Dynamics</li> <li>• Robust Control Synthesis</li> <li>• Nonlinear Control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Study of near-Earth and main-belt asteroids</li> <li>• Solar astronomy</li> <li>• Spacesuit and spacecraft simulator design, construction &amp; testing</li> <li>• Development of a Lunar/Mars base</li> <li>• Remote sensing of the environment</li> <li>• Aerospace payload development [11]</li> </ul>
Requirements	<ul style="list-style-type: none"> <li>• All graduate programs at Georgia Tech require an online application.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expected Level of English: TOEFL paper-based test score 600;</li> <li>• A bachelor of science degree in mechanical or aerospace engineering with a cumulative undergraduate GPA of at least 3.0 on a 4.0 scale;</li> <li>• Satisfactory scores on the general portion of the Graduate Record Examination (GRE) with a minimum score of 1100.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• English Language Requirements IELTS Take IELTS test 6.5 TOEFL paper-based test score 550 TOEFL iBT® test (read more) 76;</li> <li>• Bachelor's degree from an accredited college or university with an overall grade point average (GPA) of 2.75 or better, or a GPA of at least 3.0 for the junior and senior years of undergraduate work;</li> <li>• The General Record Examination (GRE) General Exam if you plan on seeking funding (graduate assistantship, tuition waivers) via the department or a faculty member. Otherwise, it is not required for admission to the MS program.</li> </ul>
Type of degree	Master of science degree	Master of science degree	Master's degree

Tuition fee ranges differently according to University terms, duration time and studying plan. All those universities support scholarships and grants, which may be awarded on a competitive basis. The students will be given an access to assignments and to the group's and teacher's chats. The requirements of entire is exact, English language must be confirmed by one of the international tests, University of North Dakota requires Bachelor's degree GPA of 2.75 or better, University of Florida wanted GRE with a minimum score of 1100. Five-year course of aerospace engineering in Georgia University consist of 56 different disciplines, distributed evenly between semesters. At the end of the each course student earns Master of Science degree.

Talking about the Russia, fully online distance learning in aerospace sphere does not exist now. However, blended type of studying program is widespread all over the country. Students get online their science books and pass mandatory tests, but they are obliged to attend some practical classes before and during the session time. The absence of total online aerospace course in Russia is easy to explain by the old methodic of education, a lack of teacher's computering and programming skills and practice-based specialty. Nevertheless, the system of education changes, the progress goes on, e-learning becomes more and more perspective and slowly penetrates into educational process.

Overall, earning degree of aerospace engineering online is impossible for beginners because all existing online courses suggest the presence of previous learning in aerospace sphere such as Bachelor's degree. It means that without any basic knowledge about constructing, designing, principle of spacecraft working student is prohibited to take part in distance learning course. The best way to get this knowledge is to go to study aerospace engineering at the university's campus classes. But for those, who wants to continue studying in aerospace sphere, e-learning is the most comfortable way of learning, especially for employees who combines work and study.

#### REFERENCES

1. Distance learning portal, 15 Online Masters in Aerospace Engineering by universities in United States [electronic resource] Access mode: <http://www.distancelearningportal.com/study-options-c/masters/269778981/aerospace-engineering-united-states.html>.
2. North Carolina State distance education, Master of Science in Aerospace Engineering [electronic resource] Access mode: <https://distance.ncsu.edu/programs/master-of-science-in-aerospace-engineering>.
3. Ileana Gabriela Niculescu-Aron Ase. A Cram of E-Learning Advantages and Disadvantages//Informatica Economică, nr.2 (42)/2007 [electronic resource] Access mode: <http://revistaie.ase.ro/content/42/Aron.pdf>.
4. Engineering Texas A&M University, Aerospace Engineering [electronic resource] Access mode: <https://engineering.tamu.edu/academics/degrees/undergraduate/aero>.
5. Short courses portal, Certificate Spacecraft Technology [electronic resource] Access mode: <http://www.shortcoursesportal.com/studies/113398/spacecraft-technology.html>.
6. Short courses portal, Certificate Smart Structures [electronic resource] Access mode: <http://www.shortcoursesportal.com/studies/43392/smart-structures.html>.
7. Short courses portal, Certificate Advanced Design & Optimization of Aerospace Structures I [electronic resource] Access mode: <http://www.shortcoursesportal.com/studies/43391/advanced-design-optimization-of-aerospace-structures-i.html>.
8. Masters portal, M.Sc. Aerospace Engineering [electronic resource] Access mode: <http://www.mastersportal.eu/studies/144060/aerospace-engineering.html>.

9. Masters portal, M.Sc. Mechanical & Aerospace Engineering (Dynamics & Control) [electronic resource] Access mode: <http://www.mastersportal.eu/studies/56125/mechanical-aerospace-engineering.html>.
10. Masters portal, Master Space Studies [electronic resource] Access mode: <http://www.mastersportal.eu/studies/45155/space-studies.html>.
11. John D. Odegard School of Aerospace Sciences, Department of Space Studies [electronic resource] Access mode: <http://space.edu/>.

**ENSURING ACCURACY OF GYROSCOPIC SYSTEMS. MODERN METHODS  
AND APPROACHES**

Kaftasyev S.M.

Scientific Supervisors: Associate Professor, Ph.D. Belyanin L.N, Associate Professor, Ph.D. Ivanova V.S.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: [semak-semak@yandex.ru](mailto:semak-semak@yandex.ru)

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ  
И ПОДХОДЫ**

Кафтасьев С.М.

Научные руководители: Белянин Л.Н., к.т.н., доцент каф. ТПС; Иванова В.С., к.т.н., доцент каф. ТПС  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: [semak-semak@yandex.ru](mailto:semak-semak@yandex.ru)

*In the modern world the interference in production exact instrument making requires more and more. Precision instrument making one of the most important components of scientific and technical progress. The instruments which are a part of different systems and complexes on traffic control, instruments of navigation and orientation, instruments of sea navigation, space, aviation instruments and so on. At the same time quality of execution of such instruments which are manufactured of the modern materials and is combined by elements of exact mechanics, optics, high-voltage electronics, and determine the instrumental accuracy, reliability and a resource of operation of complexes. Gyro instruments bright representatives of products of exact instrument making are also used both in systems of navigation, and in the navigation systems without platform and stabilizing of spacecrafts. Accuracy and reliability of the modern gyroscopic systems in many respects depend on stability of the form, the geometrical sizes, durability of materials and methods of receiving materials of the details which are a part of construction of high-precision nodes. In this operation methods and methods of support of accuracy of gyroscopic systems depending on the used material in details namely for an alloy 40HNYU-VI will be considered.*

*В современном мире все больше требует вмешательство в производство точное приборостроение. Точное приборостроение одно из важнейших составляющих научно-технического прогресса. Приборы, входящие в состав различных систем и комплексов по управлению движением, приборы навигации и ориентации, приборы морской навигации, космические, авиационные приборы и так далее. При этом качество выполнения таких приборов, которые изготавливаются из современных материалов и сочетают в себе элементы точной механики, оптики, высоковольтной электроники, и определяют инструментальную точность, надежность и ресурс работы комплексов. Гироскопические приборы яркие представители изделий точного приборостроения и используются как в системах навигации, так и в бесплатформенных системах ориентации и стабилизации космических аппаратов. Точность и надежность современных гироскопических систем во многом зависят от стабильности формы, геометрических размеров, прочности материалов и способов получения материалов деталей, входящих в состав конструкции высокоточных узлов. В данной работе будут рассмотрены методы и способы обеспечения точности гироскопических систем в зависимости от использованного материала в деталях, а именно, для сплава 40ХНЮ-ВИ.*

The modern technological level of precision instrument making defines application in different constructions of the metal materials satisfying to a difficult complex of physics and mechanics properties: high mechanical characteristics, corrosion resistance, the required coefficient of thermal extension, sized stability in time.

The group of precision precipitation hardening alloys with the given properties of elasticity meets these requirements for set of indices in the greatest measure. Among alloys of this group the alloy 40HNYU-VI which is characterized by high resistance to micro plastic strain and relaxational firmness in the conditions of static and cyclic loading that is especially important for saving the sizes of high-precision details of products of exact instrument making is selected. Alloy 40HNYU-VI is widely applied in case details and responsible precision nodes with a manufacture accuracy at the level of units and the tenth shares of a micrometer of different gyro instruments and systems: gyroscopes, accelerometers, borehole modules of orientation and so on.

Characteristic product of exact instrument making in which the modern constructional materials are used and direct dependence between the accuracy and reliability of the instrument and sized stability of the entering high-precision nodes takes place, the two-degree floated type gyroscope — the precision sensor of angular information representing a product in which casing the hermetic float containing the fast-rotating rotor is weighed in viscous liquid is. The hemispherical gas bearing which material of details is an alloy 40HNYU-VI is used to weighing of a rotor which sets the principal axis of sensitivity of a gyroscope [1].

Strict requirements on manufacture accuracy at the level of the tenth shares of a micrometer, and according to the tolerance of sized instability in time - thousand shares of a micrometer in an hour are imposed to details and a node in general of the precision gas bearing of a floated type gyroscope. These requirements are necessary for saving persistence of a lubricant gap of a gas suspension, support of instability of leaving of the instrument from deformations of a suspension (support flange) less than  $0,001^\circ / \text{h}$  for an hour that directly determines the functional accuracy and operational reliability of a gyroscope and, as a result, competitiveness of products.

Technological processes of manufacture of details of the gas bearing have two important features: execution on details of several precision rigidly interdependent surfaces and formation on the working surfaces of the functional elements which are finally executed with an accuracy in the tenth shares of a micrometer, such as an airfoil profile and a wearproof covering nitride of titanium.

These factors, being, certainly, necessary elements of technology, define the additional difficulties connected to the fact that each of the specified surfaces is in different operating conditions and shall save the given configuration in case of action of tension of different value and the direction. At the same time it is necessary to provide the required geometrical accuracy to both each surface, and the 6th mutual orientation of these surfaces among themselves. Therefore one of the most important technological aspects of process of manufacture of precision nodes and constructions is support of stability of their geometrical accuracy at the level which can reach the tenth shares of a micrometer. It is obvious that enhancement and improvement of quality of the manufactured gyro instruments, is directly connected to opportunities and a level of development of the most effective remedies of technological support of process of their manufacture.

But the developed technological methods and the principles of a shaping are applicable only for rather narrow areas connected only to formation of the sphere or a precision finishing of spherical surfaces. Besides the researches stated above were connected to support of accuracy on a manufacturing stage and didn't analyze its saving eventually. It defines need and importance of reviewing of developments and course of micro plastic deformation for a node — processes of creep and a relaxation, in expanded time frames and in more severe conditions, including the operation period [2].

Today high accuracy of a gyroscope and persistence of operating characteristics during the retention period, settings of the instrument in the navigation system and operation are provided in an insufficient level.

The existing technological processes of manufacture of precision details of the gas bearing have insufficiently high level of reproducibility of results regarding support of precision parameters. In case of

manufacture of precision details of the gas bearing there are problems as with receiving precision of level of the tenth shares of a micrometer, and their saving during a retention period, assemblies and operation of the instrument. All this does the task of increase of accuracy and sized stability of precision details and a node of the gas bearing very actual without which solution improving of qualitative characteristics of instruments in general is impossible.

Geometrical accuracy and the measured details are stability of accuracy and tools knots of a gyroscope, development conceptual and applied approaches with use elements the analysis the systems and methods of repetition allowing to estimate and analyze in difficult production processes knots of accuracy at the consecutive interdependent levels are necessary for the solution of problems: material, detail, knot. At each level it is necessary to show and estimate that the comparative value of the possible reasons instability develops criteria for evaluation of their influence and technological methods and economy increase and accuracy means of knot. Here some problems Solutions of maintenance geometrical accuracy details and knots of tools a gyroscope and stability during operation are shown. The first way is increasing micromechanical features of an alloy such as h limit of the macro elasticity determines the level of residual efforts in material. The last one does not allow developing of micro plastic intensity. The second, reduction area of modification residual efforts in ready knot in case operation is close to a limit of level of macro elasticity of material.

The first direction the researches of metals for increase of micromechanical characteristics of an alloy assumes a certain share. At the same time control of micro structural parameters of an alloy is the tool for increase of its sized stability.

The second direction provides reviewing of manufacturing techniques from line items of lowering of level of residual stresses in details, but in too time and saving their form that it is connected to need of the analysis of the entered tension on different operations of technological process and development of the methods reducing the entered tension.

Such approach reflects multi-level nature of research, assumes development of set of the interdependent objective criteria and progressive technical solutions providing controlled nature of technological process of manufacture of details and nodes that will allow to solve a problem of receiving and saving during the long time frame of geometrical accuracy of precision details and nodes of gyro instruments.

Increasing of level of technological support of process of manufacture of precision details and nodes of an age-hardening alloy 40HNYU-VI, on the example of support and flanges of a gas bearing of a two-degree floated type gyroscope, with detection of the progressive technical solutions allowing to provide controlled nature of process of a shaping and saving geometrical accuracy of products at the level of the tenth shares of a micrometer is one of the modern methods of support of accuracy of gyroscopic systems [3].

#### REFERENCES

1. Raghavan V. Aluminum Chromium - Nickel // Journal of Phase Equilibria and Diffusion.- 2006.- Vol. 27, No. 4.- pp. 381-388.
2. Pallett E. H. J. Aircraft Instruments and Integrated Systems // Hayden Book Company. – 1969. pp. 242-261.
3. Winther G. Slip systems extracted from lattice rotations and dislocation structures // Acta Materialia.- 2008.- 56.- pp. 1919-1932.



## DIE ZIELSTREBIGE ENTWICKLUNG DER KOSMISCHEN ANLAGEN IN RUSSLAND

Kataeva O.I.

Wissenschaftlicher Berater: Fr. Dr. Plehanova M.V.  
Nationale Tomsker polytechnische Forschungsuniversität  
Russland, Tomsk, st. Lenina 30, 634050  
E-mail: oik4@tpu.ru

## СТРЕМИТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ КОСМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В РОССИИ

Катаева О.И.

Научный руководитель: Плеханова М.В., доцент, к.п.н  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: oik4@tpu.ru

*Im Vortrag ist die perspektivischste russische Anlage der kosmischen Bestimmung betrachtet und analysiert. Diese Kernenergieanlage hat keine Analogien. Sie wird ermöglicht, die qualitativ neue Technik des hohen Energieeinsatzes für die Erforschung und die Aneignung des entfernten Kosmos zu schaffen. Im Vortrag sind die Vorteile, die wichtigen Betriebscharakteristiken des nuklearen Raketennmotors detailliert vorgestellt. Außerdem ist die Zusammenstellung der motorischen Kernanlage dargestellt und das Prinzip ihrer Arbeit ist erklärt.*

*Es kann sein, dass in der allernächsten Zeit der große Schritt vorwärts in den Kosmischen Wissenschaften gemacht sein wird und bald der erste Flug auf den Mars gelingt.*

*В докладе рассмотрена и проанализирована наиболее перспективная разработка космического назначения, созданная в России. Не имеющая аналогов энерготранспортная установка позволит создать качественно новую технику высокой энерговооруженности для изучения и освоения дальнего космоса. В докладе подробно представлены преимущества, важные эксплуатационные характеристики ядерного ракетного двигателя. Также изображена компоновка космической установки и объяснен принцип ее работы.*

Der Traum von Sergej Korolev, Wernher Magnus Maximilian Freiherr von Braun und ihren Vorgängern, die mächtige Energetik für die kosmischen Flüge zu bekommen, kann sich bald durchführen.

Die russische Präsidialverfügung von Dmitrij Medvedev ist zur Unterstützung des Entwurfs des kosmischen transport-energetischen Moduls auf der Grundlage der Kernenergieanlage im Juni 2010 ergangen. Das Projekt wird von den Unternehmen Rossatoma und Roskosmos gemeinsam ausgeführt. Das Ziel des Projektes ist, die führende Position Russlands in der Entwicklung der hocheffektiven energetischen Komplexe der kosmischen Zielsetzung zu gewährleisten. Diese hocheffektiven energetischen Komplexe werden die Funktionalität qualitativ erhöhen. Die Kernenergieanlage hat keine Analogien. Sie wird eine qualitativ neue Technik mit hohem Leistung-zu-Gewicht-Verhältnis für die Erforschung und die Aneignung des entfernten Kosmos schaffen. Unter Anwendung von Kernenergieanlagen kann man die folgenden Aufgaben lösen [1]:

- Flug auf den Mars, sowie ausführliche Forschungen auf anderen Planeten und ihrer Satelliten;
- industrielle Produktion im Kosmos;
- Reinigung des erdnahen kosmischen Raumes vom kosmischen Müll;
- Bekämpfung der asteroiden Gefahr;
- Schaffung von automatisierten Basen auf anderen Planeten.

Die großen Vorzüge des Projektes sind die tatsächlich wichtigen Betriebscharakteristiken: die hohe Benutzungsdauer (zehn Jahre), das bedeutende Zwischenreparaturintervall und die langwierige Arbeitszeit.

Die Arbeiten an der Entwicklung der kosmischen Anlage beeindruckt die Experten aus anderen Ländern, besonders aus den USA. Noch in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts haben die Arbeiten an Entwicklung des Kernenergie-Raketentriebwerks in den USA und in der Sowjetunion begonnen. Aber kein Mensch hat in damaliger Zeit sichere Motoren geschaffen. Außerdem entstanden die ökologischen Probleme während des Landtests solcher Motoren, da der radioaktive Strom in die Atmosphäre hinausgeworfen wurde. Infolge dieser und einiger anderer

Gründe wurden die Arbeit in der UdSSR und in den USA eingestellt oder angehalten. Aber jetzt hat Russland ganz andere Ansätze angeboten. Im Wesentlichen ist es kleine Kernkraftwerke im Kosmos [2].

Die nukleare elektromotorische Anlage hat drei Hauptteilen:

- Reaktoranlage mit Arbeitskörper und Hilfsgeräte (Rekuperativwärmeaustauscher und Turbogenerator-Kompressoranlage);
- Die motorische Elektroraketenanlage;
- Kühllager-Strahlengeräte.

Das Problem der Strahlungssicherheit wird vom Schattenschutz entschieden. Der Reaktor wird nur einseitig geschlossen, wo die Ausrüstung und die Nutzlast ausgelegt ist. Die radioaktive Strahlung kann sich zu allen übrigen Seiten frei ausweiten, dort gibt es nichts, außer der kosmischen Leere. So kann man auf dem Schutz wesentliches Gewicht einsparen. Der Vorteil ist daher die Temperatur der Erwärmung des Wasserstoffes. Im Reaktor zirkuliert der inerte Arbeitskörper, der bis zu 1500 Grad erwärmt wird. Dadurch wird die Aufgabe stark vereinfacht. Im Ergebnis wird der spezifische Triebwerkschub nicht zweimal, und zwanzigmal im Vergleich zu den chemischen Motoren erhöht. Es ist wichtig, dass man alle notwendigen Tests auf dem russischen Territorium durchführen kann und, sich dahervan den langen internationalen Kontaktaufnahmen über die Nutzung der Kernenergie außerhalb des Staates nicht beteiligen muss [3].

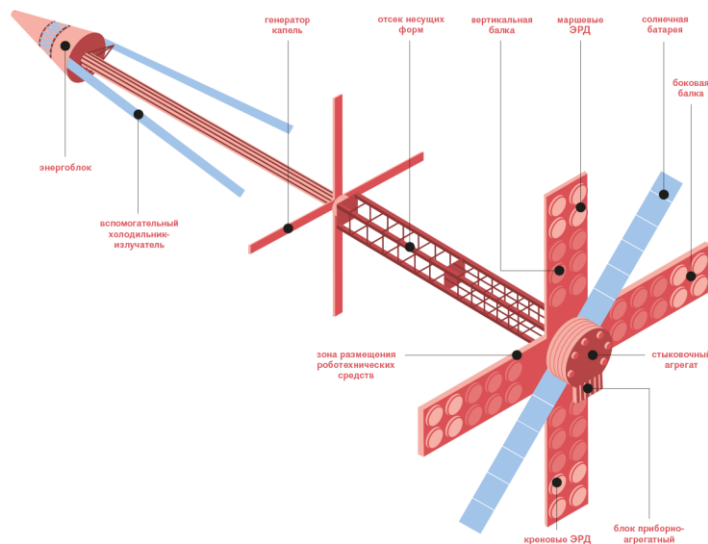


Abb. 1. Zusammenstellung der motorischen Kernanlage. Das transport-energetische Modul

Hauptkonstrukteur der Kernanlagen und Koordinator der Arbeiten von Rosatom ist das Forschungs- und Konstruktionsinstitut von Namen N.A. Dolleschalja.

Mit dem Kernreaktor für die kosmische Anwendung gibt es keine prinzipielle Schwierigkeiten. In der Periode war eine reiche Erfahrung der Produktion ähnlicher Anlagen von 1962 bis 1993 in unserem Land angesammelt.

Nach dem Stand von Juli 2015 war das technische Projekt der aktiven Zone (es ist ein Schlüsselement des Kernreaktors) schon vertreten. Am Ende 2015 war das technische Projekt aller Kernanlagen vertreten.

Als physischen Standpunkt ist es kompakt der gasgekühlte Schnellneutronenreaktor. Jetzt gehen die Prüfungen der Kernbrennstoffelementen, da der Brennstoff bei den sehr hohen Temperaturen arbeiten muss. In der gewöhnlichen nuklearen Brennstoffenergetik ist die Temperatur um Tausend Grad niedriger. Deshalb musste man solche Materialien wählen, die die negativen Faktoren festhalten können, die mit der Temperatur verbunden sind,

und zur gleichen Zeit werden dem Brennstoff zulassen, seine Hauptfunktion zu erfüllen und zwar den Gaswärmeträger zu erwärmen, mit dessen Hilfe die Elektroenergie erzeugt werden wird.

Als Brennstoff wird die Verbindung des Urans verwendet. Die Konstruktion soll aber sehr kompakt sein. Das Uran hat eine höhere Anreicherung nach dem Isotop  $^{235}\text{U}$  (möglichst höher als 20 %). Die Einzigartigkeit des Projektes in der Nutzung des speziellen Wärmeträgers — das Helium-xenon (der Mischung). In der Anlage wird ein hoher Wirkungsgrad gewährleistet.

Die Abkühlung des Gases ist bei der Arbeit der Kernanlage notwendig. Auf der Erde wird für die Abkühlung der Kraftwerke Wasser verwendet. Diese Methode ist im Kosmos nicht möglich. Die einzige Möglichkeit ist die Abkühlung mit Hilfe der Ausstrahlung. Die erwärmte Oberfläche wird in der Leere gekühlt, strahlt dabei die elektromagnetischen Wellen in breit gefächertem und auch sichtbarem Licht aus.

Plangemäß, bei der Vorbereitung der motorischen Kernanlage für die Komplettierung des transport-energetischen Moduls bis Ende 2017 abgeschlossen. Bis Ende 2018 wird die Anlage zu den Flug-Konstruktionstests vorbereitet sein. Die Finanzierung des Projektes wird durch den föderalen Haushalt finanziert. Der Kostenplan beträgt für die Dauer von 2010 bis 2018 7245 Mio. Rbl [4].

Die kosmische Anlage, die in Rosland zurzeit geschaffen ist, wird es zulassen, bis zum Mars für einen sehr kurzen Zeitraum (etwa anderthalb Monate) zu fliegen. Dies hat am 2. März, in der Sitzung des Rates der Föderation der Generaldirektor von Rosatom Sergej Kirijenko erklärt. Die geschaffene nukleare Anlage wird es zulassen, bis zum Planeten und zurück zu fliegen, da es die Möglichkeit des Manövrierens gibt.

Das Mitglied der NASA (englisch National Aeronautics and Space Administration) Edward Krouli glaubt, dass Russland einen unschätzbaren Beitrag zur internationalen Expedition zum Mars beitragen kann. Als technologischer Hauptbeitrag Russlands werden die nuklearen Motoren, sowie die Methoden der Anpassung und der Erhaltung der Gesundheit der Kosmonauten gesehen. "Russland hat eine sehr große Erfahrung sowohl in der Entwicklung der Raketenmotoren, als auch in den nuklearen Technologien", sagte er. Seiner Meinung nach kann kein alleine den bemannten Flug zum Mars verwirklichen. In diesem Projekt sollen sich die intellektuellen, technologischen und finanziellen Möglichkeiten der USA, Russlands, der EU-Länder und, wenn möglich Chinas verbinden [5].

Es lässt sich schlussfolgern, dass Russland der absolute weltweite Monopolist in der Entwicklung der motorischen Anlagen mit dem Kernreaktor ist.

Man kann vermuten, dass in der allernächsten Zeit der große Schritt vorwärts in den Kosmischen Wissenschaften gemacht sein wird und bald der erste Flug auf den Mars gelingt.

#### QUELLENVERZEICHNIS

1. Teslenko V.V. Kosmicheskie jadernye jenergodvigatel'nye ustanovki i jeichasvozmozhnytol'kov Rossii // Kommersants Nauka. – 2015. – №5. – S. 31.
2. Jemeljanenkow A.I. Principial'nonovoe ustrojstvo dlja kosmicheskich missij // Russische Zeitung. – 2012. – №5900. – S. 227–229.
3. Nachrichtenagentur Regnum. Atomnaja jenergetika. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <http://regnum.ru> 02.03.2015.
4. Dvigatel'naja ustanovka kosmicheskogo apparata. [Elektronisches Ressource]. – Zugriffsart: <https://ru.wikipedia.org>.
5. Nachrichtenagentur Ria.ru. Rosatom pomozhet doletet' do Marsa za 1,5 mesjaca. [Elektronisches Ressource]. – Zugriffsart: <http://ria.ru> 02.03.2015.

**DIE BESTIMMUNG DER DEFEKTE IN DEN VERBUNDWERKSTOFFEN MIT  
HILFE DER THERMOWELLENKONTROLLE**

Razumova A.A.

Wissenschaftliche Betreuerin: Fr. Dr. E. Prokhorets  
Wissenschaftlicher Leiter: Herr Dr. V. Schirjaev  
Nationale Polytechnische Forschungsuniversität Tomsk  
Russland, Tomsk, der Prospekt Lenins, 30, 634050  
E-mail: razumova\_aa@mail.ru

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ С ПОМОЩЬЮ  
ТЕРМОВОЛНОВОГО КОНТРОЛЯ**

Разумова А.А.

Руководитель-лингвист: Прохорец Е.К., к.п.н.  
Научный руководитель: Ширяев В.В., к.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: razumova\_aa@mail.ru

*In der vorliegenden Arbeit ist das Experiment nachdem Entdecken der künstlichgeschaffenen Defekte im Objekt der Kontrolle, die Verbundwerkstoffe ist der Glasfaserkunststoff, mit Hilfe der Thermowellenkontrolle vorgestellt. Im Artikel sind die Illustration der experimentalen Anlage und die Thermogramme, die infolge des Experimentes bekommen sindgebracht. Das Ziel des Artikels ist es, die Bedingungen und Ergebnisse des Experiments aufgrund der experimentalen Anlage darzustellen. Zur Zeit ist der Glasfaserkunststoff einer am meistenverwendet die Verbundwerkstoffe in der Raumfahrttechnik und den Flugzeugbau. Die gegebenen Industrie zweigehängen von der Ganzheit und der Zuverlässigkeit des Materials in vieler Hinsicht ab. Für die Sicherung und die Qualität der Erzeugnisse in der Raumfahrt technik ist es wichtigrechtzeitig die Thermowellenkontrolle die Verbundwerkstoffedurchzuführen. Das vorliegende Experiment wird in den realen Bedingungen helfen, die Defekte in den Körper der Raumschiffe und ebenso in den Materialien zu finden, die bei ihrer Produktion verwendet werden. Was die Qualität und die Sicherheit erhöhen wird.*

*В данной работе представлен эксперимент по обнаружению искусственно созданных дефектов в объекте контроля, которым является композитный материал – стеклопластик, с помощью термоволнового контроля. В статье приведены иллюстрация экспериментальной установки и термограммы, полученные в результате эксперимента. Целью работы является представление условий и результатов эксперимента основе экспериментальной установки. В настоящее время стеклопластик является одним из наиболее используемых композитных материалов в космостроении, а так же авиастроении. Данные отрасли промышленности во многом зависят от целостности и надежности материала. Для обеспечения безопасности и качества изделий в космостроении важно своевременно проводить термоволновой контроль композитных материалов. Данный эксперимент поможет в реальных условиях находить дефекты в корпусах космических кораблей, а так же в материалах, которые будут использоваться при их производстве. Что повысит качество и безопасность.*

Die Güterkontrolle der Materialien, der Erzeugnisse, der Gebäude, der Konstruktionen mit Hilfe der Kontrollmessausrüstung ist ein wichtiges Gebiet der Forschungen. Die rechtzeitige Aufspürung des Vorhandenseins der Defekte im Material oder der Konstruktion lässt zu, die notwendige Reparatur oder den Ersatz des Details, des Teiles des Objektes und ähnliches zu erzeugen. Die Kontrollmessausrüstung spielt die besondere Rolle in den hochgenauen Messungen der Technik, zum Beispiel, im Flugzeugbau und in der Raumfahrttechnik und ebenso auf den übrigen forschungsintensiven Gebieten der Industrie.

Das Ziel des Artikels ist es, die Bedingungen und Ergebnisse des Experiments aufgrund der experimentalen Anlage darzustellen.

Man kann darüber sprechen, dass die Verbundwerkstoffe die Zukunft der Menschheit sind. Die bekannten Verbundwerkstoffe sind die Glasschichtstoffe, die Karboplaste, den Verbundwerkstoffe des Typs „Kohlenstoff-Kohlenstoff“. Die charakteristischen Defekte in den ähnlichen Materialien sind die Separation, Unmöglichkeit der Harzfüllung, der Überlauf der Harze zwischen den Materialsichten oder zwischen den Fasern. Diese Defekte führen zur Abwärtsentwicklung der Ressource.

Für das Experiment ist das Objekt der Kontrolle aus zehn Glasfaserkunststoffplatten von der Dicke 0,8 mm jede und der Größe 174x130 mm hergestellt worden. In den Platten des Objektes der Kontrolle waren die Defekte von den Größe 10x10 mm ausgeschnitten. Das Schema des Objekts der Kontrolle wird auf Abbildung 1 gezeigt.

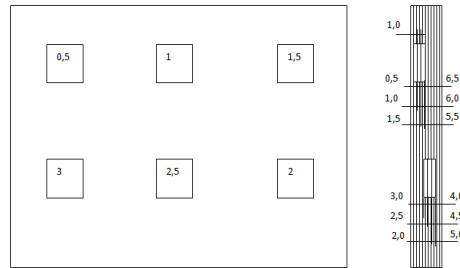


Abb. 1. Das Schema des Objekts der Kontrolle

Die Zahlen links auf der Zeichnung bedeuten die Eindringtiefe der Defekte in mm, rechts – die inneren Größe in mm.

Für die Durchführung des Versuchs war die experimentale Anlage hergestellt, deren Schema auf der Abbildung 2 vorgeführt ist.

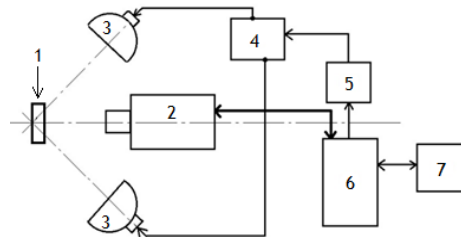


Abb. 2. Das Schema der experimentellen Anlage

wo 1 – das Objekt der Kontrolle, 2 – das Infrarotsichtgerät, 3 – die Wärmequelle, 4 – der Energieblock, 5 – das Steuergerät, 6 – der Personalcomputer, 7 – die Programmierungshilfen.

Die Bedingungen des Experiments sind wie folgt: die Erwärmungszeit – 10 s, die Kühlzeit – 10 s, die Zahl der Zyklen – 10, das Material – der Glasfaserkunststoff, die Dicke – 10 mm. Für die Durchführung des Experimentes muss man der Lichtisolation erzeugen, um die Ausstrahlung von außen zu entfernen, was mit Hilfe des schwarzen Stoffes erreicht war, mit dem die Anlage bedeckt war.

Weiter werden die Ergebnisse des Experiments angeführt. Die auf Abbildungen 3, 4, 5 dargestelltes Thermogramm wurde mit Hilfe des in Lab des Instituts für zerstörungsfreie Prüfverfahren entwickelten Programms aufgrund der Option Fourierbearbeitet.

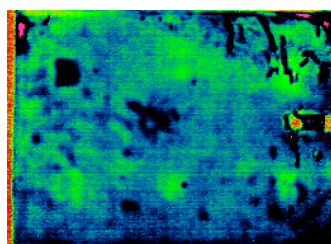
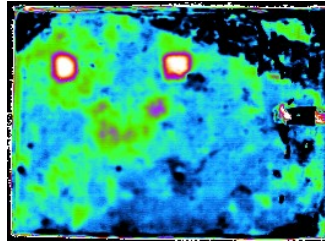
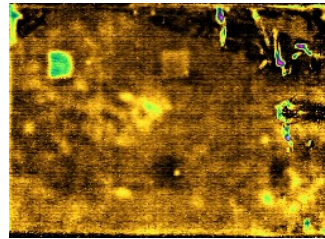


Abb. 3. 9. Harmonika der Fourier-Analyse



*Abb. 4. 10. Harmonika der Fourier-Analyse*



*Abb. 5. 11. Harmonika der Fourier-Analyse*

Nach den Abbildungen 3, 4, 5 kann man die Schlussfolgerung darüber ziehen, dass die Defekte bei der 9. Harmonika der Fourier-Analyse am besten sichtbar sind, sind nicht nur nahegelegen zur Oberfläche sichtbar, sondern auch die tiefen Defekt. Ebenso ist es nötig zu bemerken, dass der erste Defekt die starke Verschiebung nach der Phase bezüglich anderer Defekte hat.

Das vorliegende Experiment hat zugelassen, die Defekte in Verbundwerkstoffen, die sich auf verschiedener Tiefe befanden, zubestimmen. Mit Hilfe des Programms ThermoFit Pro und der Option Fourier war die anschaulichere Darstellung des Defekts herausbekommen. Ebenso ist es aus dem Experiment sichtbar geworden, dass die Bedingungen des Zyklus Erwärmung/Abkühlen für die Defekte auf der kleinen Tiefe genug gut ausgewählt waren und für die tiefen Defekte sind ähnlich. Aus dem Zeitplan der Abhängigkeit des Temperatursignals von der Zeit wird die Verschiebung der Signale nach der Phase beobachtet. Die angegebene Erforschung wird helfen, die Defekte im Körper und in den Details der Raumschiffe zu bestimmen und wird in den Raumschiffbau bedeutend beitragen.

#### QUELLENVERZEICHNIS

1. Composite Materials – Verbundwerkstoffe in der Luft- und Raumfahrttechnik / Günter Pommeranz, Ulrich Lutter. 2008. – S. 4 – 8, 10 – 12.
2. Wawilow W. P. Invrakracnajatermogravijaiteplowojkontrol'. - M.: Isdatel'ckijdom "Сpektr", 2009. –S. 17-33, 187 –200, 259, 290-344.
3. Verbundwerkstoffe: Die Materialien der Zukunft Teil 1: Einleitung [Elektronische Resurs] – URL: <http://www.pluscomposites.eu>. Zugriffsdatum: 08.03.2016.

## PROBLEME DER NUCLEOSYNTHESE. WO IST LITHIUM?

Severin A.V.

Wissenschaftliche Betreuerin: M.V. Plekhanova, Doktor der Pädagogik, Dozentin,  
Nationale Polytechnische Forschungsuniversität Tomsk  
Russland, Tomsk, pr. Lenina 30, 634050  
E-mail: severina12ru@gmail.com

## ПРОБЛЕМЫ НУКЛЕОСИНТЕЗА. КУДА ИСЧЕЗ ЛИТИЙ?

Северин А.В.

Научный руководитель: Плеханова М.В., доцент, к.п.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: severina12ru@gmail.com

*Im vorliegenden Artikel werden die Probleme der Nucleosynthese im Weltall - der Entstehung von Atomkernen kurz nach dem Urknall - betrachtet. Im Artikel werden auch die neuesten wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema "Abgleichfehler von Lithium im Universum", die verschiedene Hypothesen vom angegebenen Problem interpretieren, analysiert. Aufgrund der durchgeführten Analyse wird die allgemeine Schlussfolgerung über das Problem von der Urknall-Theorie und die Perspektiven ihrer weiteren Erforschung gemacht.*

*В данной статье рассматриваются проблемы нуклеосинтеза во Вселенной – процесса образования ядер химических элементов тяжелее водорода в ходе реакции ядерного синтеза. В статье анализируются актуальные научные работы, выдвигающие или опровергающие различные гипотезы, объясняющие возможные причины дисбаланса лития во Вселенной. Проведенный анализ и составленный обзор научных работ позволили сделать общий вывод о современном состоянии и перспективах исследований по проблеме теории большого взрыва.*

In den ersten drei Minuten verteilen sich die nach dem Urknall entstehenden Elemente zu ca. 75 % Wasserstoff (H) und ca. 25% Helium (He). Geringen Anteile von  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^3\text{H}$  und freie Neutronen (jeweils  $10^{-4}$  bis  $10^{-7}$ ), sowie deutlich seltenere Beryllium- und Lithiumisotope fallen dabei nicht ins Gewicht. Aber primäres stabiles Lithium-7-Isotop wurde in einer Menge synthetisiert, die experimentell gemessen werden kann [1].

Lithium (Bor und Beryllium) werden in der Photosphäre der Sterne auf den Resonanz-Linien im Spektrum registriert, wobei für Beobachtungen die Sterne mit niedrigem Metallgehalt (relativer Konzentration von Elementen schwerer als Helium) gewählt werden. Diese Sterne wurden aus interstellarem Gas gebildet, dessen Zusammensetzung der ursprünglichen (primären) nah ist. Durch die Metallizitätsabsenkung fällt der relative Gehalt vom Lithium-7 ( $^7\text{Li}/\text{H}$ ), stabilisiert aber später bei einem bestimmten Punkt. Der Wert  $^7\text{Li}/\text{H} = (1-2,5) \cdot 10^{-10}$ , unter den die Häufigkeit von Lithium-7 nicht abgesenkt wird, wird als der primäre akzeptiert [2]. Hier entsteht aber ein Problem: Lithium sollte in größeren Mengen vorkommen, als wir es jetzt beobachten. Was ist dann falsch mit den aktuellen Theorien?

Die neueste Untersuchung zum Thema bezieht sich auf die nach dem Urknall am wenigsten veränderten Regionen - die Atmosphären von alten Sternen, die sich in der Peripherie der Milchstraße befinden. Da sie von dem Kern, wo das Lithium erscheinen kann, isoliert sind, ist die Wahrscheinlichkeit einer späteren Verschmutzung, die die Ergebnisse beeinflussen kann, äußerst gering. In deren Atmosphären wurde die Lithium-7-Menge um ein Drittel weniger, als bei der Modellierung vorausgesagt worden war, festgestellt. Was ist die Ursache? Eine der vorgeschlagenen Erklärungen: Lithium ist ertrunken. Es dringt aus den Sternatmosphären in die Himmelskörpermaterien und kommt allmählich in die Nähe von Sterninneren. Deshalb ist es nicht mehr in ihren Atmosphären ersichtlich.

Christopher Howk von der University of Notre Dame (Indiana, USA) zusammen mit Kollegen versuchte die Ergebnisse auf der Grundlage von Daten in der Kleinen Magellanschen Wolke (einer der Galaxie-Begleiter der Milchstraße) zu überprüfen.

Anhand vom «Very Large Telescope Interferometer» der europäischen Südsternwarte haben Astronomen genau so viel Lithium, wie vorhergesagt wurde, beobachtet, worüber in der Zeitschrift «Nature» berichtet wurde. Das ist aber leider nicht sehr bei der Problemlösung geholfen. Der Grund besteht darin, dass Lithium sich ständig im Weltall im Verlauf der natürlichen Prozesse bildet, und durch die superneuen Explosionen gleichmäßig in der Metagalaxis verteilt, wie alle anderen gesammelten Elemente. Laut Christopher Howk, die neuen Ergebnisse verschärften nur das Lithium-Rätsel: «Man kann über die Problemlösung nur in dem Falle sprechen, wenn es keine Mengeänderung vom vorhandenen Lithiums seit dem Urknall geben würde» [3].

Die Hauptsache: es ist unmöglich, vorzustellen, dass im Laufe von 12-13 Milliarden Jahren der Kernfusion, die alle schweren Elemente, die das Leben auf der Erde ermöglichen, erzeugte, bildete sich das Lithium aus irgendwelchen Gründen nicht. Unsere heutigen Vorstellungen von der Nucleosynthese lassen uns nicht solche Vermutung anstellen.

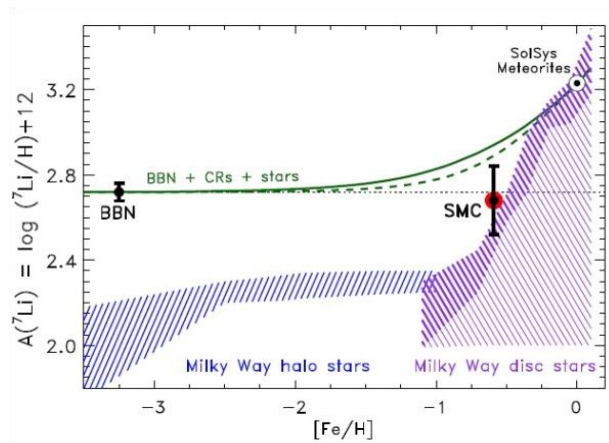


Abb. 1. Bewertung von Lithium in der Kleinen Magellanschen Wolken (roter Punkt), die Festplatte unserer Galaxie (violett) und ihre Peripherie (blau) (hier und folgende Abbildung: Christopher Howk et al)

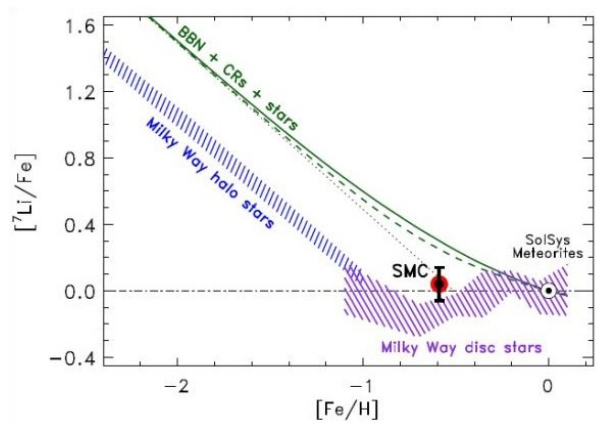


Abb. 2. Zusammenhang von Lithiummenge und Metallizität

(diese nicht lineare Abhängigkeit hat aber bisher keine unbestrittenen theoretischen Erklärungen)

Das neue Werk von Miguel Pato von der technischen Universität München (Deutschland) und Fabio Iocco von der Universität Stockholm (Schweden) zeigte, dass nicht nur supermassive schwarze Löcher in Galaxienkernen, sondern auch normale (und immer zahlreiche) schwarze Löcher stellares Ursprungs sollten das Lithium in ihren Akkretionsscheiben sehr intensiv generieren. Jetzt stellt es sich heraus, dass fast jeder Mikroquasar (das System "das



schwarze Loch - Akkretionsscheibe") das Lithium erzeugen soll. Aber theoretisch gesehen, müssten sie vielmehr als supermassive schwarze Löcher vorhanden sein [3].

Einige Erklärungen können den Arbeiten (Zeitschrift „Physical Review Letters“) von kanadischen Wissenschaftlern Josef Pradler und Maxim Pospelov entnommen werden. Sie zeigten, dass die experimentellen Daten für das primäre Beryllium und über den Urknall und das Lithium-Problem im Weltall vielmehr erzählen können [4].

Es gibt auch noch einen Artikel von Garik Israelian aus Insitituto de Astrofisica de Canarias und seiner Gruppe. In der Arbeit werden ihre Erklärung für die Probleme vom Lithiummangel angegeben.

Eine hervorragende Studie an hunderten von Sternen zeigt auf eine Verbindung zwischen dem „Lithiumrätsel“ der Sonnenchemie – dem Umstand, dass unser Heimatstern unerwartet geringe Mengen des chemischen Elements Lithium enthält – und dem Vorhandensein von Planetensystemen um Sterne hin. Die Wissenschaftler erforschten etwa 500 Zielsterne, von denen 70 über ein Planetensystem verfügen, mit dem HARPS-Spektrografen der ESO und entdeckten, dass sonnenähnliche Sterne, die ein Planetensystem haben, das in ihnen enthaltene Lithium deutlich schneller in andere Elemente umwandeln als planetenlose Sterne. Die Arbeit gibt nicht nur neue Informationen über ein altes Rätsel der Sonnenchemie, sondern zeigt auch einen optimalen Weg auf, um Sterne mit Planetensystemen ausfindig zu machen [5].

In der Arbeit wird auch beschrieben, dass Lithium einen sehr leichten Atomkern hat, der aus nur drei Protonen und vier Neutronen besteht. Die meisten chemischen Elemente leichter als Eisen werden im Inneren von Sternen geschaff. Die leichten Atomkerne Lithium, Beryllium und Bor entstehen dort allerdings in kleinen Mengen. Was wir im Kosmos an Lithium finden ist laut der heutigen Modellen kurz nach dem Urknall entstanden, also vor rund 13,7 Milliarden Jahren. Die meisten Sterne haben einen ähnlichen Lithiumgehalt – es sei denn, beachtliche Mengen dieses Elements sind bei Prozessen im Sterninneren zerstört worden [5].

Da der Zusammenhang zwischen der Anwesenheit von Planeten und besonders geringem Lithiumgehalt bekannt ist, gilt es, die physikalischen Mechanismen aufzuklären, die darunter gemeint werden. Garik Israelian meint: „Es gibt verschiedene Weisen, wie ein Planet die Bewegung von Materie im Inneren seines Heimatsterns stören, so die Verteilung der verschiedenen chemischen Elemente beeinflussen und möglicherweise die Zerstörung von Lithium herbei führen kann. Nun sind die Theoretiker gefragt, welche der Möglichkeiten am wahrscheinlichsten ist“[5].

Es ist noch eine weitere Arbeit zu erwähnen, die sich auf das Ungleichgewicht von Lithium in den Sternen bezieht. Das wissenschaftliche Team erklärt den Hauptgrund von den superneuen Explosionen [6]. Kurz gesagt, stellt die Arbeit folgende Daten dar: sie präsentieren spektroskopische Beobachtungen vom Supernova V1369 Cen und haben ein Absorptionsmerkmal bei 6695,6 Å nachgewiesen, die sie als  ${}^7\text{Li}$  iλ6708 Å identifiziert haben.. Die Absorptionslinie (von  $-550 \text{ km s}^{-1}$  bewegend) wurde in fünf hoch auflösenden Spektren von den Nova bei verschiedenen Epochen beobachtet. Basierend auf der Intensität dieser Absorptionslinie, wurde die Schlussfolgerung gemacht, dass ein Nova-Ausbruch in der Galaxis  $M_{\text{Li}}=0.3-4.8 \cdot 10^{-10} M_{\text{sun}}$  passieren kann. Diese Menge reicht aus, um die rätselhafte Herkunft der Überfülle an Lithium, die in den jungen Sternpopulationen zu beobachten sind, zu erklären [7].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine eindeutige Antwort auf diese Frage bis heute nicht gefunden wurde. So schlagen die Forscher vor, dass unmittelbar nach dem Urknall, könnten im Weltall einige Reaktionen verlaufen, an denen sich auch die Teilchen von dunkler Materie beteiligten, die die Bildung von Lithium dämpften. Das ist aber auch nur eine Vermutung, d.h., diese Frage bleibt bis heute offen. Nur weitere Experimente können die Frage klären.

QUELLENVERZEICHNIS

1. Wikipedia. Primordiale Nukleosynthese. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: [https://de.wikipedia.org/wiki/Primordiale\\_Nukleosynthese#cite\\_note-1](https://de.wikipedia.org/wiki/Primordiale_Nukleosynthese#cite_note-1).
- 2 Modern Cosmology. Pervichnyj berillij mozhet rasskazat' o Bol'shom vzryve. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <http://modcos.com/news.php?id=82>. <http://modcos.com/news.php?id=82>
3. Modern Cosmology. Kuda del'sja litij? [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <http://modcos.com/news.php?id=279>. <http://modcos.com/news.php?id=279>
4. Josef Pradler, Maxim Pospelov. Primordial beryllium as a big bang calorimeter. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <http://arxiv.org/pdf/1010.4079v2.pdf>. <http://arxiv.org/pdf/1010.4079v2.pdf>
5. Exoplaneten lösen Rätsel der Sonnenchemie. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <http://www.eso.org/public/germany/news/eso0942/?lang>.
6. «Nauchnaja rossija». Vzryv novoj raskryl tajnu raspredelenija litija v zvezdah. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <http://scientificrussia.ru/news/vzryv-novoj-raskryl-tajnu-raspredeleniya-litiya-v-zvezdah>.
7. Early optical spectra of nova V1369 cen show the presence of lithium. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/2041-8205/808/1/L14;jsessionid=E771711E82BB7C78C7412F437CF1AD01.c1.iopscience.cld.iop.org>.

**CYKLOIDENVERZÄHNUNG MIT DAZWISCHENLIEGENDEN ROLLKÖRPERN**

Schatalow E.W.

Wissenschaftlicher Betreuer: Schibinskij K.G.

Wissenschaftliche Sprachbetreuerin: Doktor Frau Prokhorets E.K.

Tomsker Polytechnische Universität

Russland, Tomsk, Lenin Str., 30, 634050

E-mail: [evs25@tpu.ru](mailto:evs25@tpu.ru)

**ЦИКЛОИДАЛЬНОЕ ЗАЦЕПЛЕНИЕ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ**

Шаталов Е.В.

Научный руководитель: Шибинский К.Г.

Научный руководитель: Прохорец Е.К., к.п.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, Томск, ул. Ленина., 30, 634050.

E-mail: [evs25@tpu.ru](mailto:evs25@tpu.ru)

*Jetzt diese Arbeit sehr aktuell in Maschinenbau. Forschungsgegenstand kann wie Wettbewerber traditionelle Evolventen-Verzahnung werden. In wissenschaftliche Literatur gibt es analoge Arbeit, aber sie sind in der Regel moralisch überholt. Arbeit hat Analyse Cycloide-Verzahnung mit dazwischenliegende Rollkörper auf zukünftige Benutzung in Maschinenantrieb des Raumfahrzeugs. Analyse läuft mit Anführung der Analogien zwischen Cycloide und Planetar-Verzahnungen. Diese Verzahnungen haben ähnliche Drehmomentübertragung. In Arbeit werden Unterschieden zwischen Cycloide und Evolvente-Verzahnung. Auch gibt es ausländische Patent als ähnliche Verzahnung. Auf Grund dieser Arbeit kann Überleitung in verschiedene Branche der Maschinenbau erforschen.*

*На сегодняшний день представленная работа актуальна в сфере машиностроения. Предмет работы может стать конкурентом традиционному эвольвентному зацеплению. В научной литературе имеются исследования данного типа привода, но они как правило являются морально устаревшими. В данной работе представлен анализ циклоидального редуктора с использованием промежуточных тел качения на предмет его дальнейшего использования в механизированных приводах космических аппаратов различного направления. Анализ проходит с приведением аналогий между циклоидальным и волновой передачами, так как они схожи по методу передачи крутящего момента. В работе рассмотрены основные отличительные признаки циклоидальной передачи от эвольвентной. Так же представлен зарубежный*

патент в качестве подобного привода. На базе данной работы возможно дальнейшее изучение нового привода и его внедрение в различные отрасли машиностроения.

Erforschung von Cyclogetriebe hat große Bedeutung für zukünftige Maschinenbau. Traditionelle Evolventen-Verzahnung hat verschiedene Defekte, die in Cyclogetrieben fehlen. Im Verhältnis zu Evolventen-Verzahnung, Cyclogetriebe kann man primitiv reparieren, auch Cyclogetriebebenutz Abwälzen-Gesetz. Dazwischenliegenden Rollkörpern umwälzen Cykloidenbahn des Zahnkranzes. Dabei entsteht wälzende Reibung. Diese Reibung ist Mitursache der dauerbare Haltbarkeit der Cykloidenverzahnung. Cyclogetriebe sind Derivierte von Planetengetriebe. Infolgedessen sollen Planetengetriebe für die Auffassung des Arbeitsprinzips analysiert werden. Bausch beschrieb Umlaufgetriebe in seine Arbeit Zahnradfertigung. Die Entstehung eines Umlaufträder- oder Planetengetriebes lässt sich aus einem koaxialen Standgetriebe ableiten, dessen Gehäuse drehbar gelagert wird, so dass eine dritte Anschlusswelle  $s$  entsteht (Abb. 1).

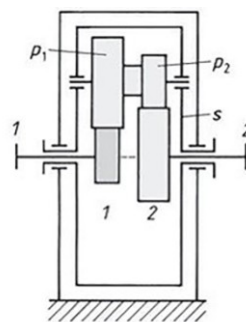


Abb. 1. Umlaufgetriebe (Plusgetriebe): 1, 2 Zentralwellen bzw. Zentral- oder Sonnenrader  $p_1, p_2$  Planetenrader,  $s$  Steg [1]

Die An- und Abtriebswellen 1 und 2 werden zu Zentralwellen, um die sich die Planetenräder unter gleichzeitiger Eigenrotation drehen. Das ursprüngliche Gehäuse schrumpft konstruktiv auf einen drehbaren Planetenträger oder Steg  $s$  zusammen. Das Drehmoment dieser dritten Welle  $s$  stimmt mit dem Reaktionsmoment überein, mit dem sich das Standgetriebe (Steg  $s$  feststehend) auf seinem Fundament abstützt.

Bei der cycloiden Verzahnung setzt sich die Eingriffslinie aus Kreisbogenstücken zusammen. Die Kopf flanken (oberhalb vom Wälzpunkt  $C$ ) besteht aus einer Epicycloide, die Fuß flanken (unterhalb von  $C$ ) aus einer Hypocykloide. Bausch beschrieb Entstehung von Cycloide in seine Arbeit Zahnradfertigung.

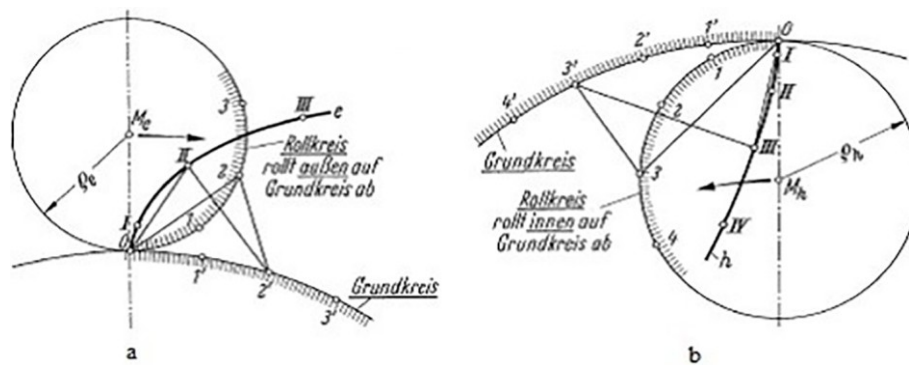


Abb. 2. Entstehung von Cycloide a) Epicycloide  $e$ , b) Hypocykloide  $h$  [1]

Nach Abb. 2 entsteht eine Epizykloide  $e$ , wenn ein „Rollkreis“ außen auf einem Grundkreis abrollt, eine Hypocykloide  $h$ , wenn ein Rollkreis innen auf einem Grundkreis abrollt. Gibt es Gesamt-Gesetz des Ansatzes der Zykloide. Gibt es ein Punkt, der auf festgelegten Kreis fixiert ist. Kreis umwältz anderer Kreis (auf Nebenkreis oder auf Primärkreis). Und Böge, das mit Hilfe des Punktes wird beschrieben, heißt Zykloide.

Für die Rollkreise wurde  $q_1 \approx r_1/3$  und  $q_2 \approx r_2/3$  gewählt. Die Größe der Rollkreise beeinflusst die Flankenform, die Gleitverhältnisse, Größe und Richtung der Zahnkräfte und den Überdeckungsgrad. Im Allgemeinen sind größere Rollkreise günstiger als kleine. Als Richtwert gilt  $\frac{q}{r} \approx \frac{1}{3} \dots \frac{3}{8}$  (bei  $\frac{q}{r} = \frac{1}{2}$  ergeben sich geradlinige, radiale Fußflanken). Durch Abrollen des Rollkreises 1 auf dem Wälzkreis 1 entsteht die Fußflanke  $h_1$  als Hypocykloide, durch Abrollen des Rollkreises 1 auf dem Wälzkreis 2 die Kopfflanke  $e_1$  als Epicykloide. Ebenso entstehen mit Hilfe des Rollkreises 2 die Fußflanke  $h_2$  und die Kopfflanke  $e_2$ . Die Kopfflanken werden durch die Kopfkreise ( $r_{a1} = r_1 + m$  und  $r_{a2} = r_2 + m$ ) mit den Kopfeckpunkten  $E_2$  und  $A_2$  begrenzt. Durch die Kopfkreise werden ferner die Punkte A und E auf den Rollkreisen und damit die Eingriffsstrecke A–C–E, also die ausgenutzten Rollkreisstücke, bestimmt. Dem Punkt  $A_2$  des Rades 2 entspricht am Ritzel der Punkt  $A_1$ , dem Punkt  $E_1$  des Ritzels 1 entspricht am Rad 2 der Punkt  $E_2$ . Unterhalb von  $A_1$  und  $E_2$  findet keine Zahnberührung mehr statt. Die Zahnwurzel kann daher hier gut ausgerundet werden, es muss nur jeweils auf die relative Kopfeckbahn des Gegenrades (gestrichelt eingezeichnet) Rücksicht genommen werden. Prototyp der Planetengetriebe mit Innenverzahnung wird weiter dargestellt. (Abb. 2.).

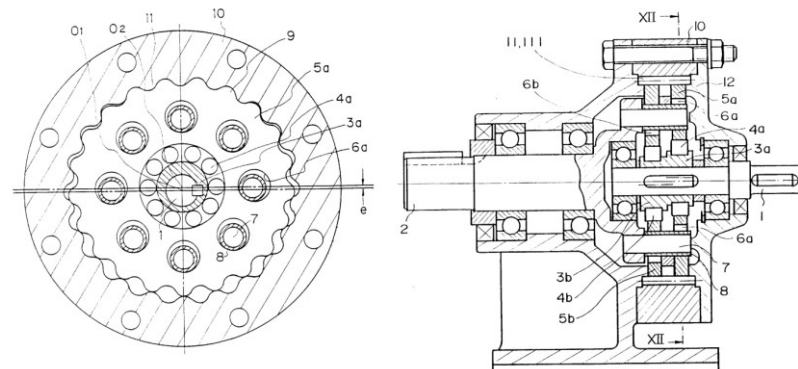


Abb. 2. Planetengetriebe mit Innenverzahnung[3]

Ferner erläutern wir die auf der Abbildung 2 dargestellte Planetengetriebe mit Innenverzahnung:

- Antriebswelle (1);
- einer Vielzahl von Zahnrad (5a, 5b), das Separator mit Dazwischenliegenden Rollkörpern imitiert;
- Zahnkranz (10), der mit den Zahnrad (5a, 5b) kämmt;
- Abtriebswelle (2), die mit den Zahnrad (5a, 5b) durch eine Rollkörpern (7) verbunden ist, die Drehmomentübertragung machen;
- wobei der Unterschied der Zähnezahzahl zwischen jedem der Zahnräder mit Außenverzahnung (5a, 5b) und dem Zahnkranz(10)  $N$  beträgt, wobei  $N$  eine ganzzahlige Zahl größer oder gleich zwei ist;
- das Zahnprofil der Zahnrad (5a, 5b) auf der Grundlage einer Hüllkurve konstruiert ist, die am nächsten dem Zentrum des Zahnrades (5a, 5b) liegt, und die durch die Überlagerung von  $N$ -Parallelen epitrochoiden Kurven, die zueinander phasenverschoben sind, gebildet ist; und

- das Zahnprofil des Zahnkranz (10) auf der Grundlage einer Hüllkurve konstruiert ist, die am nächsten dem Zentrum des Zahnkranz(10) liegt, und die übereinander gelegt gegeneinander um dieselbe Phase verschoben sind, wie an den Zahnrad (5a, 5b).

Zum Schluss sei es betont, dass dieser Artikel nützlich für weitere Erforschung in diesem Wissenschaftsbereich sein kann. Es sind folgende Schlussfolgerungen zu ziehen: heutzutage empfindet heimatische Maschinenbaurecht hohe Anforderungen hinsichtlich der Konkurrenz der ausländischen Produktion. Neuentwicklung unserer Produktion- und Herstellungsprozesse in der Verbindung mit den produktiven, qualitativen ausländischen Technologien kann inwettbewerbsfähige Produkte umgewandelt werden. Anwendung der Cyclogetriebe in Konstruktion des Raumfahrzeugs kann das Problem schneller Reparatur und einer großen Menge der Details in mechanischen Übertragungseinrichtungen und Getrieben lösen.

#### LITERATURQUELLE

1. Bausch T.: Zahnradfertigung. Grafenau/Württemberg: Expert-Verlag 1986.
2. Peecken H., Troeder C.: Elastische Kupplungen. Berlin: Springer 1986.
3. Patent US 5145468 A US 07/637,784 P. Nagabhusan. Anmeldetag 07.01.1991; Bekanntmachungstag 08.09.1992.
4. Naunheimer H., Bertsche B., Lechner G.: Fahrzeuggetriebe, Berlin: Springer 2007.
5. Müller H. W.: Einheitliche Berechnung von Planetenradgetrieben. Antriebstechnik 15 (1976).

#### **SELTENE METALLE IN DER RAUMFAHRTTECHNIK**

Darya Warkentin

Wissenschaftliche Betreuerin: M.V. Plekhanova, Doktor der Pädagogik, Dozentin  
Universität Nationale Polytechnische Forschungsuniversität Tomsk  
Russische Föderation, Tomsk, Lenina Strasse, 30, 634050  
E-mail: dvv13@tpu.ru

#### **РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ**

Варкентин Дарья

Научный руководитель: М. В. Плеханова, доцент, к.п.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, Томск, проспект Ленина, 30, 634050  
E-mail: dvv13@tpu.ru

*Im vorliegenden Artikel wird die Verwendung von seltenen Metallen in der Raumfahrttechnik betrachtet. Der Artikel beschreibt auch die Klassifizierung von seltenen Metallen, die unikalene Eigenschaften jeder Gruppe und deren Funktion bei der Konstruktion von kosmischen Geräten.*

*В данной статье рассматривается применение редких металлов в космической технологии. Также в статье описана классификация редких металлов, уникальные свойства и место каждой группы элементов в конструировании космических аппаратов.*

Die Erschließung des Weltraums ist heute eine der globalen Aufgaben. Jedes Land zielt seine wissenschaftlichen Forschungen und Erfindungen auf das Gebiet der Weltraumtechnologie ab. Die letzten 50 Jahre führt man Forschungen von Beschaffenheiten von seltenen Metallen aktiv durch, weil es sehr schwierig ist, den Maschinenbau ohne Einsatz von diesen Elementen vorzustellen. Die Tabelle 1 stellt die allgemeine Klassifikation von seltenen Elementen dar.

Tabelle 1. Allgemeine Klassifikation der seltenen Elemente

№	Gruppe des Periodensystems	Element	Technologische Klassifizierung
1	I II	Li, Rb, Cs Be	Leichtmetalle
2	IV V IV	Ti, Zr, Hf V, Nb, Ta Mo, W	Refraktärmetalle
3	III	Sc, Y, La und Lanthaniden	Seltenerdelemente
4	I II III  VI VII	Fr Ra Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm u.a. (Aktinoiden) Po Tc	Radioaktive Metalle
5	III IV VI VII	Ga, In, Tl Ge, Hf Se, Te Re Tc	Spurenelemente
6	VIII	Ru, Os, Rh, Ir, Pd, Pt Edelgase	Edelementen

Lassen Sie uns jede Gruppe einzeln betrachten.

a) Zur ersten Gruppe gehören die *Leichtmetalle*. Hier sind zwei wichtige Elemente zu erwähnen: Lithium und Beryllium. Beispielsweise, Keramik auf der Grund von Lithium hat eine bessere Wärmestoßfestigkeit und Hitzebeständigkeit. Deswegen wird dieses Material für die Beschichtung von Verbrennungskammern und Raketenmotordüsen und gleichzeitig als metallischen Brennstoff auf Lithiumgrund eingesetzt. Bei der Verbrennung von Brennstoffen wird die Wärme mit der Zugabe von etwa 60 Prozent des Lithiums 4,5-mal mehr als bei der Kerosin-Verbrennung entwickelt. Die Al-Mg-Li-Legierung wird auch für die Herstellung von Flugzeugstrukturen eingesetzt [1].

Was Beryllium angeht, so wird es heute oft bei der Herstellung von Wärmeabschirmungen und Lenksystemen der Raumfahrzeuge verwendet. Baumaterialien auf Beryllium basis verfügen über folgende Eigenschaften: Leichtigkeit, Festigkeit, Beständigkeit gegen hohe Temperaturen. Berylliumlegierungen sind 1,5-mal leichter als Aluminiumlegierungen, aber viel stärker als Spezialstähle. Heute werden Beryllide als Strukturmaterialien für Motoren, Raketen- und Flugzeuggehäuse verwendet. Ein Berylliumhydrid kann als Treibmittel benutzt werden [2].

b) *Refraktärmetalle* fanden die breiteste Anwendung in der Raumfahrttechnik. Im Allgemeinen werden sie als Dotierungsmittel für Stähle verwendet. Dies erhöht und verbessert solche Eigenschaften wie Wärmebeständigkeit, Dichte, Korrosionsbeständigkeit, Festigkeit, Abriebfestigkeit und andere.

Titanlegierungen ist ein wichtiges Strukturmaterial in der Rakete. Titanaluminid ist sehr oxidations- und hitzebeständig. Dies bestimmt seine Verwendung als Baumaterial in Flugzeugen. Hafniumcarbid ist eine der feuerfesten Verbindungen (t. Pl. 3960 ° C), deshalb ist es für die Herstellung von Düsen von Weltraumraketen und einigen Strukturelementen von Gasphasen-Kernstrahltriebwerken eingesetzt. Die Zugabe von Hafnium zu Tantal erhöht in der Luft stark den Oxidationswiderstand aufgrund der Bildung einer dichten, hitzebeständigen Oxidschicht. Diese Eigenschaften ermöglichen sehr wichtige Legierungen für Raketentechnologie (Düsen,

Gasruder) zu schaffen. Eine der besten Hafnium- und Tantallegierungen für Raketendüsen enthält bis zu 20 % Hafnium.

Vom reinen Niob oder seinen Legierungen werden Flugzeugteile hergestellt.

Beryllid Tantal ist extrem standfest und in der Luft bis 1650 ° C zu Oxidation beständig. Dies erklärt seine Verwendung in der Luft- und Raumfahrtindustrie.

Eine Mischung von Wolfram und Tantal-Carbid - Tantalcarbid (Schmelzpunkt 3880° C) hat eine sehr hohe Härte und wird bei der Herstellung von Hartmetallen verwendet. Mit diesen Carbiden werden die Raketendüsen und die Brenndüsen bedeckt.

Molybdän wird in Stahllegierungen als Bestandteil von hitze- und korrosionsbeständigen Legierungen benutzt.

Die Wolframlegierungen verbessern Wärmebeständigkeit, Säurebeständigkeit, Härte. Davon sind die wichtigsten Motorteile von Weltraumraketen hergestellt [3].

c) Es wird weiter die dritte Gruppe *-seltene Elemente* - betrachtet. Die Scandiumlegierungen erhöhen die Zuverlässigkeit von Raketen. Das trägt dazu bei, dass die Kosten für ihre Produktion sinken. Zum Beispiel, hat Beryllid Scandium (1 Scandium-Atom und 13 Beryllium-Atome) höhere Dichte, Festigkeit und Schmelzpunkt. Es ist wahrscheinlich das beste Material für den Bau von Raumfahrttechnik. Die intermetallischen Verbindungen von Scandium und Rhenium besitzen einzigartige Wärmebeständigkeit, hohe Dichte.

Mischkristalle des Thoriumdioxides von Yttriumoxid (Yttralox) werden zur Herstellung von infraroten "Fenster" von Spezialgeräten und Raketen verwendet. Dieses Material hat hohe Transparenz für sichtbare und infrarote Strahlung. Yttrium und einige von seinen Legierungen reagieren mit geschmolzenen Uran und Thorium nicht. Dies ermöglicht seinen Einsatz in der Gasphase von Raketenkernantrieb. Beryllid Yttrium ist eines der besten Strukturmaterialien für die Raumfahrt wegen seiner hohen Schmelztemperatur.

Samarium-Kobalt-Magnete haben in der Luft- und Raumfahrt eine breite Anwendung gefunden. Die thermische Stabilität von Lanthanoiden bei 400-500° C wird zur Herstellung von keramischen Vielschichtkondensatoren verwendet, die in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden.

d) Zu der vierten Gruppe gehören *die radioaktiven Elemente*. Sie werden als Radioisotopenenergieträger, als Treibstoff für Raketenmotoren verwendet. Im Prozess vom natürlichen Zerfall der radioaktiven Isotope wird eine riesige Energiemenge freigesetzt, die bei der Erwärmung von Antriebsmitteln (Wasserstoff, Helium) in Reaktivmotoren benutzt wird. Hier unterscheidet man folgende Isotope: U-232, Isotope von schweren Transuranen, Pu-238, Cm-242, Cm-244, Cm-245, Cf-248, Cf-249, Cf-250, Es-254, Fm-257 und eine Reihe von leichteren Isotopen wie Po-208, Po-209, Ac-227. Wegen der Möglichkeit vom Dauereinsatz solcher Motoren sind sie in Satelliten, interplanetaren Stationen und anderen leichten Flugapparaten eingesetzt [4].

e) Eine weitere Gruppe bilden *Spurenelemente*. Sie kommen in der Raumfahrttechnik wegen seines geringen Gehalts in der Natur selten vor. Im Allgemeinen werden sie als Dotierungsmittel in den Legierungen verwendet.

Rhenium wird meist nicht elementar, sondern als Beimischung in einer Vielzahl von Legierungen, verwendet. Etwa 70 % Rhenium werden als Zusatz in Nickel-Superlegierungen genutzt. Ein Zusatz von 4 bis 6 % Rhenium bewirkt eine Verbesserung des Kriech- und Ermüdungsverhaltens bei hohen Temperaturen. Diese Legierungen werden als Turbinenschaufeln für Flugzeugtriebwerke eingesetzt [5].

Indium wird als ein Dichtmittel in abdichtenden Raumfahrzeugen verwendet. Pertechnetate besitzen Korrosionsbeständigkeit, so sind als Korrosionsinhibitoren von Stahl und Eisen verwendet.

f) Auch *Edelmetalle* und Gase wurden in der Raumfahrttechnik eingesetzt. Zum Beispiel, Ruthenium und seine Legierungen werden als wärmebeständige Strukturmaterialien für Luft- und Raumfahrttechnik eingesetzt. Diese Legierungen besitzen eine bessere Festigkeit als Molybdän und Wolfram bis 1500° C.

Osmium ist in elektronischen Raumfahrzeuggeräten verwendet. Und seine Legierungen besitzen eine hohe Festigkeit und Hitzebeständigkeit. Diese Eigenschaften machen sie für Reibungseinheiten geeignet.

Iridium-Legierung aus Hafnium - ein Material für Kraftstofftanks in Raumfahrzeugen. Platin-Iridium-Legierung hat eine hohe mechanische Festigkeit [6].

Edelgase wurden in Ionenmotoren eingesetzt. Ionenantrieb- die erste Art vom Low-Power-Elektromotor. Solche Vorrichtungen werden verwendet, um die Position und die Orientierung bei der Satellitensteuerung zu ändern [7].

Die Liste kann ergänzt werden. Und zusammenfassend bedeutet das, dass die Weltraumforschung ohne seltene Metalle unmöglich wäre. Sie werden immer in allen Teilen von Raumfahrzeugen vorhanden sein, bereits in geringen Mengen.

#### QUELLENVERZEICHNIS

1. Natural'nye ictotschniki jenergii. Litij.[Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <http://www.oilngases.ru/redkie-metalli/litiie.html>.
2. Elektrovek Steel. Berillium. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <http://www.evek.de/berillij.html>.
3. Wikipedia. Refraktärmetalle. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <https://de.wikipedia.org/wiki/Refraktärmetalle>.
4. Wikipedija. Radioisotopnye ictotschniki jenergii. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Радиоизотопные\\_источники\\_энергии](https://ru.wikipedia.org/wiki/Радиоизотопные_источники_энергии).
5. Wikipedia. Rhenium. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: <https://de.wikipedia.org/wiki/Rhenium>
6. Chimija. Blagorodnye metally.[Elektronisches Ressource]. – Zugriff: [http://4108.ru/u/blagorodnyie\\_metallyi\\_-\\_primenenie](http://4108.ru/u/blagorodnyie_metallyi_-_primenenie).
7. Trans-inert-gaz.ATLAS. [Elektronisches Ressource]. – Zugriff: [http://www.trans-inert-gaz.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=66&Itemid=82&lang=ru](http://www.trans-inert-gaz.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=66&Itemid=82&lang=ru).



**SPACE RADIATION'S IMPACT ON THE HEALTH OF ASTRONAUT AND METHODS OF PROTECTION FROM IT**

Zatonov I.A.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Ivanova V.S.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: ivan.zatonov@yandex.ru

**ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ НА ЗДОРОВЬЕ КОСМОНАВТОВ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЕ**

Заонов И.А.

Научный руководитель: Иванова В.С., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ivan.zatonov@yandex.ru

*In this article, space radiation's impact on the health of astronauts was considered. The materials of study were Russian and foreign works about measuring methods of space radiation on International Space Station (ISS). The available way of ISS's space radiation protection.*

*В данной статье рассмотрено влияние космической погоды на здоровье астронавтов. Проведен анализ зарубежной и отечественно литературы об имеющихся данных о способах мониторинга дозы космической радиации на Международной космической станции(МКС). Изучены имеющиеся способы защиты космических станций от радиации.*

The presence of radiation in space creates a lot of problems, such as issue for designers of spacecraft and also astronauts, which flying on the space stations and spaceships. Before the first human's space flight, radiation safety issues were carefully studied. According to the source [1], determination of the space radiation dose experiments were explored. As it turned out, that orbits with altitude of 300-400 km radiation dose is relatively small( it was on such orbits manned spacecraft is flying). According to devices installed inside the space station "Mir", the space radiation doses are varied within wide limits: from 100 to 800  $\mu\text{Gy}$  per day. That is permissible value for the human, but it is more than it receives the staff of nuclear power plants under normal conditions. [1]

These factors of space weather can be described as "arresting" because of that have a direct negative impact on human health and equipment operability in the space. Higher doses of corpuscular radiation created:

- Radiation danger for astronauts;
- Problems of spacecraft working and radio communication, associated with their surface and volume electrification and also destruction of important electronic components;
- degradation of solar cells and structures of satellites;
- Problems with optical satellite system, and as a result- disruption and disorientation. [2]

Extra danger for spacecraft and astronauts in near-Earth orbits is corpuscular radiation, and the sources of that are:

- Galactic space rays;
- Solar space rays from the active phenomena on the Sun;
- The interior and external radiation zone of Earth;
- Ionizing electromagnetic radiation.

Nowadays question about astronauts' protection from Space weather is international problem. That is why, at the present time, goals of 47 ISS's crew are the researching of the effect of space on human health. One of the goals is to determine the exposure dose inside ISS with using various devices. Researches focus on identify the negative impact of long-term missions on the crew's health, that is extremely important for the preparation of travel to Mars. For astronauts it means the process of survival in potentially hazardous space conditions.

For determining of radiation impact new scientific installation DOSIS-3D (Figure 1) is used, that combines various radiation detection devices. The device gives opportunity to obtain data about irradiation in real time.

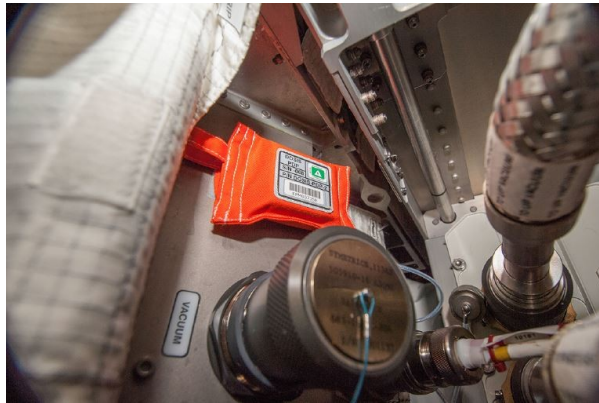


Fig. 1. Scientific installation for radiation control DOSIS-3D

DOSIS-3D uses multiple active and passive detectors to determine the dose of radiation inside the station. Purpose of that device is to create a three-dimensional map of radiation, covering all sections of the ISS, and to determine the distribution of radiation levels on board. Except for DOSIS-3D for radiation detection on ISS also the Tissue Equivalent Proportional Counter (TEPC), the Charged Particle Directional Spectrometer (CPDS), the Radiation Area Monitor (RAM), and the Crew Passive Dosimeter (CPD) are used. [3].

Using the device for radiation control gives possibility to determine dependence of radiation dose from the ISS location. In this way, Polar Regions with open magnetic field lines, anomalies of the geomagnetic field in the form of the Brazilian magnetic anomaly were determined (Figure 2). [4] In this area, the internal radiation belt is the most closely approaches to Earth's surface. Satellites are affected from the spurs of radiation belt by Brazilian magnetic anomaly just in air area of that anomaly.

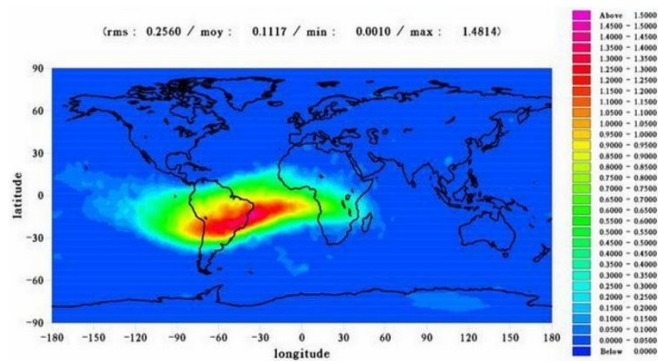


Fig. 2. Brazilian magnetic anomaly

Earth has own magnetic field, and because of that, Earth is provided from the outer space radiation protection. Life on the Earth without a protective magnetic field is not possible. The spacecraft with astronauts on board will be forced to leave the area of the magnetic protection of our planet by doing of interplanetary travel. As shown by recent research, in the process of the flight to Mars, astronauts can receive a dose of radiation from the action of space radiation in excess of 3-4 times limiting of the human exposure extent. [5]

One of the ways to protect astronauts from radiation is to create own electrostatic field by spacecraft. Inhabited compartment, that is house for astronauts, has a spherical shape. That surface has negative electric charge. As it is known, the electric field is absent inside the charged surface. It means that the charged inside inhabited compartment is also absent. At a certain distance from the charge surface of the inhabited compartment has another spherical surface, and the charge is positive. To reduce in 4 times the level of radiation exposure to astronauts, it's necessary to ensure the protection of the inhabited compartment from the charged particles with a maximum energy. And the energy should be just about 10 GeV. Electrostatic protection is the process of braking and reflection of charged by the surface (Figure 3). [6]

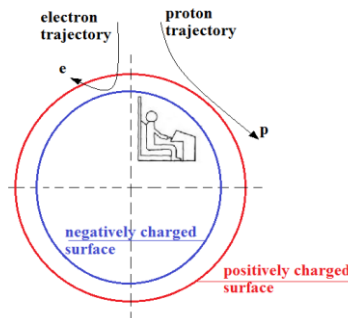


Fig. 3. Model of spacecraft electrostatic protection from radiation

**Conclusion.** Currently, research about monitoring of radiation inside the International Space Station is leaded. Meanwhile, the technologies that give opportunity to increase the radiation resistance of spacecraft is extremely little. To implement a long-term mission on the space orbit, we need to develop a program of activities that allow to solve this problem. Subsequently, it is necessary to get an analysis of domestic and foreign literature by the topic of interest, for the purpose of systematization and publication of radiation protection unified system for the spacecraft.

#### REFERENCES

1. Radiacionnye buri v kosmose [Jelektronnyj resurs]/ Stranniki vselennoj ili jeha bol'shogo vzryva. - jelektronnyj zhurnal. – rezhim dostupa: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/pilgrims/cr16.htm>, svobodnyj.
2. Kuznecov V.D. Kosmicheskaja pogoda i riski kosmicheskoy dejatel'nosti// Kosmicheskaja tehnika i tehnologii. - 2014. – T. 6. -№3. – C 3-13.
3. How do we protect the astronauts from space radiation? [Electronic resource]/ Space Radiation Analysis Group.- access mode: <http://srag.jsc.nasa.gov/spaceradiation/how/how.cfm>, free.
4. Solov'ev A.A., Hohlov A.V., Zhalkovskij E.A., Berezko A.E., Lebedev A.Ju., Harin E.P., Shestopalov I.P., Manda M., Kuznecov V.D., Bondar' T.N., Nechitajlenko V.A., Rybkina A.I., Pjatygina O.O., Shibaeva A.A. Atlas magnitnogo polja Zemli / Pod red. Gvishiani A.D., Frolova A.V., Lapshina V.B. // Moskva. GC RAN. 2012. 364 s., doi:10.2205/2012Atlas\_MPZ.
5. Garafutdinov A.A. Jelektrostaticheskaja zashhita kosmicheskikh korablej, planet, sputnikov planet i drugih kosmicheskikh ob'ektov ot radiacionnogo kosmicheskogo izlucheniya// Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal.- 2015. – Tom 3.- №1.- S. 11-13.
6. Ilya G. Usoskin, A History of Solar Activity over Millenn// Living Rev. Solar Phys.- 2013.-Vol. 1.- №10. – P. 1.

**CONTROL DEVICE OF HUMAN BEING SPATIAL POSITION  
BASED ON MICROMECHANICAL INERTIAL MODULE**

Zorina E.V.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Nesterenco T.G.,

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: Lenchka0892@gmail.com

**ПРИБОР КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА  
НА БАЗЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИНЕРЦИАЛЬНОГО МОДУЛЯ**

Зорина Е.В.

Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: Lenchka0892@gmail.com

*The article discusses the control device of spatial position the human based on MEMS sensors, it is a kind of miniature navigation system. The device contain several micromechanical inertial modules, calculation unit, radio channel for receiving and transmitting data, and software for displaying and visualizing human motion. Micromechanical inertial module includes a three-component, gyroscope, accelerometer and magnetometer. The purpose of the work is developing a device that allows patients to improve the general physical condition and the ability of independent movement.*

*В статье рассматривается прибор контроля пространственного положения человека на базе МЭМС датчиков, своего рода миниатюрная навигационная система. Прибор содержит микромеханические инерциальные модули, вычислительный блок, радиоканал приема и передачи данных, а также программное обеспечение отображения и визуализации движений человека. Микромеханический инерциальный модуль включает в себя 3-х компонентный гироскоп, акселерометр и магнитометр. Цель работы разработать прибор, который позволит пациентам улучшить общее физическое состояние и способность к самостоятельному передвижению.*

The task of preserving balance, movement's orientation or coordination in vertical rack, walking and other actions take a significant place in today's world of technological progress. Driving vehicles, works with different mechanisms, production management of processes impose strict requirements for motor coordination reactions. On the one hand, various pathology types of subclinical level or no diagnosable pathology can manifest themselves in the most tragic way. On the other hand, many diseases of the musculoskeletal system have their own symptoms, which are expressed in a change of balancing the patient's body reaction in the basic stand, sitting or walking. However, clinically the presence of certain symptoms becomes the obvious only when the full pathology was detected. There are special methods that allow detecting changes in health much earlier, and it becomes possible to diagnose at a stage of disease or its consequences, even when the patient has not any complaints.

Nowadays a new medical specialty - posturology has been developed in some countries. As a science, posturology studies the processes of conservation, management and regulation of body balance with different body positions.

The terms stabilometry and posturography are often used as synonyms in Russia. They mean the analysis of changes human posture only on a certain type of equipment - stabilometric platform. Nevertheless, Posturography includes stabilometry only as one of the techniques.

The techniques are different by the type of using equipment. The equipment measure various physical parameters associated with the movement of the center of pressure, the movements of the limbs and body segments, force push (jump) and others.

Stabilometry is used in medicine [3], sport [4], psychology [5] and other areas for quantifying motor coordination capabilities. The method is included in the Russian standards of health care as one of the methods of

diagnosis in some diseases: congenital malformations of the nervous system, trauma of a backbone and spinal cord injury, Parkinson's disease, polyneuropathy [6] and others.

The posture analysis method is based on processing signals from the accelerometer. This method has the name "accelerometer", "spatial stabilometry", "3D-stabilometry" and others.

Accelerometer method is more sensitive for different vibrations registration than the stabilometric or pododinamometric platforms use. It allows to obtain more information and to investigate a wide range of oscillation frequencies. Accelerometer method has some limitations. It, unlike the devices pododinamometric, does not allow receiving the position coordinates of the center of gravity or its projection on the bearing area. But it has another physical essence. For the clinician it is important that the stability of the human body balance in any of its positions is now possible explore a technically simple method. This is important not only in the clinical setting but also in the household conditions. It is now possible to measure the amount of movement that performs the one or another person during the day or more. Here there is also direct access to the clinical problem - it is an objective assessment of the number of physical activity for the patient during physical therapy sessions, household activities, etc.

The other side of such technology is the possibility of objective registration of tremor of any body segment in the entire frequency range. Such studies have become available relatively recently, for example, the registration of limb function after suffering a cerebral stroke. This technology allows fast and inexpensive evaluating of the movement disorders in the treatment process or action drug therapy [8].

The control devices of spatial position based on the foregoing of human based on MEMS sensors consist of the blocks (Figure 1). The figure below shows the block of the micromechanical inertial modules, enshrined on a human, a calculation unit (system of collecting and processing data received from the IM), radio channel to receiving and transmitting data, and software to display and visualize human motion.

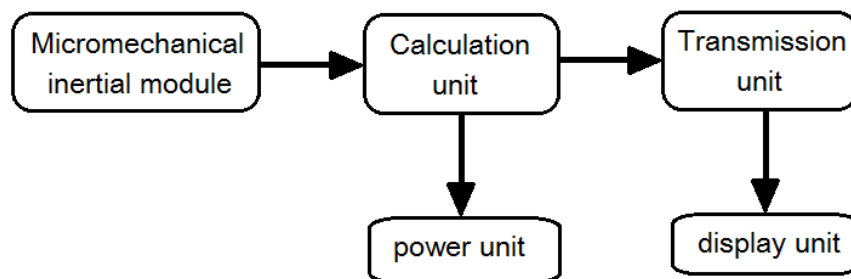


Fig. 1. Block diagram of the device human spatial position

The control devices of spatial position of human based on MEMS sensors can become a good alternative to traditional stabilometry.

Micromechanical inertial module (MIM) is a digital measuring device, built on the basis of micromechanical inertial sensors that measure linear acceleration, the parameters of the magnetic field and the rotation angles (see Figure 2).

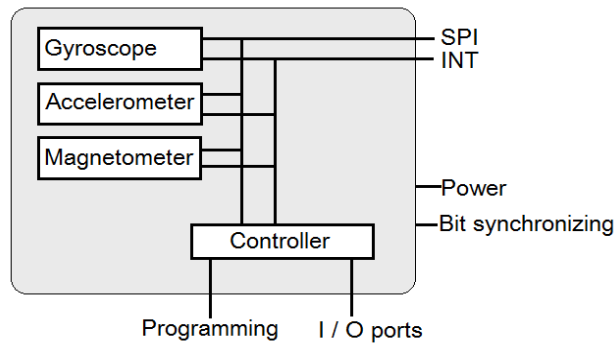


Fig. 2. Architecture MIM

The aim is to construct a miniature navigation system for determining the spatial position a person using micromechanical systems, as well as for rehabilitation, functional diagnostics posture stability.

To perform calculation and visualization it is needed to construct a mathematical model of the human body. This model must take into account the different characteristics of the human body structure, but then there are some difficulties with the manufacturing. It is advisable that the model includes only elements which will be attaching by sensing elements.

The taken human body model is shown in Figure 3. It consists of 13 components.

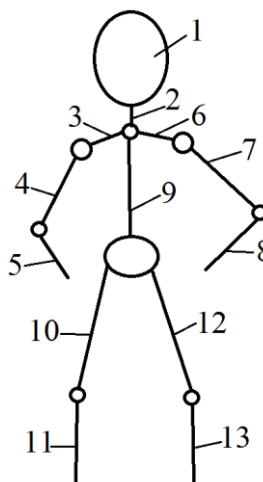


Fig. 3. Human body model

Users of the system must be kept informed about the movements in a convenient way that includes visibility of the output information, the ability to visually assess the specific measurement. Thus, the calculating unit performs the following tasks:

1. Obtaining orientation angles at the output parts of the body:
  - relative to the reference coordinate system;
  - relative connected systems of coordinates of adjacent segments;
2. Visualization of human movements in three-dimensional space.

The input data is a set of quaternions, the appropriate number of body segments. They contain information about the orientation of the body parts in a given time, as well as the length  $L$  of movable parts of the human body.

Block diagram of the developed algorithm is shown in Figure 4.

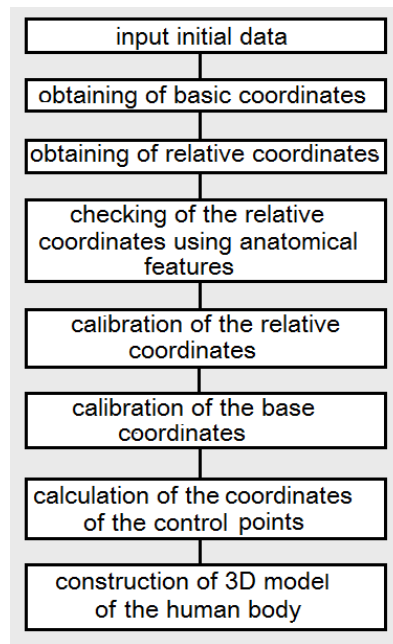


Fig. 4. The algorithm of information processing

Checking the operation of the entire algorithm will be carried out by computer simulation in software product in MATLAB / Simulink.

#### REFERENCES

1. Skvorcov D.V. Posturology - 30 years already exists in the world. In Russia - only stabilometry // Conference "BIOMEDPRIBOR 2000" - [Electronic resource] - [http://www.mks.ru/library/conf/biomedpribor/2000/sec01\\_03.html](http://www.mks.ru/library/conf/biomedpribor/2000/sec01_03.html)
2. Skvorcov D.V. Stabilometric study (quick guide). - M.: Mera-TSP, 2010. - 171 p.
3. Kubrjak O.V., Isakova E.V., Kotov S.V., Romanova M.V., Grohovskij S.S. Increasing the vertical stability of patients with acute ischemic stroke // Journal of Neurology and Psychiatry. C.C. Korsakov. - 2014. - № 12-2 T.114. - S. 61-65.
4. Prijmakov A.A., Jejder E., Omel'chuk E.V. Stability of equilibrium in a vertical rack and control of voluntary movements in athletes-shooters during the ready and shoot at the target // Physical education students. - 2015. - № 1. - S. 36-42.
5. Maslennikova E.I. An innovative method of estimating the formation and manifestations of mental images in the process of educational and professional activities // Innovations in Education. - 2012. - № 4. - S. 79-86.
6. Health Ministry. Standards for specialized medical care. Retrieved March 26, 2015.
7. What kind of professionals needed stabilometric system where stabilometry applied? - [Electronic resource] - <http://www.biomera.ru/education/faq/>
8. Zagorodnij N.V., Poljaev B.A., Skvorcov D.V., Karpovich N.I., Damazh A.V. Spatial stabilometry by three-telemetry accelerometers (a pilot study) // physiotherapy and sports medicine. - 2013. - № 3 (111). - S. 4-10.

Научное издание

## **ИНЖЕНЕРИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА**

Сборник научных трудов  
IV Всероссийского молодежного Форума  
с международным участием

**Издано в авторской редакции**

Компьютерная верстка *А.Г. Долгих, В.С. Иванова*  
Дизайн обложки *И.Н. Самодуров*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 27.04.2016. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 38,03. Уч.-изд. л. 34,42.  
Заказ 96-16. Тираж 100 экз.


---



**Издательство**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ





**IV Всероссийский молодежный Форум  
с международным участием  
«ИНЖЕНЕРИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА»**

**ТОМСК - 2016**