

V Международный молодежный Форум

# ИНЖЕНЕРИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА

сборник научных трудов

ТОМСК - 2017



## **ИНЖЕНЕРИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА**

Сборник научных трудов  
V Международного молодежного форума

**18–20 апреля 2017 г.**

Томск 2017

УДК 629.78.002.5  
ББК 39.66  
К71

**Инженерия для освоения космоса** : сборник научных трудов V Международного молодежного форума / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 155 с.

ISBN 978-5-4387-0765-3

Сборник посвящен теоретическим и практическим аспектам инженерии для освоения космоса. Представлен широкий круг исследований молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников по следующим темам: приборы и аппараты космического назначения; CAD, CAE, CAM и PLM системы для разработки космической техники; испытания космических аппаратов и материалы для работы в экстремальных условиях; электроника, микроэлектроника, телекоммуникации и космическая связь; образовательные тренды подготовки специалистов космической отрасли.

**УДК 629.78.002.5**  
**ББК 39.66**

*Редакционная коллегия*

В.Н. Бориков, д.т.н., директор ИНК ТПУ  
S.V. Uchaikin, Senior Researcher, D-Wave Systems Inc., Burnaby, Canada  
П.Ф. Баранов, к.т.н., доцент кафедры ТПС ИНК ТПУ,  
В.С. Дмитриев, д.т.н., профессор кафедры ТПС ИНК ТПУ  
А.Г. Долгих, ассистент кафедры ТПС ИНК ТПУ  
В.С. Иванова, к.т.н., доцент кафедры ТПС ИНК ТПУ  
Е.А. Иванова, инженер кафедры ТПС ИНК ТПУ  
А.А. Игнатовская, аспирант кафедры ТПС ИНК ТПУ  
В.М. Мартемьянов, к.т.н., доцент кафедры ТПС ИНК ТПУ

*Сборник издан при финансовой поддержке РФФИ  
Грант 17-38-10047 мол\_г*

ISBN 978-5-4387-0765-3

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### СЕКЦИЯ № 1

#### ПРИБОРЫ И АППАРАТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

---

*Козлов А.С., Шилов А.М., Прокотьев Ю.М.*

Датчик электрического поля для контроля электризации поверхности космических аппаратов 7

*Крылатов А.Ю., Хрущ Е.И.*

Маломоментная опора для подвеса платформы стенда 11

*Кузнецов П.А., Лисицин А.Н.*

Модернизация существующих наземных и авиационных ГТД с помощью высокочастотного электропривода 14

*Полюшко Д.А.*

Разработка конструкции микродвигателя-маховика малого КЛА 18

*Поляков М.В.*

Исследование влияния коэффициента жесткости осевого электромагнитного подшипника на собственные частоты ротора электродвигателя-маховика 21

*Татарников Е.В.*

Проблемы и перспективы применения волоконно-оптических гироскопов в космической технике 24

*Хайдукова В.М., Бритова Ю.А.*

Определение возмущающих моментов исполнительных органов малых космических аппаратов 28

*Щербаков Е.С., Киселева Е.И., Лейман В.В.*

Развитие силовых преобразовательных устройств для комплексов автоматики и стабилизации систем электропитания космических аппаратов 33

### СЕКЦИЯ № 2

#### CAD, CAE, CAM И PLM СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

---

*Ахунова Е.В., Коблов Н.Н.*

Долгосрочное планирование производства приборостроительного предприятия 37

*Баглаева Е.А., Цапко С.Г.*

Система автоматизированного проектирования бортового программного обеспечения космического аппарата 40

*Дамдинов Б.О.*

Конструкция и принцип работы пассивной гравитационной системы ориентации для малого космического аппарата 43

<i>Доржиева С.Б., Кухарев А.С.</i> Расчет жесткости конструкции амортизатора для вентиляторов специального назначения	46
<i>Дубровский Е.Ю., Бутин А.М., Добышев Е.В.</i> Проектирование кабельной сети космического аппарата с учетом требований на функциональном, логическом и физическом уровнях	49
<i>Индыгашева Н.С.</i> Расчет основных характеристик маховика параметрическими средствами T-FLEX	52
<i>Козлов А.А., Коблов Н.Н.</i> Методика наполнения баз данных электрорадиоизделий на основе объединения таблиц параметров нормативного документа	55
<i>Стасевский В.И.</i> Проектирование поворотного стола специализированного томографа в T-FLEX CAD	59
<i>Черватюк В.Д., Коблов Н.Н.</i> Выбор технологической платформы для разработки сложных информационных систем	62

**СЕКЦИЯ № 3**  
**ИСПЫТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**  
**И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

---

<i>Ананьева Е.С.</i> Приспособления для вибрационных испытаний изделий на воздействие механических факторов	66
<i>Григорьев А.С.</i> Вибрация конструкции электровентилятора общего назначения	69
<i>Досеке У.А., Петюкевич М.С., Двилис Э.С.</i> Исследование влияния УЗ-компактирования на формирование структуры и плотности высоконаполненных алюмоматричных композитных материалов для радиационной защиты бортовой электроники КЛА	72
<i>Затонов И.А.</i> Исследование тепловой картины поля бетатрона	75
<i>Зубенко А.А.</i> Имитатор геомагнитного поля для наземных испытаний систем ориентации наноспутников	81
<i>Королюк Е.С., Ханахмедова Г.Б.</i> Повышение эффективности определения степени криовоздействия с помощью импедансной томографии	84

<i>Маликов Р.А., Чулков А.О.</i> Ультразвуковой термографический контроль композитов	87
<i>Назаренко С.Ю.</i> Применение теории распознавания образов при неразрушающем радиационном контроле качества материалов, предназначенных для работы в экстремальных условиях	91
<i>Ногов Д.Н., Огнёва Е.В.</i> Контроль соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием, деталей и узлов космических аппаратов	94
<i>Огнёва Е.В., Ногов Д.Н.</i> Применение шерографии для контроля деталей и узлов космических аппаратов из композитных материалов	97
<i>Чан Цзянлэй</i> Ультразвуковой контроль композитных материалов	101

**СЕКЦИЯ № 4**  
**ЭЛЕКТРОНИКА, МИКРОЭЛЕКТРОНИКА, ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ**  
**И КОСМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ**

---

<i>Ардалин А.М.</i> Источник питания для заряда аккумуляторных батарей	105
<i>Бардамов А.В., Ивандаев С.Э.</i> Широкополосный усилитель для задач неразрушающего контроля	108
<i>Буй Дык Бьен</i> Синтез КИХ-фильтра методом частотной выборки	110
<i>Ивандаев С.Э., Бардамов А.В.</i> Моделирование высокочастотного инвертора напряжения на основе индуктивно-емкостного преобразователя для питания нелинейной нагрузки	114
<i>Чиёу Дык Куан</i> Исследование источника питания светодиодного светильника	117
<i>Нагуслаев Н.А.</i> Экспериментальное исследование таймеров, выполненных по биполярной и КМОП технологиям	121
<i>Рустембек у А.</i> Система сбора данных с акселерометра на основе NI MYRIO	124
<i>Лач С.Ю., Рысин А.В., Шевцов В.В.</i> Система управления электроэнергетическим комплексом	128
<i>Ханахмедова Г.Б., Чжен Н.В., Королюк Е.С.</i> Интеграция стабилонетрии с безмаркерным захватом движения	131

**СЕКЦИЯ № 5**  
**ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТРЕНДЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ**  
**КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

---

<i>Александрова А.А.</i> Практико-ориентированная подготовка специалистов для космической отрасли. Фонды оценочных средств	134
<i>Коломейцев А.А., Стасевский В.И., Смолянский В.А.</i> Виртуальное конструкторское бюро	138
<i>Мантыкова М.В.</i> Лабораторные работы как способ развития компетенций	145
<i>Федюк Р.С., Смоляков А.К., Тимохин Р.А., Евдокимова Ю.Г.</i> Формирование военно-прикладной компетентности у будущих офицеров военно-космических сил	149
<i>Шемякин А.Н.</i> Нужны ли универсальные компетенции в космосе	152

---

# СЕКЦИЯ № 1

## ПРИБОРЫ И АППАРАТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

---

### ДАТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Козлов А.С.<sup>1</sup>, Шилов А.М.<sup>1</sup>, Прокопьев Ю.М.<sup>1</sup>

Научные руководители: Шилов А.М.; Прокопьев Ю.М., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет

630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1

E-mail: alexey.koslov@yandex.ru

### ELECTRIC FIELD SENSOR TO CONTROL THE ELECTRIFICATION OF SPACECRAFT SURFACES

Kozlov A.S.<sup>1</sup>, Shilov A.M.<sup>1</sup>, Prokopiev Y.M.<sup>1</sup>

Scientific Supervisors: Shilov A.M.; Prokopiev Y.M.

<sup>1</sup>Novosibirsk State University

Russia, Novosibirsk, Pirogova str., 1, 630090

E-mail: alexey.koslov@yandex.ru

*В данной работе представлены результаты расчетов и оценок, необходимых для проведения испытаний с целью утверждения типа датчика электростатического поля, используемого в условиях открытого космоса. Разработан и изготовлен специальный калибратор КДЭП, позволяющий провести испытания ДЭП во всем диапазоне измерений (от  $\pm 0,1$  до  $\pm 200$  кВ/м) в условиях пониженных ( $-80$  °С) и повышенных ( $+72$  °С) температур и при пониженном давлении ( $1,3 \cdot 10^{-3}$  Па ( $10^{-5}$  мм рт. ст.)). Метрологические испытания партии ДЭП, откалиброванной с помощью КДЭП, выполненные на поверочной установке при нормальных условиях, показали, что максимальная погрешность ДЭП не превышает 15 % во всем диапазоне измерений, что позволит улучшить метрологические характеристики датчиков электростатического поля и увеличит точность определения параметров электризации поверхности КА и поможет при проектировании современных КА.*

*This paper presents calculation and test results carried out to certify EFS as an indicating measuring system. An additional calibration tool (C-EFS) was also certified to support this work. C-EFS generating electrostatic field from 0.1 to 200 kV/m and is capable of operation within a wide temperature range ( $-80$  to  $+72$  °C) and high vacuum (down to  $10^{-3}$  Torr). Certification procedure implies two stages: C-EFS certification and subsequent EFS certification. Measuring tests showed measurement error less than 15 % and a good correspondence to calculation model. This work was done to improve the reliability of EFS data during in-flight operation onboard satellites and to support further satellite system design.*

Текущее развитие космической техники отечественного производства ведется по линии создания целевых группировок космических аппаратов как то спутниковая связь, телевидение, системы глобального позиционирования, научно-исследовательские аппараты. При проектировании спутников отдельное внимание уделяется проблеме электризации поверхности космических аппаратов (КА). С начала 70-х годов [1] и по настоящее время [2, 3] в мире ведутся исследования по проблеме электризации КА, связанной с потоками низкоэнергетических частиц. Основными источниками частиц являются атмосферная плазма, потоки частиц от солнца, плазменные двигатели КА. Накопившийся заряд на диэлектрических поверхностях конструкции КА провоцирует поверхностные электростатические разряды, которые оказывают дестабилизирующее воздействие на целевую аппаратуру. Таким образом, задача контроля электризации поверхности КА является актуальной.

С целью исследования данного вопроса в Новосибирском государственном университете был разработан датчик электрического поля ДЭП [4], позволяющий отслеживать динамику напряженности электрического поля на КА. ДЭП обеспечивает измерение напряженности электрического поля в диапазоне от  $\pm 0,1$  до  $\pm 200$  кВ/м с временным разрешением от нескольких минут до 1 секунды. Производимые образцы



ДЭП прошли термовакуумные испытания в диапазоне температур от  $-80$  до  $+72$  °С при давлениях от атмосферного до  $10^{-8}$  мм рт. ст., а также летные испытания в составе КА «Горизонт», «Радуга», «Глонасс-М» и др. В настоящее время ДЭП поставляется в комплектах аппаратуры, предназначенной для контроля электризации на различных КА, в том числе и серийно выпускаемых («Глонасс-М», «Глонасс-К2», «Электро-Л», «Спектр-Р», «Спектр-РГ», «Спектр-УФ», «Арктика-М», «Луна-Глоб» и на некоторых малых КА). Внешний вид ДЭП, а также вариант исполнения аппаратуры контроля электризации из состава КА «Электро-Л» № 1, в которую входит 12 датчиков ДЭП, представлены на рис. 1.



*Рис. 1. Внешний вид датчика электрического поля ДЭП (слева) и аппаратуры контроля электризации (справа)*

Принцип действия датчика напряженности электрического поля основан на явлении электростатической индукции, которое заключается в том, что в электростатическом поле по поверхности чувствительного электрода перераспределяются заряды. В результате на затворе полевого транзистора, подключенного к чувствительному электроду, изменяется потенциал, зависящий от положения электрода, конфигурации, величины и геометрии поля. Регистрируемой величиной является разность потенциалов, измеряемая между двумя пространственными положениями колеблющегося чувствительного электрода. Перемещение электрода обеспечивает электромагнитный возбудитель, состоящий из генератора и электромагнитной системы датчика.

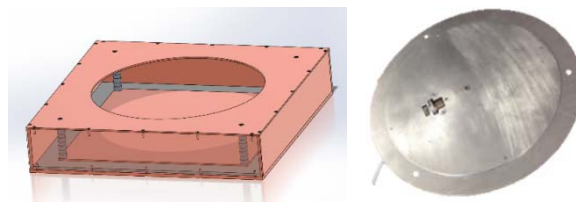
Сигнал с чувствительного электрода датчика усиливается миниатюрным транзисторным усилителем, расположенным непосредственно на движущемся элементе колебательной системы. Окончательная обработка результатов и управление электромеханической системой перемещения электрода осуществляется платой управления ДЭП.

Развитие исследований электризации поверхности КА, а также использование датчиков ДЭП для контроля зарядки поверхности КА требует применения ДЭП с подтвержденными метрологическими характеристиками и внесения ДЭП в Государственный реестр средств измерений. Однако, существующие метрологические установки (например, установка поверочная средств измерений напряженности электростатического поля П1-23 [5]) не позволяют провести испытания с целью утверждения типа датчиков ДЭП в условиях, близких к режимам эксплуатации ДЭП на КА. Поскольку ДЭП разработан для работы в открытом космическом пространстве, то его работоспособность, включая и метрологические характеристики, должны быть подтверждены во всем диапазоне температур и при пониженном давлении. В настоящее время определение метрологических характеристик ДЭП возможно только в нормальных климатических условиях, т. е. при нормальном атмосферном давлении в диапазоне температур  $(20 \pm 5)$  °С, так как в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений отсутствуют средства измерений (эталон), необходимые для определения метрологических характеристик ДЭП в условиях, идентичных условиям эксплуатации ДЭП.

Поэтому проведение испытаний в целях утверждения типа ДЭП возможно только после разработки и изготовления калибратора напряженности электростатического поля, способного работать в вышеуказанных климатических условиях, т. е. полеобразующая система калибратора должна размещаться вместе с ДЭП внутри климатической камеры и (или) термобарокамеры. Данный калибратор должен пройти испытания в целях утверждения типа и должен быть внесен в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений и поверен. В связи с чем, перед нами стоит задача по разработке, испытаниям и сертификации стенда для первичной аттестации ДЭП и дальнейшей поверки ДЭП в процессе производства при помощи полученного устройства.

С целью решения данной проблемы был разработан калибратор датчиков электрического поля КДЭП, выполненный в виде плоского конденсатора, с возможностью установки в термокамеру или термобарокамеру для проверки во всем температурном диапазоне и при пониженном давлении. Общий вид калибратора КДЭП приведен на рис. 2. Диэлектрические стойки конденсатора выполнены из фторопласта Ф-3.

Для обеспечения возможности проведения испытаний ДЭП как на калибраторе КДЭП, так и на зарегистрированной в Госреестре средств измерений установке П1-23, верхняя пластина калибратора выполнена по размерам съемной заглушки установки П1-23. На рис. 2 в центре диска находится смотровое отверстие для ДЭП. Кроме того, в силу конструктивных особенностей датчика ДЭП, пластина также имеет отверстия для выступающих элементов ДЭП.



*Рис. 2. Общий вид калибратора датчика электрического поля КДЭП (верхняя крышка снята) – слева, верхняя крышка калибратора с установленным датчиком ДЭП – справа*

Для анализа влияния данных конструктивных особенностей ДЭП был произведен расчет в интерактивной программе для расчета электронных пушек SAM [6]. Анализ производился методом сравнения напряженности электростатического поля в смотровом отверстии ДЭП, с учетом выступающих элементов, с напряженностью поля в плоском конденсаторе. Расчет производился в двумерной конфигурации, по осевому сечению ДЭП (на рис. 2 справа, видно, что неоднородность присутствует в плоскости установки в секторе не более  $25^\circ$ ), что на самом деле, представляет собой анализ худшего случая, когда неравномерность присутствует на всей полуплоскости, в отличие от реального случая. Влияние конструкции ДЭП на напряженность поля на оси чувствительного элемента представлено на рис. 3.

По результатам моделирования было получено, что напряженность поля в области измерения датчика отличается от напряженности поля в плоском конденсаторе не более чем на  $\pm 2\%$ .

На итоговую погрешность калибратора также оказывает влияние тепловое линейное расширение конденсатора, где определяющую роль играет тепловое расширение фторопластовых стоек. Оценка соответствующей погрешности дает вклад не более 1 % при изменении температуры во всем диапазоне эксплуатации ДЭП. Результирующая погрешность КДЭП, с учетом метрологических характеристик дополнительных средств измерений (делитель высоковольтного напряжения ДНВ, вольтметр,

штангенциркуль), не превышает 5 %, что соответствует максимально допустимой точности эталона, предназначенного для калибровки датчиков, обладающих точностью 15 %.

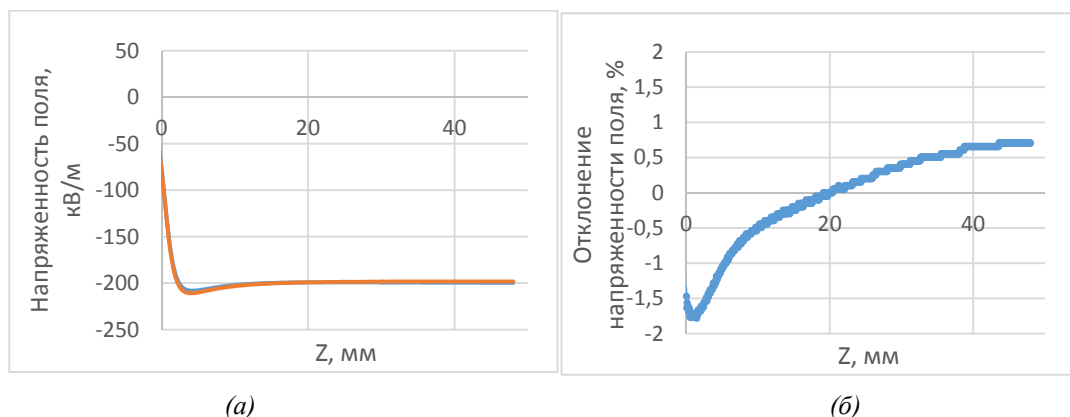


Рис. 3. Изменение напряженности поля по вертикали, на оси чувствительного элемента.

(а) – красная линия – напряженность поля в калибраторе КДЭП без ДЭП, синяя линия – напряженность поля в калибраторе КДЭП с установленным ДЭП; (б) – отклонение напряженности поля за счет ДЭП

На изготовленном образце была произведена первичная калибровка партии датчиков ДЭП. Испытания данной партии при нормальных условиях на установке П1–23, проведенные в Новосибирском центре стандартизации и метрологии, показали, что максимальное отклонение измеренной датчиком ДЭП напряженности поля не превышает 15 % от показаний П1-23 (рис. 4), что удовлетворяет предъявляемым к ДЭП требованиям.

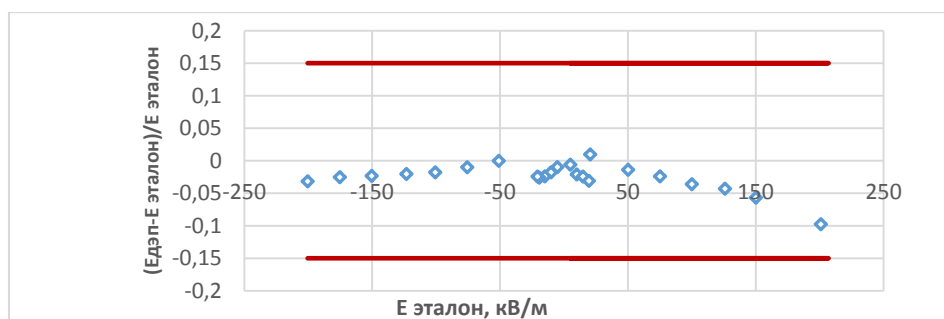


Рис. 4. Отклонение показаний датчика ДЭП, откалиброванного с помощью КДЭП, от показаний установки поверочной П1-23

Таким образом, разработанный калибратор КДЭП позволяет изготавливать датчики электрического поля ДЭП, погрешность которых не превышает 15 %. Дальнейшие испытания ДЭП во всем диапазоне температур, включая испытания при пониженном давлении, и определение метрологических характеристик ДЭП могут быть выполнены, что позволит решить задачу увеличения точности определения параметров электризации поверхности КА, и поможет при проектировании современных КА с учетом требований к факторам электризации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. DeForest, S. E.: Spacecraft Charging at Synchronous Orbit// J. Geophys. Res. – 1972. – Vol. 77, – pp. 651–659.

2. Иванов В.А., Кириллов В.Ю., Морозов Е.П. Модельные и стендовые исследования электризации космических аппаратов / под ред. В.Ю. Кириллова. – М.: МАИ, 2012. – 168 с.
3. Белик Г.А. Метод повышения устойчивости печатных узлов БРЭА космических аппаратов к возникновению ЭСР: Автореф. дис. канд. техн. наук 05.12.04 – М., 2013. – 25 с.
4. Датчик электростатического поля и способ измерения электростатического поля: пат. 2414717 Рос. Федерация: МПК G01R 29/12 (2006.01). Шилов А.М. и др.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Новосиб. гос. ун-т» (НГУ) – 2010101386/28, заявл. 18.01.2010; опубл. 20.03.2011, Бюл. № 8. – 6 с: ил.
5. Установка поверочная средств измерений напряженности электростатического поля П1-23 (ЦКЛМ.411723.003), производство ЗАО «НПП «Циклон-Прибор», Московская область, г. Фрязино.
6. Тиунов М.А., Фомель Б.М., Яковлев В.П. /SAM- интерактивная программа для расчета электронных пушек на мини-ЭВМ. Новосибирск: ИЯФ СО АН СССР, 1989, препринт N 89-159.

#### **МАЛОМОМЕНТНАЯ ОПОРА ДЛЯ ПОДВЕСА ПЛАТФОРМЫ СТЕНДА**

Крылатов А.Ю.<sup>1</sup>, Хрущ Е.И.<sup>1</sup>

Научные руководители: Мартемьянов В.М., доцент, к.т.н.; Буй Дык Бьен, аспирант

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: topazaykv@gmail.com

#### **LOW MOMENT PROP FOR SUSPENSION OF STAND PLATFORM**

Krylatov A.Y.<sup>1</sup>, Khrusch E.I.<sup>1</sup>

Scientific Supervisors: Associate Prof., PhD, Martemyanov V.M.; postgraduate Bien B.D.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: topazaykv@gmail.com

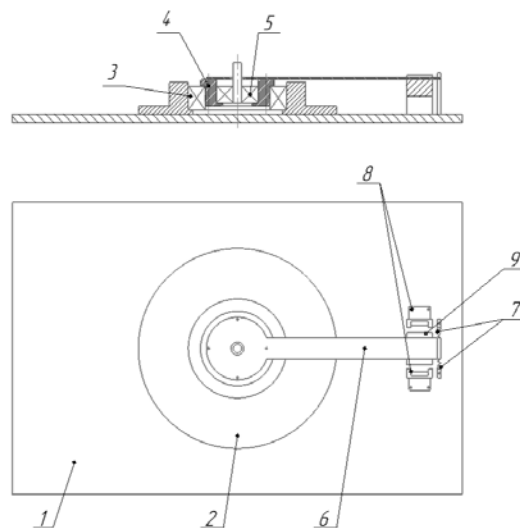
*Рассматривается конструкция опоры подвеса стенда для демонстрации принципа работы системы управления космическим аппаратом. Опора состоит из двух шарикоподшипников, соединенных промежуточной втулкой. Промежуточная втулка совершает угловые колебания при помощи электромагнитного привода. Рассмотрен способ настройки частоты колебаний электромагнитного привода.*

*The design of the suspension prop of the stand is considered to demonstrate the principle of operation of the spacecraft control system. The support consists of two ball bearings, connected by an intermediate sleeve. The intermediate sleeve makes angular oscillations with the aid of an electromagnetic drive. A method for tuning the vibration frequency of an electromagnetic drive is considered.*

Во многих практических случаях разработка и изготовление опор с малым трением сталкивается с выбором принципа организации такого подвеса. Известны различные приемы поддержания перемещающейся части устройства – применение опор скольжения, шарикоподшипников, торсионные, газовые, жидкостные подвесы и др. При разработке подвеса платформы, моделирующей корпус космического летательного аппарата в структуре стенда для пояснения работы системы ориентации, было принято решение использовать шарикоподшипниковый узел с «оживлением». В этом случае для уменьшения момента трения применяется принудительное движение колец шарикоподшипника [1]. На практике для создания такого движения применяются как специальные электродвигатели, работающие в режиме непрерывного реверсирования, так и электромагнитные приводы. Выбор последнего был принят ввиду его простоты реализации. При разработке конструкции выяснилось, что стандартные трехколенные шарикоподшипники являются редкими и малодоступными элементами, в связи с чем принято решение

необходимую конструкцию создать в виде совокупности двух радиально-упорных шарикоподшипников, объединённых промежуточной втулкой. Данная втулка связана с внутренним кольцом внешнего шарикоподшипника и с внешним кольцом внутреннего; со внутренним кольцом последнего связана полусъёмная платформа. Применение промежуточной втулки облегчает соединение с подшипниковой структурой штанги электромагнитного привода. В этом случае структура создаваемого подвеса (см. рисунок) близка к конструкции, приведенной в [2].

Основой стенда является основание *1*. На основании смонтирован корпус опоры *2*, содержащий структуру трехколенного шарикоподшипника, состоящего из внешнего *3* и внутреннего *5* шарикоподшипников, а также промежуточной втулки *4*. Штанга *6*, связанная с промежуточной втулкой, является элементом электромагнитного привода, который содержит две обмотки электромагнитов *8* и общий якорь, смонтированный на штанге. Центрирование штанги производится пружинной конструкцией *7*. Колебательное движение промежуточной втулки («оживление» шарикоподшипникового узла) осуществляется за счет периодического подключения обмоток электромагнитов к источнику переменного напряжения. Обмотки подключены к источнику посредством двух диодов, которые обеспечивают поочередное протекание токов по обеим обмоткам.



*Рисунок. Структурная схема опоры*

Очевидно, что частота колебаний промежуточной втулки зависит от частоты источника питания. Использование источника питания с регулируемой частотой, позволяющего задать режим колебаний близкий к резонансному, в данном случае оказывается нерациональным; желательно использовать источники стандартной частоты (50, 400, 500, 1000 Гц). В этом случае необходимый режим механических колебаний промежуточной втулки необходимо задавать соответствующим подбором жесткости элементов пружинной конструкции и момента инерции штанги.

Предположим, что опора для вращения платформы создает очень малый момент сопротивления. В этом случае можно считать, что характер движения устройства для создания колебаний промежуточного кольца не зависит от параметров платформы, в том числе и от ее момента инерции. В этом случае для расчета частоты собственных колебаний устройства, содержащего промежуточное кольцо шарикоподшипникового узла (промежуточную втулку), штангу и пружинную конструкцию, необходимо

определить момент инерции штанги  $J$  и жесткость пружинной конструкции  $C$ . Круговую частоту собственных колебаний определим, используя уравнение колебательного движения

$$J\ddot{\alpha} + C\alpha = 0$$

или

$$\ddot{\alpha} + \omega^2\alpha = 0.$$

В этом случае круговая частота собственных колебаний имеет величину  $\omega = \sqrt{\frac{C}{J}}$ . Циклическая частота будет  $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{J}}$ . Используя полученное выражение, можно определенным способом меняя величины  $J$  и  $C$ , добиться того, что циклическая частота собственных колебаний устройства будет близка к частоте имеющегося источника питания переменного тока, т. е. будет наблюдаться режим, близкий к резонансному, требующий минимально возможное потребление энергии источника.

Изменение (подстройка) момента инерции  $J$  может быть проведено добавлением или уменьшением массы штанги; жесткость пружинной конструкции – подбором пружин с необходимой жесткостью  $k$ . Отметим, что при одинаковых пружинах с заданной жесткостью  $k$ , выбранная нами схема пружинной конструкции обладает жесткостью  $C = 2k$ .

Экспериментальное определение момента инерции можно провести методом качания физического маятника с эталоном (метод Гаусса). В данном случае ось подвеса штанги располагается горизонтально, штанге задается колебательное движение и фиксируется период ее собственных колебаний. Затем, на некотором заданном расстоянии от оси вращения на штанге закрепляется масса известной величины. При этом произойдет изменение момента инерции и «маятниковости» штанги. Период колебаний также изменится. Затем, используя значения первоначального периода колебаний и периода при добавлении массы, рассчитывают величину момента инерции качающейся штанги по формуле

$$J = \frac{T_1^2}{T_2^2 - T_1^2} \cdot \left[ m_3 \cdot l_3 \left( l_3 + \frac{T_2^2}{4\pi^2} \cdot g \right) \right],$$

где:  $T_1, T_2$  – периоды колебаний соответственно до и после установки эталонной массы;

$m_3$  – величина эталонной массы;

$l_3$  – расстояние от оси вращения до центра эталонной массы;

$g$  – ускорение силы тяжести.

Определение жесткости пружин производят приложением к ним силы веса известной массы и замером происходящей при этом деформации (сжатия) пружин.

По результатам проведенных экспериментов определяется исходная частота собственных колебаний, затем производится необходимая подстройка параметров для достижения квазирезонансного режима работы системы «оживления» опоры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин Е.А. и др. Гироскопические системы. Ч. III. Элементы гироскопических приборов / под ред. Д.С. Пельпора. – М.: Высш. школа, 1972. – 472 с.
2. Павлов В.А. Основы проектирования и расчета гироскопических приборов / В.А. Павлов. – Л.: Судостроение, 1967. – 260 с.

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ НАЗЕМНЫХ И АВИАЦИОННЫХ ГТД  
С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Кузнецов П.А.<sup>1</sup>, Лисицин А.Н.<sup>2</sup>

Научные руководители: Юдин А.В., зав. кафедры ЭПЭ, д.т.н.; Манин А.В., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева

152934, Россия, Ярославская обл., г. Рыбинск, ул. Пушкина, 53

<sup>2</sup>ПАО «НПО «Сатурн»

152903, Россия, Ярославская обл, г. Рыбинск, пр-т Ленина, 163

E-mail: kuznetsovpavel@inbox.ru

**MODERNIZATION OF EXISTING GROUND BASED AND AVIONICS GTE  
WITH THE HELP OF HIGH-FREQUENCY ELECTRIC DRIVE**

Kuznetsov P.A.<sup>1</sup>, Lisitsin A.N.<sup>2</sup>

Scientific Supervisors: Head of EIE chair, Dr. Judin A.V., Associate Prof., PhD, Manin A.V.

<sup>1</sup>P.A. Soloviov's Rybinsk State Avionics Technical University

Russia, Yaroslavl region, Rybinsk city, Pushkina street, 53, 152934

<sup>2</sup>Public Company «NPO «Saturn»

Russia, Yaroslavl region, Rybinsk city, Lenina ave., 163, 152903

E-mail: kuznetsovpavel@inbox.ru

*В данной статье рассматриваются проблемы эксплуатации систем смазки и подачи топлива авиационных и наземных ГТД. Проанализированы и описаны недостатки существующих механических агрегатов и способов их управления. Предложены варианты модернизации существующих ГТД с использованием высокочастотных электроприводных агрегатов. Показаны результаты моделирования высокочастотного электродвигателя 400 Гц и проанализированы их преимущества в сравнении со стандартными асинхронными двигателями 50/60 Гц.*

*This article observes maintenance problems of lubrication and fuel systems of avionics and ground-based GTE. There were analyzed and described disadvantages of existing mechanical gearboxes, assemblies and their control methods. In addition, there were proposed options for modernization of existing GTE with the help of high-frequency induction motors with frequency steering. There are shown simulation results of high-frequency induction motor 400 Hz and there are analyzed its advantages in compare to standard serial 50/60 Hz induction motors.*

Эксплуатируемые в настоящее время авиационные и наземные ГТД имеют в своем составе множество вспомогательных систем, необходимых для полноценного функционирования двигателя. Наличие большого количества сложных вспомогательных механизмов снижает общую надежность двигателя, повышает конечную стоимость и усложняет процесс изготовления и сборки. В составе практически любого двигателя находится коробка агрегатов, на которую крепятся насосы масляной и топливной систем, электростартер, генератор [1–2]. Коробка имеет связь с ротором ГТД через центральный привод, где и производится отбор мощности на агрегаты. Обобщенная схема строения приводной схемы ГТД приведена на рис. 1.

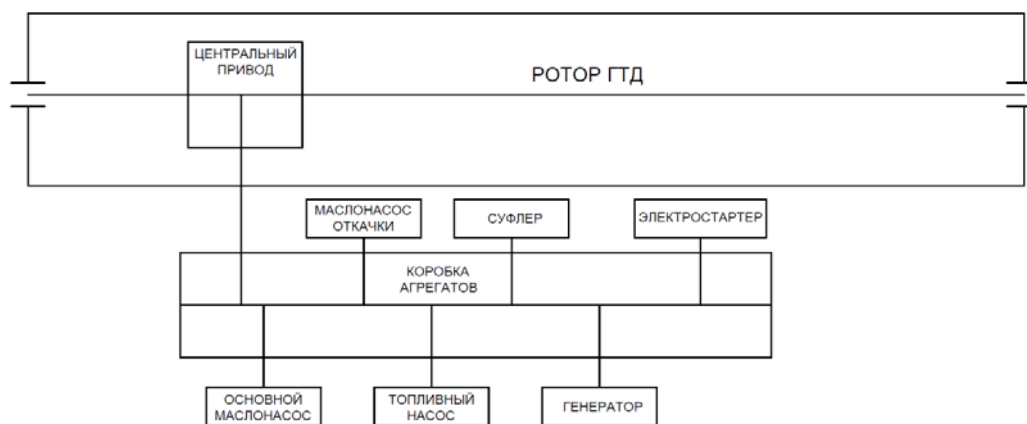


Рис. 1. Обобщенная кинематическая схема агрегатов ГТД

Основным недостатком такой схемы является трудность регулирования производительности агрегатов, которая напрямую зависит от частоты вращения ротора ГТД. Если дозировка топлива управляется с помощью дроссельных заслонок, которые понижают КПД насоса, то производительность маслоагрегатов, обычно, не регулируется [2]. Они проектируются заранее с избыточной производительностью. Помимо этого, проблемными режимами являются запуск и остановка ГТД, т. к. именно в эти периоды насосы имеют самую низкую производительность, в результате чего двигатель испытывает нехватку масла, что негативно сказывается на ресурсе подшипников.

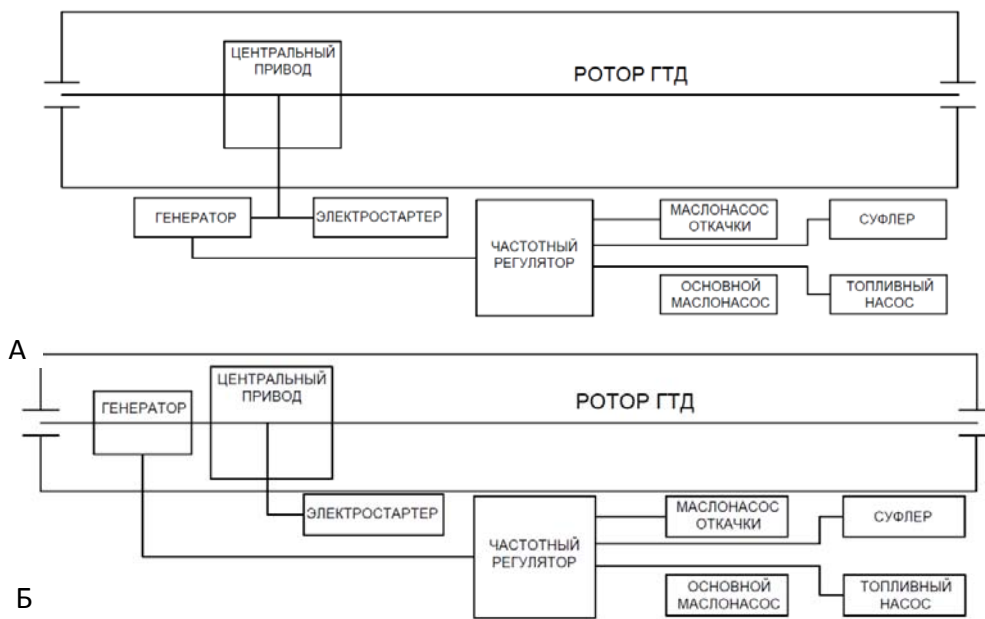


Рис. 2. Варианты модернизации ГТД электроприводными агрегатами: а) генератор остается в составе приводной группы; б) генератор размещается в КНД

Перспективным направлением на сегодняшний день является создание электрифицированного ГТД с электроприводными агрегатами [3]. В связи с этим предлагаются две схемы, которые могут быть использованы при проектировании новых или модернизации уже существующих ГТД. Их смысл заключается в замене агрегатов с механическим приводом на электроприводные насосы. Вариант 1 (рис. 2, а). Все агрегаты кроме электрогенератора заменяются на электроприводные аналоги, а генератор вместе со стартером напрямую соединяются с центральным приводом. Коробка приводов исключается из конструкции ГТД практически полностью. Вариант 2 (рис. 2, б). Все агрегаты заменяются на электроприводные, генератор модернизируется и конструктивно размещается в зоне компрессора низкого давления (КНД).

Существует и третий вариант модернизации ГТД [4], в котором происходит практически полный отказ от маслосистемы и замена подшипников качения на электромагнитные подвесы. Однако, в данной статье он не рассматривается подробно по причине высоких скоростей вращения роторов, исследуемых ГТД.

Для экономии массы и расширения диапазонов регулировки скорости предлагается использовать проектируемые высокочастотные двигатели номиналами 400 Гц. Для подтверждения работоспособности и сравнения их характеристики с промышленными 50/60 Гц образцами было выполнено математическое моделирование в среде Simulink/Matlab. Создана модель частотно-управляемого двигателя 400 Гц.



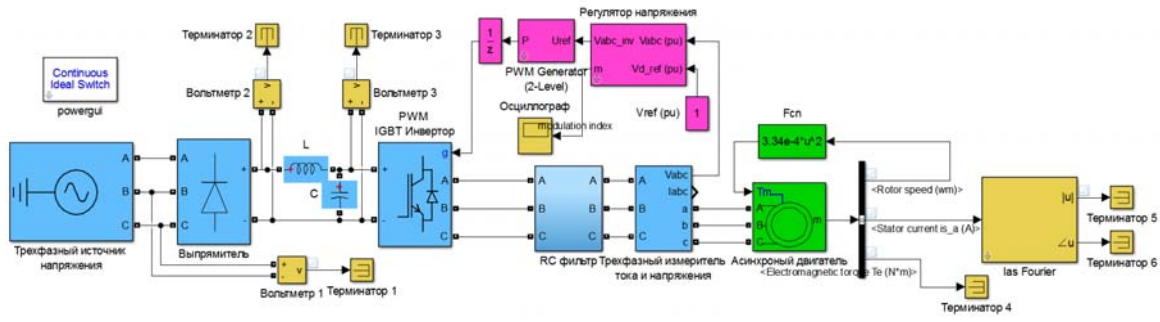


Рис. 3. Исследуемая модель управляемого асинхронного двигателя

Трехфазный источник напряжения питает 400 Гц асинхронный двигатель через систему Выпрямитель-Инвертор. После шестипульсовой мостовой схемы в цепь включен LC-фильтр. Выпрямленное напряжение прикладывается к двухуровневому IGBT инвертору, который выдает управляющие импульсы частотой 400 Гц. Импульсы управления создаются по одному из распространенных способов: напряжение на выходе сравнивается с опорным сигналом треугольной формы. Линейное напряжение на выходе в данном случае является функцией постоянного напряжения на входе и индекса модуляции  $m$ :

$$U_{л} = \frac{m}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} U_{\text{пост}} \quad (1)$$

Для расчета элементов схемы замещения АД использовались алгоритмы из [5–6]. Результаты работы двигателей представлены на рис. 4, а и б.

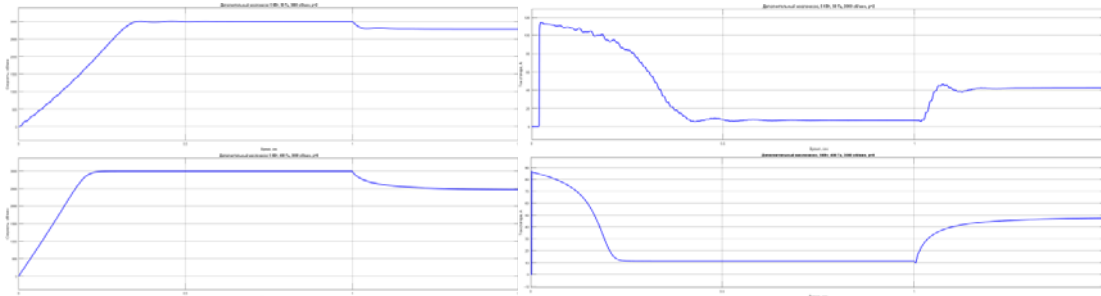


Рис. 4. Сравнительные характеристики электродвигателя для дополнительного маслонасоса  $P=5 \text{ кВт}$ ,  $n=3000 \text{ об/мин}$ : а) кривая скорости двигателя; б) графики токов статора

Верхние графики принадлежат двигателю 50 Гц, нижние – 400 Гц. Анализ результатов моделирования показывает, что высокочастотные двигатели имеют более плавную и более быструю кривую разгона и меньше колебаний скорости. Их пусковые токи примерно на 30 % ниже, чем у стандартных промышленных аналогов (85 А против 120 А). Токи статора также испытывают меньшее число пульсаций и имеют более плавные переходные процессы. А расширение частотного диапазона позволяет осуществлять регулирование в более широких пределах до базовой частоты без потерь крутящего момента (рис. 5), что не всегда рентабельно у асинхронных двигателей 50/60 Гц [7].

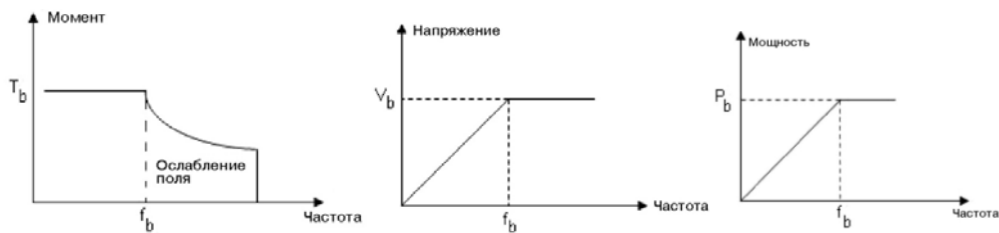


Рис. 5. Характеристики момента, напряжения и скорости в зависимости от частоты при частотном регулировании АД

Вывод. Использование в составе ГТД электроприводных агрегатов вместо механических позволяет повысить надежность двигателя и значительно расширить возможности управления производительностью и скоростью вращения насосов. Помимо этого, отсутствие зависимости между производительностью агрегатов и вращением ротора ГТД даже на критических режимах работы. А разработка и использование высокочастотных двигателей смогу обеспечить значительную экономию по массе и увеличение КПД агрегата в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чигрин В.С., Белова С.Е. системы смазки ГТД: учеб. пособие. – Рыбинск: «РГАТУ», 2005. – 20 с.
2. Лозицкий Л.П., Авдошко М.Д., Березлев В.Ф., Гвоздецкий И.И., Иваненко А.А., Молочков М.А., Ступников Л.П., Худько М.И. Авиационные двухконтурные двигатели Д30-КУ и Д-30КП. – М.: Машиностроение, 1988. – 228 с.
3. A.A. Abdelhafez, A.J. Forsyth. A Review of More-Electric Aircraft// 13th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology, ASAT-13, May 26–28, 2009.
4. Лебедев М.В., Кикоть Н.В., Буров М.Н. Возможность применения активных магнитных подшипников в опорах роторов двухконтурного ГТД // Перспективные направления развития авиадвигателестроения: Климовские чтения – 2016, Санкт-Петербург.
5. Чепкунов Р.А. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по паспортным данным при вводе в эксплуатацию асинхронного электропривода// Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах. № 4/2013 (4). – (Электронный ресурс: <http://eetecs.kdu.edu.ua>).
6. Pedra, Joaquin. On the Determination of Induction Motor Parameters From Manufacturer Data for Electromagnetic Transient Programs// IEEE® Transactions on Power Systems, vol. 23, no. 4, pp. 1709–1718, November 2008.
7. Асинхронные электродвигатели, управляемые от преобразователя частоты. Техническое руководство компании WEG, 2013 – (Электронный ресурс: <http://www.weg.net/>).

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МИКРОДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА МАЛОГО КЛА**

Полушко Д.А.<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: Polushko.07@mail.ru

**CONSTRUCTION OF MICRO MOTOR-FLYWHEEL OF SMALL SPACECRAFT**

Polushko D.A.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Martemyanov V.M.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: Polushko.07@mail.ru

*В связи с тем, что двигатель-маховик, использующийся в качестве органа управления ориентацией космического летательного аппарата, будет эксплуатироваться в условиях космического пространства, требуется разработать конструкцию, которая обеспечит его работоспособность в заданных условиях. В данной статье рассматривается проблема, связанная с разработкой конструкции микродвигателя-маховика, которая обеспечит его дальнейшую эксплуатацию в качестве органа управления ориентацией малого космического летательного аппарата. За основу разрабатываемой конструкции взята конструкция электродвигателя привода флоппи-дисковода, которую потребовалось модернизировать в соответствии с требованиями, соблюдение которых обеспечит работоспособность электродвигателя в космическом пространстве. В результате была разработана конструкция, которая позволит в дальнейшем использовать данный электродвигатель в качестве микродвигателя-маховика для малого КЛА. Результаты данной работы расширяют область применения подобных электродвигателей в приборных системах КЛА.*

*In connection with the fact that the motor-flywheel, used as the control body for the orientation of the spacecraft, will be operated in space conditions, it is required to develop a design that will ensure its operability in conditions of space. In it article considered the problem associated with the design of the micromotor-flywheel design, which will ensure its further operation as a control organ for the orientation of a small spacecraft. As a based of the developed design is taken the design of the electric drive motor of the floppy drive which was needed to modernize in accordance with the requirements, compliance with which will ensure the efficiency of the motor in outer space. In The result of design, which will allow in the future using the motor as motor-flywheel for small spacecraft was developed. The results of this work expand the scope of application of similar electric motors in instrument systems of spacecraft.*

Большое количество различных летательных аппаратов осваивает космическое пространство. Все они различаются по типу, режиму работы и выполняемой задаче, однако их объединяет одна проблема – управление ориентацией в космическом пространстве. Под ориентацией космического летательного аппарата (КЛА) понимается управление его угловым положением в требуемом направлении с целью решения какой-либо практической задачи.

Существуют разные способы управления ориентацией КЛА, однако наиболее рациональным является способ с применением электромеханических органов на базе двигателей-маховиков. Не изменяя движения центра масс, вращающийся маховик создаёт внутренние моменты, которые позволяют изменять угловое положение КЛА. Часто на КЛА устанавливают три маховика, оси которых совмещают с главными осями инерции летательного аппарата. При использовании маховичной системы возникает потребность в специальном разгрузочном устройстве, которое необходимо для периодического снятия кинетического момента, накопленного маховиком. В качестве таких устройств могут быть применены реактивные двигатели, электромагнитные устройства.

Конструктивно двигатель-маховик представляет собой электродвигатель, статор которого закреплён на основании, а с ротором связана маховая масса.

Общими требованиями, предъявляемыми к двигателям-маховикам, являются высокая надёжность, долговечность, малый вес и габариты. Однако основным требованием является хорошая регулировочная

характеристика привода маховика в широком диапазоне скоростей [1]. В соответствии с этим, в качестве привода применяют такой тип электродвигателя, как бесконтактный постоянного тока. Данный тип обладает хорошей регулировочной характеристикой, а также хорошими массогабаритными показателями.

Особые требования предъявляются к массогабаритным показателям микродвигателей-маховиков, предназначенных для угловой ориентации малых КЛА. Для таких КЛА требуется привод, который обладает малыми габаритами и массой, но при этом обеспечивает необходимый характер вращения корпуса КЛА. Вращение корпуса осуществляется в соответствии с законом сохранения кинетического момента [2]:

$$M_{\text{упр}} = \frac{dH}{dt} = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = J \cdot \alpha,$$

где  $H$  – кинетический момент маховика;

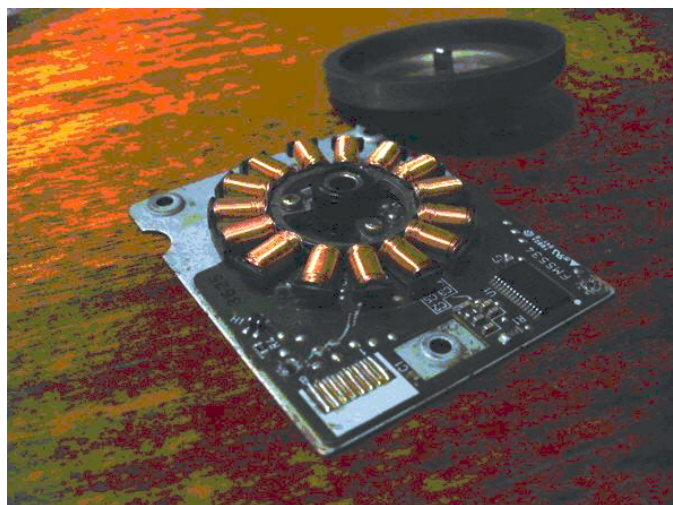
$J$  – момент инерции вращающихся элементов;

$\Omega$  – угловая скорость вращения маховика;

$\alpha$  – угловое ускорение электродвигателя.

Из данного выражения следует, что управляющий момент, прикладываемый к корпусу КЛА, зависит от момента инерции маховика. Существующие конструкции маховичных двигателей построены по инверсной схеме, у которой статорная часть расположена внутри конструкции, а активные части ротора и вращающаяся инерционная масса расположены снаружи. Такой вариант обеспечивает максимальный момент инерции.

Выше перечисленным требованиям удовлетворяет электродвигатель привода флоппи-дискового (рис. 1), который используется в персональных компьютерах. Данный электродвигатель относится к бесколлекторным, постоянного тока. В нём постоянные магниты ротора расположены на максимально возможном радиусе, что обеспечивает высокий момент инерции маховика, а следовательно и высокий управляющий момент. К тому же величина этого момента может плавно меняться в соответствии с подаваемым на вход электродвигателя сигналом управления. Помимо этого, данный электродвигатель обладает хорошими регулировочными характеристиками, которые были получены в ходе эксперимента и опубликованы в статье [3].



*Рис. 1. Электродвигатель привода флоппи-дискового*

Данная работа посвящена изучению и последующей модернизации конструкции электродвигателя привода флоппи-дисков с целью его дальнейшего использования в качестве основы микродвигателя-маховика для малого КЛА.

Данный электродвигатель имеет ряд конструктивных особенностей. Ротор выполнен в виде маховика с постоянными магнитами. Его связь со статором осуществляется при помощи вала, вращающегося в опоре. Статор представляет собой магнитопровод, на котором имеются катушки. Эти катушки сдвинуты друг относительно друга в пространстве.

Магнитопровод статора имеет посадочное отверстие под подпятник вала ротора. В данном случае применяется опора скольжения: стальной вал ротора и бронзовый подпятник. Поверхность подпятника может вызывать, в процессе эксплуатации, большой момент сил трения, что приведёт к быстрому износу самого подпятника и ухудшению работы электродвигателя. Такой недостаток существенен при больших скоростях вращения ротора. Однако данный электродвигатель будет эксплуатироваться на малых скоростях вращения, что исключает быстрый износ поверхности опоры.

При запуске КЛА на орбиту, электродвигатель будет испытывать большие вибрационные нагрузки, что может привести к отсоединению ротора от статора. С целью предотвращения такой ситуации следует разработать специальную конструкцию, которая будет удерживать ротор. Такая конструкция должна фиксировать ротор и при этом не препятствовать его вращению. Помимо фиксации ротора требуется герметизация электродвигателя.

Основываясь на конструктивных особенностях и необходимой конструктивной доработки электродвигателя привода флоппи-дисков был предположен подход к применению конструкции микродвигателя-маховика для малого КЛА.

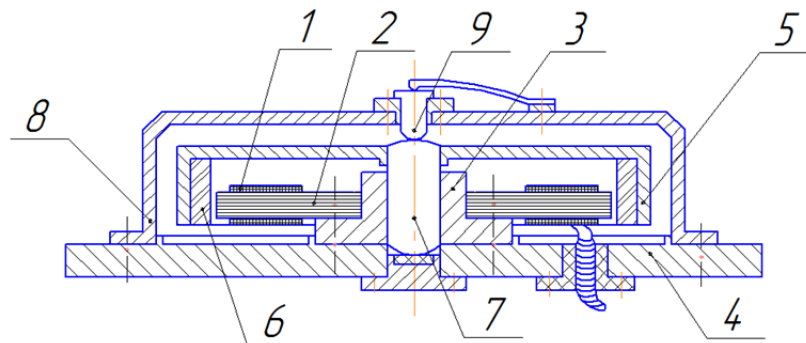


Рис. 2. Конструкция предлагаемого микродвигателя-маховика

На рис. 2 представлена конструкция микродвигателя-маховика. Статор такой конструкции состоит из обмотки 1, уложенной в пазах магнитопровода 2. Листы магнитопровода связаны с подпятником 3. Полученная конструкция закреплена при помощи винтов к основанию 4.

Ротор 5 выполнен в виде стаканчика, на внутренней стенке которого расположены постоянные магниты 6. Он соединён со статором при помощи вала 7.

Поверх всей конструкции установлена крышка 8. Фиксация крышки к основанию осуществляется при помощи винтов. Для фиксации ротора в осевом направлении в отверстие корпуса вставлен подпятник с наконечником 9.

На основе разработанной конструкции будет сконструирован макет микродвигателя-маховика, который в дальнейшем будет подвержен ряду испытаний, в результате которых будет установлена его пригодность к использованию в качестве ориентирующего органа на малом КЛА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г. Управление космическим летательным аппаратом. – М.: Машиностроение, 1964. – 245 с.
2. Поляков М.В., Полякова А.В. Двигатель маховик на базе механической системы «Электродвигатель-редуктор-маховик» для управления ориентацией малого космического аппарата: сборник научных трудов // Космическое приборостроение. – 2013. – С. 104–107.
3. Полюшко Д.А. Применение бесконтактных микроэлектродвигателей постоянного тока для управления ориентацией малых КЛА: сборник научных трудов // Инженерия для освоения космоса. – 2016. – Т. 2. – С. 19–22.

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ ОСЕВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА НА СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА**

Поляков М.В.<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: Дмитриев В.С., профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полюс»  
634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Кирова, 56в

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: info@polus-tomsk.ru

#### **IMPACT OF AXIAL ACTIVE MAGNETIC BEARING STIFFNESS COEFFICIENT ON RESONANCE FREQUENCIES OF REACTION WHEEL ROTOR**

Polyakov M.V.<sup>1,2</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Dmitriev V.S.

<sup>1</sup>Stock Company «Scientific & Industrial Centre «Polyus»  
Russia, Tomsk, Kirov ave., 56 «v», 634050

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: info@polus-tomsk.ru

*Разработана математическая модель системы «ротор – электромагнитные подшипники» для электродвигателя-маховика системы ориентации и стабилизации космического аппарата. Модель учитывает собственные частоты изгибных колебаний ротора и коэффициенты жесткости электромагнитных подшипников. Предложен способ повышения угловой жесткости системы путем применения многополюсного осевого электромагнитного подшипника и рассмотрено влияние его коэффициента жесткости на собственные частоты системы.*

*The paper presents the mathematical model of «rotor – active magnetic bearings» system for reaction wheel used in spacecraft attitude control system. Developed model consider the natural frequencies of rotor bending oscillations and stiffness parameters of electromagnetic bearing. Method of angular stiffness increasing by using multipolar axial magnetic bearing is suggested and the results of impact analysis of multipolar axial magnetic bearing stiffness on resonance frequencies of system is considered.*

**Введение.** При исследовании динамических характеристик системы «ротор – электромагнитные подшипники» зачастую рассматривается модель, в которой абсолютно твердый ротор массой  $m$  с осевым  $J_0$  и экваториальным  $J_x$  моментами инерции вращается с угловой скоростью  $\omega$  в радиальных электромагнитных

подшипниках, характеризуемых коэффициентами жесткости  $C_p$  и демпфирования  $B_p$  [1]. Математическая модель такой системы имеет следующий вид [2]:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + 2B_p\dot{x} + 2C_p x = me\omega^2 \cos(\omega t); \\ m\ddot{y} + 2B_p\dot{y} + 2C_p y = me\omega^2 \sin(\omega t); \\ J_s\ddot{\phi}_x + J_o\omega\dot{\phi}_y + D_p\dot{\phi}_x + R_p\phi_x = (J_s - J_o)\gamma\omega^2 \cos(\omega t); \\ J_s\ddot{\phi}_y - J_o\omega\dot{\phi}_x + D_p\dot{\phi}_y + R_p\phi_y = (J_s - J_o)\gamma\omega^2 \sin(\omega t), \end{cases}$$

где  $e$  – эксцентриситет ротора;  $\gamma$  – угол, характеризующий моментный дисбаланс ротора;  $D_p$  – коэффициент углового демпфирования электромагнитного подшипника;  $R_p$  – коэффициент угловой жесткости электромагнитного подшипника.

Недостатком такой модели является рассмотрение ротора как абсолютно твердого тела, при этом не учитываются его упругие деформации и собственные частоты изгибных форм колебаний. Роторы электродвигателей-маховиков систем ориентации и стабилизации космических аппаратов представляют собой массивный обод, соединенный с валом тонкой диафрагмой. Их первая собственная частота обычно связана с угловыми колебаниями обода и диафрагмы вокруг поперечной оси и может находиться в рабочем диапазоне частоты вращения ротора [3]. Поэтому при исследовании динамических характеристик ротора электродвигателя-маховика важно учитывать влияние его упругих деформаций на собственные частоты и амплитуды угловых колебаний системы «ротор – электромагнитные подшипники», для чего необходимо определить эквивалентную жесткость данной системы.

**Определение эквивалентной жесткости системы «ротор – электромагнитные подшипники».**

В рассматриваемой модели системы «ротор – электромагнитные подшипники» (рис. 1, а)  $C_p$ ,  $C_o$  представляют собой жесткости радиального и осевого магнитных подшипников, которые определяются параметрами магнитного подвеса и его системы управления и могут программно изменяться,  $C_v$ ,  $C_d$  – жесткости вала и диафрагмы ротора соответственно, определяются конструкцией ротора.

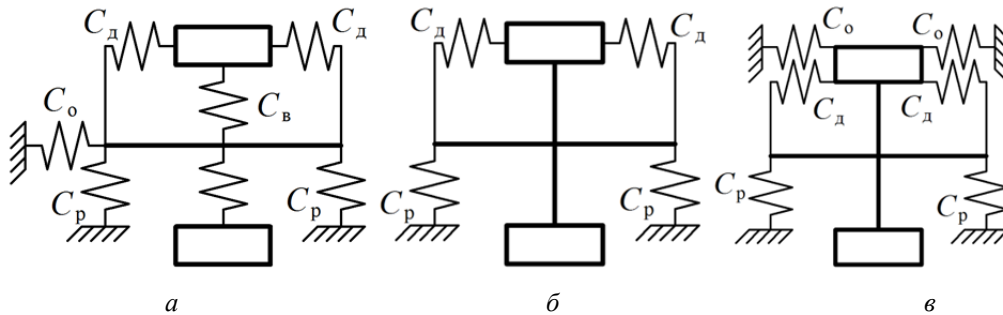


Рис. 1. Модели системы «ротор – электромагнитные подшипники»

Наиболее распространенные конструкции однополюсных кольцевых П- или Ш-образных осевых электромагнитных подшипников не влияют на радиальные и угловые колебания системы, поэтому в данном случае жесткостью  $C_o$  можно пренебречь. Жесткость вала  $C_v$  обычно значительно превышает жесткость остальных элементов системы, поэтому ее влияние на собственные частоты также не рассматривается. С учетом принятых допущений эквивалентная жесткость системы в радиальном направлении (рис. 1, б)

$$C_{\Sigma} = 2C_p.$$

Эквивалентная угловая жесткость системы  $R_{\Sigma}$  определяется как последовательное соединение угловых жесткостей радиального электромагнитного подшипника  $R_p$  и диафрагмы  $R_d$ :

$$R_{\Sigma} = \frac{R_p R_d}{R_p + R_d}; R_p = \frac{C_p L^2}{2}; R_d = \frac{C_d D^2}{2},$$

где  $L$  – расстояние между центрами радиальных электромагнитных подшипников;  $D$  – внешний диаметр обода ротора.

Собственные частоты радиальных и угловых колебаний ротора в магнитном подвесе:

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{\Sigma}}{m}}; f_y = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_{\Sigma}}{J_y}}.$$

Сравнение собственных частот, полученных с помощью математической модели и рассчитанных в программном продукте SolidWorks 2017 (табл. 1) для различных коэффициентов жесткости радиального электромагнитного подшипника  $C_p$ , показывает, что предлагаемая модель является достаточно точной.

Таблица 1. Расчет собственных частот системы «ротор – электромагнитные подшипники»

Угловая жесткость диафрагмы $R_d$ , Н·м	4,64·10 <sup>4</sup>		
Коэффициент жесткости радиального электромагнитного подшипника $C_p$ , Н/м	1·10 <sup>5</sup>	1·10 <sup>7</sup>	1·10 <sup>9</sup>
Угловая жесткость радиального электромагнитного подшипника $R_p$ , Н·м	360	3,6·10 <sup>4</sup>	3,6·10 <sup>6</sup>
Эквивалентная угловая жесткость системы $R_{\Sigma}$ , Н·м	354	2·10 <sup>4</sup>	4,6·10 <sup>4</sup>
Расчетная собственная частота угловых колебаний $f_y$ (модель), Гц	18,0	135,9	204,7
Собственная частота угловых колебаний $f_y$ (SolidWorks 2017), Гц	17,6	136,3	202,7

**Определение влияния коэффициента жесткости осевого электромагнитного подшипника на собственные частоты ротора.** Выше отмечено, что влияние классического осевого электромагнитного подшипника на собственные частоты системы отсутствует. Их повышение возможно при использовании многополюсного осевого электромагнитного подшипника, который содержит несколько отдельных осевых электромагнитов, расположенных по окружности вокруг оси ротора. В таком случае модель системы «ротор – электромагнитные подшипники» с учетом принятых ранее допущений имеет вид, представленный на рис. 1, в. Эквивалентная угловая жесткость данной системы

$$R_{\Sigma} = \frac{R_p R_d}{R_p + R_d} + R_o; R_o = \frac{C_o d^2}{2},$$

где  $d$  – диаметр окружности, на которой расположены осевые электромагниты.

Зависимости  $f_y$  ( $C_o$ ,  $C_p$ ), полученные с помощью математической модели и рассчитанные в программном продукте SolidWorks 2017 (рис. 2) показывают, что регулирование коэффициента жесткости  $C_o$  изменяет собственную частоту угловых колебаний системы  $f_y$  в широком диапазоне.

**Заключение.** Разработанная математическая модель системы «ротор – электромагнитные подшипники» учитывает упругие деформации и собственные частоты изгибных форм колебаний ротора. Предложен способ повышения угловой жесткости системы путем применения многополюсного осевого электромагнитного подшипника. Предлагаемая модель достаточно точна, что подтверждается частотным анализом системы в программном продукте SolidWorks 2017.



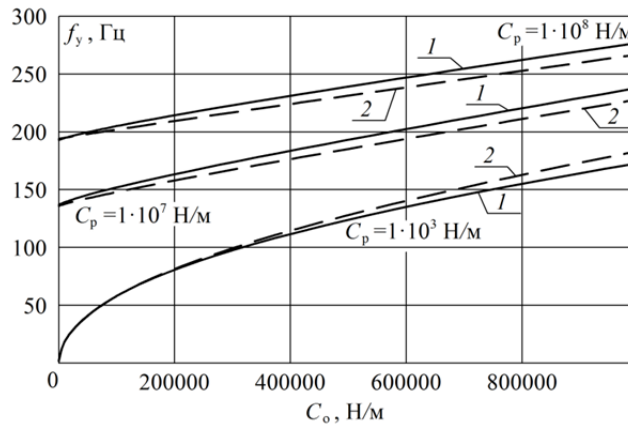


Рис. 2. График зависимости  $f_y$  ( $C_o$ ,  $C_p$ ): 1 – модель; 2 – SolidWorks

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сарычев А.П., Руковицын И.Г. Математическая модель ротора для анализа управления магнитными подшипниками // Вопросы электромеханики. – 2008. – Т. 107. – С. 11–15.
2. Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение. – СПб.: Политехника, 2003. 206 с.
3. Поляков М.В. Исследование влияния коэффициента жесткости осевого электромагнитного подшипника на собственные частоты ротора электродвигателя-маховика // Решетневские чтения: материалы XX Юбилейной междунар. науч.-практ. конф. (9–12 нояб. 2016 г., г. Красноярск) : в 2 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2016. – Ч. 1. – С. 424–426.

### ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

Татарников Е.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Гормаков А.Н., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: E.V.Tatarnikov@mail.ru

### ISSUES AND PERSPECTIVES OF FIBER OPTIC GYROSCOPES APPLICATION IN SPACE TECHNOLOGY

Tatarnikov E.V.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Gormakov A.N.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: E.V.Tatarnikov@mail.ru

*Волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) это новый и перспективный тип гироскопов. Они могут составить конкуренцию другим типам гироскопов, которые в данный момент наиболее часто используются в космической технике. В данной статье автор делает обзор текущего статуса ВОГ и их применения в космической отрасли. Автор описывает принцип работы гироскопа, преимущества и недостатки ВОГ по сравнению с другими типами гироскопов.*

*Fiber optic gyroscopes (FOG) are a new and perspective type of gyroscopes. It can compete with gyroscopes, which in this moment are the most commonly used in space technology. In this article an author has done review of current status of FOG and application of them in aerospace industry. The author describes working principle of FOG, advantages and disadvantages of FOG versus other types of gyroscopes.*

Первое описание волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) было сделано в 1976 году американскими учеными В. Вали и Р.В. Шортиллом в статье «Кольцевой волоконный интерферометр» [1]. Принцип действия ВОГ основан на эффекте Саньяка. Луч света в волоконно-оптическом гироскопе проходит через катушку оптоволоконна. Суть эффекта Саньяка заключается в том, что при вращении гироскопа появляется фазовый сдвиг между встречными лучами света и по величине этого сдвига можно определить скорость вращения гироскопа.

Типовое устройство ВОГ приведено на рис. 1.

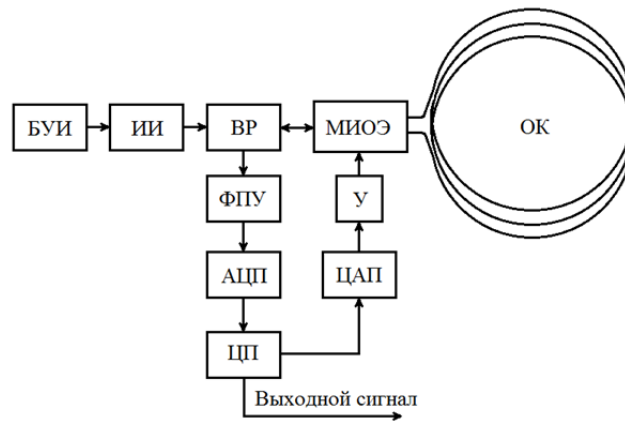


Рис. 1. Устройство ВОГ:

*БУИ* – блок управления излучателем; *ИИ* – источник излучения; *ВР* – волоконный разветвитель; *МИОЭ* – многофункциональный интегрально-оптический элемент; *ОК* – катушка оптоволоконна; *ФПУ* – фотоприемное устройство; *АЦП* – аналогово-цифровой преобразователь; *ЦП* – цифровой процессор; *У* – усилитель; *ЦАП* – цифро-аналоговый преобразователь

В качестве источника света в ВОГ часто используются лазеры и суперлюминесцентные диоды (СЛД) с длиной волны излучения более 1000 нм, что соответствует инфракрасному диапазону. Большая длина волны позволяет получить более точные результаты измерения угловых скоростей. СЛД обладают высокой степенью монохроматичности, что необходимо для стабильных показаний прибора.

Одним из самых главных элементов ВОГ является многофункциональный интегрально-оптический элемент (МИОЭ), который объединяет в себе световоды с поляризатором, делителем и модулятором [2]. Назначение модулятора в ВОГ системах состоит во вводе информации в световой поток [3]. В МИОЭ свет поляризуется, модулируется и расщепляется на два когерентных луча, которые перемещаются по оптоволоконной катушке в противоположных направлениях.

Пока оба луча перемещаются по волноводу в разных направлениях (рис. 2, а), сам гироскоп поворачивается на определенный угол, вследствие этого каждый луч проходит разное расстояние, и разница в пройденном пути определяет разность фаз между лучами. Связь между разностью фаз и скоростью вращения отражена в формуле (1), где  $L$  – длина оптоволоконна;  $c$  – скорость света [4].

$$\Delta\varphi = \frac{2 \cdot L^2}{\lambda \cdot c} \cdot \Omega. \quad (1)$$

Пара лучей попадает на детектор и интерферирует на нем. Выходной сигнал (рис. 2, б) детектора является косинусоидальной зависимостью (2).

$$Y = \cos(\Delta\varphi). \quad (2)$$

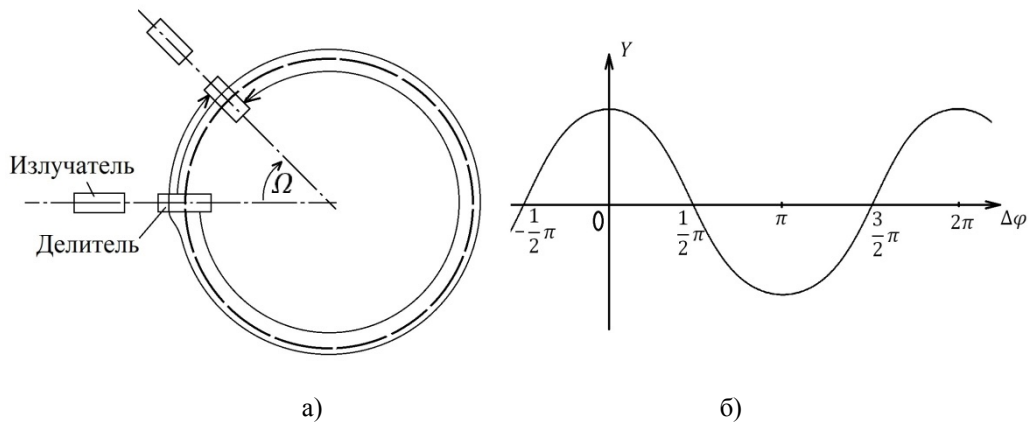


Рис. 2. Принцип действия ВОГ:

а) распространение лучей в ВОГ, б) зависимость выходного сигнала от разности фаз между лучами

Фотодетектор предназначен для преобразования оптического сигнала в электрический, который затем усиливается и обрабатывается в электронных схемах. К фотодетекторам предъявляются следующие требования: высокая чувствительность в рабочем диапазоне, минимальные шумы, высокие быстродействие и линейность отклика, высокую надежность. В наибольшей мере этим требованиям отвечают полупроводниковые фотодиоды и лавинные фотодиоды, которые широко используются в волоконно-оптических системах [3].

Преобразование оптического сигнала для последующей обработки в процессоре и вывода сигнала пользователю происходит в АЦП.

В настоящее время ВОГ с замкнутым контуром обратной связи всё более широко применяются в системах инерциальной навигации [5]. В ВОГ с замкнутым контуром механизм обратной связи сохраняет нулевой уровень сигнала путем компенсации фазового сдвига Саньяка дополнительным фазовым сдвигом. Величина этого дополнительного фазового сдвига позволяет получить информацию об угловой скорости вращения объекта.

Важнейшими преимуществами ВОГ являются:

- Малая потребляемая мощность
- Надежность. Он не содержит движущихся частей, в отличие от различных типов механических гироскопов.
- Широкий динамический диапазон. Последние разработки позволили расширить диапазон измерения угловых скоростей до  $550^{\circ}/с$ . [6]

Также благодаря развитию волоконно-оптической техники стоимость ВОГ постепенно снижается.

Однако ВОГ обладает одним недостатком, когда ВОГ находится в покое, выходной сигнал является случайной величиной, вследствие наличия белого шума. Шум фотонов является главным источником белого шума и ограничивает фундаментальную точность ВОГ. Шум прибора тем меньше, чем больше выходная мощность источника света и чем меньше потери оптических элементов. Поэтому, при разработке ВОГ основные усилия были направлены на уменьшение оптических потерь в каждом из элементов [7].

При нормальных условиях эксплуатации доступная конкурентная цена дает этим гироскопам определенное преимущество. Однако космическое пространство является более суровой средой, чем земная атмосфера. Остаются малоизученными вопросы влияния радиации, высоких температур и перепадов давления на показания ВОГ.

В ходе исследований был патентный поиск по теме ВОГ. Было найдено более 1000 результатов. Для поиска патентной информации использовались патентные базы данных как российские, так и зарубежные. Ретроспективность обзора информации составляет 34 лет. Стоит отметить, что большинство патентов были заявлены в последние 10 лет и до сих пор действуют. Наибольшее количество исследований в данной области приходится на Китай, США, Японию, Южную Корею и Россию. На основании проведенного патентного поиска можно отметить следующее: в настоящее время в данной тематике работы ведутся активно, что характеризует тему как актуальную.

На решение указанных выше проблем направлены следующие действующие патенты [8–11].

В патенте [8] авторы предлагают активный антирадиационный способ конструирования ВОГ с замкнутым контуром обратной связи. При использовании этого метода, не требуется вводить дополнительных элементов в конструкцию ВОГ.

При изменении температуры ВОГ, меняются свойства компонентов, входящих в его состав. Авторы следующего патента [9] нашли способ проверки и компенсации температурного коэффициента ВОГ. Данный метод подходит для разных моделей гироскопов с разными точностными характеристиками. В данном патенте [10] изобретатели описывают способ управления температурой оптических элементов в ВОГ. Это обеспечивает равномерное распределение температуры в катушке оптического волокна, предотвращает смещение нуля, и позволяет достичь требований к производительности высокоточных волоконно-оптических гироскопов.

Производительность ВОГ постоянно совершенствуется и в настоящее время способна удовлетворить самые точные требования к гироскопам. На данный момент ВОГ широко применяются в инерциальных навигационных системах средней точности в самолетах и ракетах.

В изобретении [11] ученые раскрывают способ уменьшения погрешности основанной на ВОГ инерциальной навигационной системы, вращающейся относительно геоцентрической системы.

В 2014 был запущен космический аппарат «Луч», с установленным на его борту трехосным ВОГ «ВОБИС» российской компании «Оптолинк». Приборы ВОБИС предназначены для использования в системе ориентации и стабилизации космического аппарата на высокой орбите в течение 15 лет эксплуатации в условиях космического вакуума. Погрешность данного гироскопа не превышает 500 ppm [12].

ВОГ с улучшенными точностными характеристиками может составить конкуренцию гироскопам с электростатическими и магнитными подвесами, которые на данный момент являются наиболее применяемыми в космической технике. В перспективе, на основе ВОГ можно будет строить бесплатформенные инерциальные навигационные системы для летательных аппаратов, которые не будут уступать по характеристикам действующим аналогам, но будут стоить на порядок дешевле [13].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vali V., Shorthill R.W. Fiber ring interferometer, Appl. Opt. 15 (1976) 1099–1100.
2. Серебрякова В.С. Оптимизация параметров изготовления интегрально-оптических элементов для волоконно-оптических гироскопов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2008. – № 49. – С. 42–53.
3. Бутусов М.М., Галкин С.Л., Оробинский С.П. Волоконная оптика и приборостроение. – Л.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

4. Андропова И.А., Малыкин Г.Б. Физические проблемы волоконной гироскопии на основе эффекта Саньяка // Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172. – № 8. – С. 849–873.
5. Lefevre H. The Fiber -Optic Gyroscope, Artech House, 1993.
6. Коркишко Ю.Н., Федоров В.А., Прилуцкий В.Е., Пономарев В.Г., Морев И.В., Обухович Д.В., Прилуцкий С.В., Кострицкий С.М., Федоров И.В., Зуев А.И., Варнаков В.К. Прецизионный волоконно-оптический гироскоп с расширенным диапазоном измерения угловых скоростей // Инерциальные системы и датчики. – 2014. – С.183–190.
7. Коркишко Ю.Н., Федоров В.А., Прилуцкий В.Е., Пономарев В.Г., Морев И.В., Марчук В.Г., Кострицкий С.М. Падерин Е.М. Интерферометрические волоконно-оптические гироскопы // Фотон-Экспресс. – 2007. – № 6 (62). – С. 47–49.
8. Патент Китай CN20161363356 20160527, 26.10.2016. Active anti-radiation design method of interference type digital closed-loop fiber-optic gyroscope/ Jin Jing.
9. Патент Китай CN20161623262 20160728, 12.10.2016. Method for testing and compensating temperature coefficient of fiber-optic gyroscope/ Yang Zhihui.
10. Патент Китай CN20151890482 20151207, 16.03.2016. Method for controlling temperature of photoelectric separate fiber optic gyroscope optical path / Huang Xinyan.
11. Патент Китай CN2013106106 20130108 08.05.2013. Error restraining method for fiber-optic gyroscope strapdown inertial navigation system rotating relative to geocentric inertial system / Sun Feng.
12. Коркишко Ю. Н., Федоров В. А., Прилуцкий В. Е., Пономарев В. Г., Морев И. В., Скрипников С.Ф., Хмелевская М.И., Буравлев А.С., Кострицкий С.М., Зуев А.И., Варнаков В.К. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы на основе волоконно-оптических гироскопов // Инерциальные системы и датчики. – 2013. – С. 75–82.
13. Song Y., Zhou S., Lu Z., Fiber optic gyroscope for strap-down inertial navigation systems // Proc. SPIE 4540, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites V, 424 (December 12, 2001) – С. 424–428.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМУЩАЮЩИХ МОМЕНТОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Хайдукова В.М.<sup>1</sup>, Бритова Ю.А.<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: Бритова Ю.А., ассистент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

<sup>2</sup>АО «Научно-производственный центр «Полус»

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

E-mail: vmh1@mail.ru

**DETERMINATION OF DISTURBING MOMENT OF MAIN PARTS OF SMALL SPACECRAFTS**

Khaydukova V.M.<sup>1</sup>, Britova Yu.A.<sup>1,2</sup>

Scientific Supervisor: Assistant lecturer, PhD, Britova Yu.A.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

<sup>2</sup>JSC «Scientific & Industrial Centre «Polyus»

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

E-mail: vmh1@mail.ru

*Динамическая точность малых космических аппаратов (МКА) с аппаратурой дистанционного зондирования Земли существенно зависит от уровня силовых и моментных возмущений, действующих со стороны работающих бортовых электромеханических устройств – инерционных исполнительных органов*

систем ориентации на базе двигателей-маховиков. С целью минимизации виброактивности и измерения возмущающих сил и моментов, обусловленных остаточным дисбалансом вращающегося ротора-маховика двигателей-маховиков, в АО «НПЦ «Полюс» был разработан силоизмерительный стенд для контроля сил и моментов [1].

*The dynamic accuracy of remote sensing small spacecraft essentially depends on the level of force and moment perturbations. Perturbations are caused by an on-board electric motor driver rotor used primarily for spacecraft altitude control, particularly, by a rotating flywheel residual unbalance. With a view to measure these perturbations and reduce vibrational activity, JSC «SIC «Polyus» designers have developed a force and moment control test bench.*

Снижение уровня вибрационного воздействия от работающих на борту МКА электромеханических приводных устройств, в том числе двигателей-маховиков (ДМ), содержащих вращающиеся части, является актуальной технической задачей, обусловленной ужесточением ограничений, вводимых предприятиями – разработчиками МКА.

Минимизация виброактивности, под которой понимаются механические воздействия в виде сил и моментов, требует проведения как комплексных теоретических исследований на проектном этапе, включая компьютерное моделирование и инженерный анализ конструкции, так и экспериментальных измерений, направленных на изучение характера и уровня вибраций, создаваемых в процессе работы прибора, на выяснение неизбежных отличий реальной конструкции от «идеальной» модели с целью уточнения и совершенствования первой [2].

Внедрение технологии разработки МКА поддерживается сегодня современными тенденциями развития науки и техники, такими как миниатюризация электроники, переход к цифровым технологиям в управлении, прогресс в создании конструктивных материалов и в целом ряде других технических решений.

При проектировании МКА разработчик сталкивается с задачей обеспечения виброустойчивости размещенной на борту точной чувствительной аппаратуры от динамических нагрузок, действующих, в основном, от системы управления движением МКА.

Система управления движением МКА выполняет следующие задачи:

- обеспечение заданной траектории корпуса МКА в какой-либо из заданных систем координат на заданном интервале времени, т. е. управление движением вокруг центра масс МКА (система ориентации);
- обеспечение заданной траектории движения МКА в инерциальном пространстве для решения поставленных задач, т. е. управление движением самого центра масс (система навигации).

Система ориентации МКА имеет структуру, совпадающую со структурой любой автоматической системы управления (рис. 1).

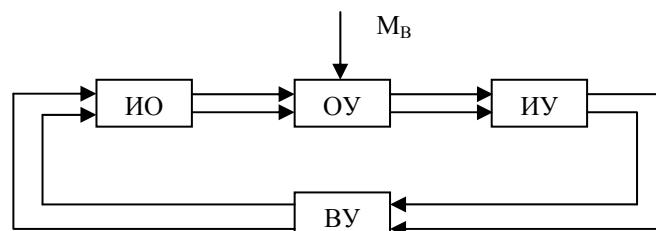


Рис. 1. Структурная схема системы управления МКА

ОУ – объект управления; ИУ – измерительное устройство; ВУ – вычислительное устройство;

ИО – исполнительный орган;  $M_B$  – возмущающий момент

ОУ – собственно сам МКА, движение которого описывается в первом приближении (без учета упругих элементов – антенных устройств и панелей солнечных батарей) тремя динамическими и тремя кинематическими уравнениями Эйлера.

Движение МКА описывается уравнениями следующих видов:

Динамические уравнения Эйлера:

$$\begin{cases} \frac{dK_X}{dt} + \Omega_Y K_Z - \Omega_Z K_Y = M_X; \\ \frac{dK_Y}{dt} + \Omega_Z K_X - \Omega_X K_Z = M_Y; \\ \frac{dK_Z}{dt} + \Omega_X K_Y - \Omega_Y K_X = M_Z. \end{cases}$$

где  $\Omega_X, \Omega_Y, \Omega_Z$  – проекции на оси  $X, Y, Z$  угловой скорости вращения  $\bar{\Omega}$  системы координат МКА  $XYZ$  относительно неподвижной системы координат  $X_0 Y_0 Z_0$ ;

$K_X, K_Y, K_Z$  – проекции на оси  $X, Y, Z$  главного момента количества движения МКА  $\bar{K}$ ;

$M_X, M_Y, M_Z$  – моменты, действующие по осям МКА.

Кинематические уравнения Эйлера:

$$\begin{cases} \omega_X = \dot{\psi} \sin \vartheta \sin \varphi + \dot{\vartheta} \cos \varphi; \\ \omega_Y = \dot{\psi} \sin \vartheta \cos \varphi - \dot{\vartheta} \sin \varphi; \\ \omega_Z = \dot{\psi} \cos \vartheta + \dot{\varphi}. \end{cases}$$

где  $\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$  – проекции угловой скорости вращения МКА  $\bar{\omega}$  на оси системы координат  $XYZ$ ;

$\psi, \vartheta, \varphi$  – углы Эйлера,

соответственно прецессии, нутации, вращения;

$\dot{\psi}, \dot{\vartheta}, \dot{\varphi}$  – скорости изменения углов Эйлера.

Задача ИО – обеспечить совмещение системы координат  $XYZ$  заданных осей, жестко связанных с МКА, с системой координат  $X_0 Y_0 Z_0$  осей ориентации.

ИУ служат для измерения отклонения связанной с корпусом МКА системы координат  $XYZ$  от системы координат  $X_0 Y_0 Z_0$ .

Посредством ВУ определяются необходимые углы коррекции МКА. Положение МКА корректируется посредством ИО.

Одним из наиболее часто используемых ИО системы управления движением МКА являются одностепенные гиросtabilизаторы или, так называемые, двигатели-маховики (ДМ). Одним из основных разработчиков и изготовителей ДМ для МКА является АО «НПЦ «Полус» в г. Томск.

ДМ обладает одной степенью свободы, связанной с осью его вращения вокруг оси симметрии. Сама ось относительно корпуса МКА неподвижна. Такое устройство называют управляющим двигателем-маховиком (рис. 2).

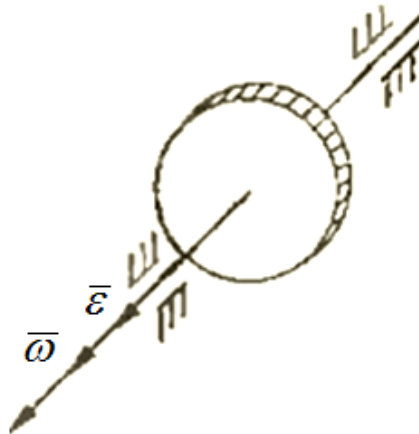


Рис. 2. Кинематическая схема ДМ

Управляющий момент ДМ определяется равенством:

$$\bar{M}_{\text{упр}} = \frac{d\bar{H}}{dt} = J\dot{\bar{\omega}} = J\bar{\varepsilon},$$

где  $J$  – момент инерции ДМ;

$\bar{\omega}$  – его угловая скорость;

$\bar{\varepsilon}$  – его угловое ускорение.

Изменение его кинетического момента  $H = J\omega$  возможно только путем изменения числа оборотов. ДМ разрабатывают часто реверсивными, чтобы иметь возможность создавать моменты как одного, так и противоположного знака.

Для управления МКА по трем ортогональным осям необходимо на борту МКА установить три ДМ, оси которых направлены по осям связанной с корпусом МКА системы координат (рис. 3).

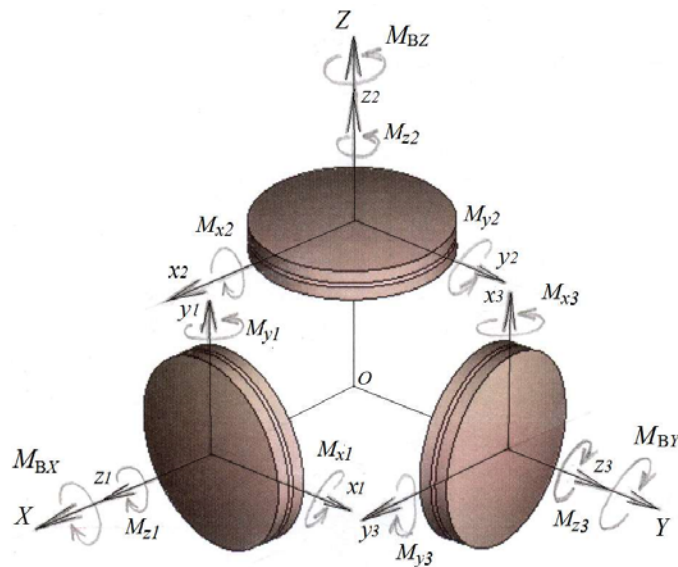


Рис. 3. Расположение ДМ для трехосного управления МКА

В реальных условиях эксплуатации ДМ создают вибровозмущающие силы и моменты сил, воздействующие по трем ортогональным осям как на платформу МКА, так и на другие технические устройства и механизмы, находящиеся на борту МКА, что является потенциально проблемным или критичным фактором.

При этом возмущающие моменты, возникающие в рабочем режиме по осям каждого ДМ, суммарно создают возмущающие моменты по осям МКА (рис. 3):

$$M_{\text{вz}} = M_{x3} + M_{y1} + M_{z2};$$

$$M_{\text{вx}} = M_{x2} + M_{z1} + M_{y3};$$

$$M_{\text{вy}} = M_{x1} + M_{y2} + M_{z3}.$$

Действующие по трём ортогональным осям ДМ возмущающие моменты сил обусловлены следующими механическими причинами: остаточной неуравновешенностью ротора, наличием сил трения в опорах, упругими и температурными деформациями элементов ДМ.

При разработке ДМ технологическим процессом производства предусмотрены испытания по определения возмущающих сил и моментов, создающихся конструкцией.



В АО «НПЦ «Полус» разработан, изготовлен и введен в эксплуатацию стенд для экспериментального определения, отработки и контроля силомоментных характеристик (СМХ ДМ), имеющий высокие технические, а также программные характеристики [3].

В состав стенда входит: анализатор спектра, специализированное программное обеспечение, датчики силы, комплект прецизионных технологических приспособлений.

Стенд позволяет на этапе опытно-конструкторских работ осуществлять экспериментальную отработку СМХ ДМ различных типоразмеров, применяемых в микро-, мини-спутниках и на больших платформах МКА [3].

В процессе технологических испытаний ДМ осуществляется контроль основных динамических характеристик с целью проверки их соответствия нормированным характеристикам и техническому заданию. Посредством стенда возможно определение следующих характеристик:

– амплитудно-частотную характеристику возмущающих сил и моментов сил, действующих по осям ДМ в рабочем диапазоне скоростей вращения;

– значений статического и динамического дисбалансов.

В зависимости от собственных частот ( $f_{\text{ниж}}$  и  $f_{\text{верх}}$ ) и уровня шумов фундамента, а также свободно конфигурируемых типов входных устройств, характеристики стенда СМХ могут быть значительно расширены в области низких частот и нижнего предела измерения [3].

Методика, реализованная в программном обеспечении стенда, позволяет получать объективные данные о значениях возмущающих моментов, генерируемых ДМ, а также с их помощью определять значения статического и динамического дисбалансов вращающихся частей ДМ. Внедрение экспериментального контроля возмущающих моментов создает предпосылки для повышения точности балансировки на этапе изготовления и совершенствования разрабатываемых приборов. Это делает силоизмерительный стенд эффективным инструментом, необходимым при создании электродвигателей-маховиков с минимальной виброактивностью [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисова А.А., Тверяков О.В., Бритова Ю.А. Разработка методики определения возмущающих моментов управляемых двигателей-маховиков на силоизмерительном стенде // Вестник СибГАУ. – 2014. – № 1(53). – С. 124.
2. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. В 2 т. – СПб.: Лань, 2004. – 736 с.
3. Андросов В.Я., Бритова Ю.А., Лянзбург В.П., Плотников А.В., Тверяков О.В. Стенд для экспериментальной отработки силомоментных характеристик электромеханических исполнительных органов // Космонавтика и ракетостроение. – 2015. – № 4 (83). – С. 148.

**РАЗВИТИЕ СИЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ  
ДЛЯ КОМПЛЕКСОВ АВТОМАТИКИ И СТАБИЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Щербаков Е.С.<sup>1</sup>, Киселева Е.И.<sup>1</sup>, Лейман В.В.<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

<sup>2</sup>АО «Научно-производственный центр «Полюс»

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

E-mail: ess34@tpu.ru

**DEVELOPMENT OF POWER CONVERSION DEVICES FOR COMPLEXES OF AUTOMATION  
AND STABILIZATION OF ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEMS FOR SPACECRAFT**

Shcherbakov E.S.<sup>1</sup>, Kiseleva E.I.<sup>1</sup>, Leiman V.V.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Mikhailov M.V.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

<sup>2</sup>JSC «Scientific & Industrial Centre «Polyus»

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

E-mail: ess34@tpu.ru

*В статье рассматривается развитие силовых преобразовательных устройств для комплексов автоматики и стабилизации систем электропитания космических аппаратов. Приведены примеры построения различных комплексов автоматики и стабилизации. Проведен их сравнительный анализ. Определены основные современные принципы построения КАС и СЭП КА.*

*The article deals with the development of power conversion devices for automation and stabilization systems for electrical power supply systems for space vehicles. Examples of the construction of various automation and stabilization complexes are given. Their comparative analysis is carried out. The main modern principles of construction of ASC and EPS SPACECRAFT are determined.*

Одним из основных научно-технических направлений деятельности НПЦ «Полюс» является разработка, исследование, изготовление и участие в летной эксплуатации комплексов автоматики и стабилизации напряжения (КАС) для систем электропитания (СЭП) различных типов космических аппаратов (КА).

За 40-летний период коллективом НПЦ «Полюс» было создано более 30 типов КАС, которые эксплуатировались ранее и эксплуатируются сейчас в составе КА различного назначения (навигация, ДЗЗ, связь, исследование космического пространства и др.). Всего КАС разработки НПЦ «Полюс» входили и входят в состав около 200 КА.

Назначение КАС СЭП:

- обеспечение питания бортовых систем постоянным стабилизированным напряжением в установившихся и переходных режимах работы;
- обеспечение ресурса и автономной работы СЭП в течение срока активного существования КА;
- контроль параметров аккумуляторных батарей (АБ) и организация оптимальных циклов заряда-разряда АБ;
- обеспечение оптимального использования солнечных батарей (СБ);
- проведение специальных режимов функционирования СЭП (восстановление характеристик аккумуляторов, предстартовая подготовка и др.)
- контроль состояния и работоспособности СЭП с выдачей соответствующей информации в систему управления и телеметрическую систему КА.

Космическое приборостроение в НПЦ «Полюс» начало свое развитие в 1960-х гг. с разработки, исследований, изготовления и летной эксплуатации серии статических преобразователей и блоков

автоматики для космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли первого поколения и научных КА серий «Луна», «Венера» по техническим заданиям РКЦ «Прогресс» (г. Самара) и НПО им. С.А.Лавочкина (г. Химки).

Наличие в качестве первичного источника в СЭП солнечных батарей с их специфическими характеристиками (большой разброс по напряжению, наличие внутреннего сопротивления, нелинейность вольт-амперной характеристики) привело к созданию структуры СЭП с общими шинами СБ-АБ-нагрузка.

Такая система использует аккумуляторную батарею в буферном режиме, когда даже при наличии энергии со стороны СБ происходит разряд АБ на нагрузку.

Полученный опыт эксплуатации связных ИСЗ, СЭП которых были построены по традиционному в то время принципу регулирования напряжения на шинах нагрузки коммутацией источников тока, выявил необходимость поиска новых технических решений по обеспечению электроэнергией ИСЗ следующего поколения с целью увеличения ресурса и более эффективного использования энергии солнечных (СБ) и аккумуляторных батарей (АБ).

Результаты разработки и летной эксплуатации приборов первого поколения легли в основу разработанной в НПО «Полус» концепции создания СЭП на базе блочно-модульных комплексов (КАС) энергопреобразующей аппаратуры, управляющих потоками электроэнергии между источниками и потребителями с высокой степенью автономности функционирования.

Задачи повышения гибкости систем, их адаптации к орбитам, учета деградации характеристик СБ были решены в процессе создания систем с активной стабилизацией параметров СЭП.

Необходимость повышения ресурса СЭП побудила разработчиков создавать системы с индивидуальными зарядно-разрядными устройствами, что позволило, несмотря на определенные эксплуатационные неудобства, увеличить срок активного существования КА.

Силовая структура подобных систем строится по параллельным либо параллельно-последовательным схемам, которые различаются исполнением стабилизатора напряжения солнечной батареи, подключаемого либо параллельно СБ, либо последовательно с ней.

Наибольшее применение в КАС разработки НПО «Полус» получила последовательно-параллельная структура СЭП. Это позволило просто переходить на новые типы первичных источников и аккумуляторных батарей. Кроме того, эта структура обеспечивает реализацию режима экстремального регулирования мощности СБ, что в настоящее время стало практически обязательным не только в нашей стране, но и в мировой космической индустрии, а также в наземных энергетических установках на основе СБ.

В первых комплексах в качестве силовых ключей использовались биполярные транзисторы, что определило структуру построения силовой части. Выходная мощность обеспечивалась большим количеством соединенных параллельно транзисторов, имеющих общую схему управления. Для обеспечения надежности система управления (СУ) резервировалась. Имела 3 канала с мажоритарным объединением (МО).

Пример понижающего преобразователя построенного по такой схеме показан на рис. 1.

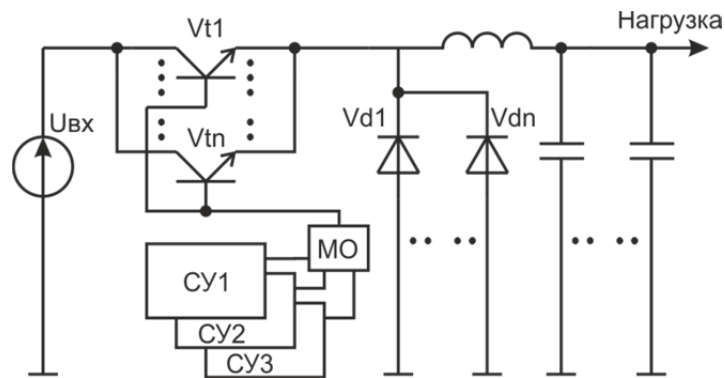


Рис. 1. Структурная схема понижающего преобразователя на биполярных транзисторах

Представителем такого комплекса является КАС-Р, который был разработан в 2004 году. Содержит блок СНА и 5 блоков ЗРУ, обеспечивающих сопряжение 5 АБ с нагрузкой. Отвод тепла с нагревающихся элементов основан на воздушном охлаждении. КАС-Р имеет следующие характеристики: максимальная выходная мощность – 9700 Вт, масса – 110 кг.

Появление современных полевых транзисторов кардинально изменило подход к построению силовых преобразующих устройств для СЭП КА. По сравнению с биполярными транзисторами, полевые транзисторы потребляют меньше энергии. Этот факт особенно актуален для приборов, работающих в условиях космоса.

Широкое распространение в КАС с полевыми транзисторами получила блочно-модульная структура построения силовых устройств (рис. 2).

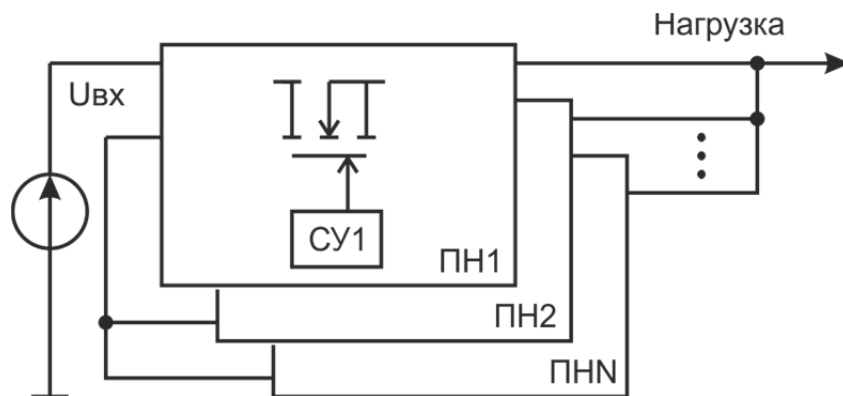


Рис. 2. Структурная схема преобразователя на полевых транзисторах

Выходная мощность обеспечивается параллельным включением функционально законченных преобразователей, каждый из которых имеет свою схему управления.

Одним из первых приборов, силовая часть которого построена на полевых транзисторах, является КАС-ЛП. Комплекс имеет воздушное охлаждение, состоит из 6 блоков (СНА и 5 ЗРУ) и конструктивно повторяет КАС-Р. КАС-ЛП имеет следующие характеристики: максимальная выходная мощность – 12000 Вт, масса – 113 кг.

В настоящий момент широкое использование получили комплексы с кондуктивным охлаждением. Кондуктивный метод охлаждения в основном использовался для систем, где невозможно, или затруднительно было организовать воздушное охлаждение. В условиях космоса существует недостаточное количество воздуха, или полное его отсутствие. Также когда высокие требования к вибро- и

удароустойчивости делают невозможным использование принудительного воздушного охлаждения внутри системы.

Одним из комплексов, где впервые использовалось кондуктивное охлаждение, является КАС-Б. В качестве силового регулятора – полевые транзисторы. Блочно-модульное построение СЭП. КАС обладает следующими характеристиками: максимальная выходная мощность – 7100 Вт, масса – 50 кг.

Таким образом, на настоящий момент наиболее широкое применение в разработках НПЦ «Полус» получили КАС с кондуктивным теплоотводом. Это, а так же использование в качестве силовых регулирующих элементов полевых транзисторов позволило значительно повысить масса-энергетические характеристики СЭП в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соустин Б.П. Системы электропитания космических аппаратов. – Новосибирск, 1994. – 329 с.
2. Источники электропитания РЭА / под ред. Г.С.Найвельта. – М.: Радио и связь, 1986.
3. Система энергоснабжения космического аппарата. – (электронный ресурс: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Система\\_энергоснабжения\\_космического\\_аппарата](https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_энергоснабжения_космического_аппарата)). Дата обращения 25.01.2017.
4. Комплексы автоматики и стабилизации систем электроснабжения космических аппаратов – (Электронный ресурс: <http://polus.tomsknet.ru/?id=212>). Дата обращения 15.02.2017.

---

## СЕКЦИЯ № 2

### CAD, CAE, CAM И PLM СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

---

#### ДОЛГОСРОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ахунова Е.В.<sup>1,2</sup>, Коблов Н.Н.<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: Бориков В.Н., профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup>Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полюс»  
634050, Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в»  
E-mail: info@polus-tomsk.ru

#### LONG-TERM PLANNING OF INSTRUMENT-MAKING PRODUCTION

Akhunova E.V.<sup>1,2</sup>, Koblov N.N.<sup>1,2</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Borikov V.N.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634034

<sup>2</sup>JSC «Scientific & Industrial Centre «Polyus»

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

E-mail: info@polus-tomsk.ru

*Описан метод долгосрочного планирования позаказного мелкосерийного производства, характерного для наукоемких приборостроительных предприятий. Реализация метода в PLM-системе, содержащей постоянно меняющуюся конструкторскую и технологическую документацию, позволила оперативно рассчитывать длительность технологического цикла изготовления изделий.*

*The method of long-term planning of the job order small-scale production, typical for high-tech instrument-making enterprises is described. Implementation of the method in PLM-system containing a constantly changing design and technological documentation, promptly allowed to count the duration of product manufacturing process cycle.*

Перед современными научно-исследовательскими предприятиями стоит ряд проблем, связанных с постоянно растущей сложностью продукции и повышением технических требований к заказам. Методы решения таких проблем заключаются в техническом переоснащении, модернизации как производственных технологий, так и рабочих мест, внедрении новых методов организации работ. При этом резко возрастает потребность в автоматизации процессов проектирования и производства для сокращения сроков разработки, улучшения качества продукции за счет нейтрализации человеческого фактора. Основной целью модернизации производства, внедрения информационных средств поддержки его организации является повышение производительности труда и снижение издержек [1].

Для наукоемких приборостроительных предприятий, таких как НПЦ «Полюс», характерно позаказное мелкосерийное производство с его разнообразной номенклатурой и небольшим объемом выпускаемой продукции и оказываемых услуг. В этом случае объектом планирования, или основной планово-учетной единицей, является отдельный производственный заказ. Его выполнение можно разделить на ряд этапов: оформление заказа, подготовка производства и собственно изготовление изделия. Примерная технология этих работ следующая. Получив предложение по заказу, соответствующее подразделение выясняет возможность его исполнения. При наличии такой возможности ставит об этом в известность заказчика и приступает к его оформлению. Процесс оформления заключается в установлении сроков выполнения, определении стоимости заказа и некоторых технических условий. Эти данные затем включаются в проект договора, представляемый на подпись заказчику [2]. После подписания договора

планово-производственный отдел предприятия выпускает директивный документ «Уведомление», в котором указываются номер и дата договора с заказчиком, номер партии, номер заказа, перечень изделий и их количество, сроки изготовления, подразделение-изготовитель, а также требования к изделию.

Эти данные являются исходными параметрами для производственного планирования. Цепным методом (обратно ходу технологического процесса), начиная с установления срока сдачи объекта заказчику (рис. 1), составляется укрупненный план-график «Оперативный план».



Рис. 1. Схема формирования оперативного плана:

КД – конструкторская документация;

ТД – технологическая документация;

Кол. изд. план. – планируемое количество изделий;

Кол. неизг. изд. – количество неизготовленных изделий

Для сборочных цехов планируемая дата окончания сборки изделия является планируемой датой выпуска изделия. Для подготовительных цехов дата окончания работ рассчитывается путем вычитания максимального времени сборки изделия от планируемой даты выпуска изделия. Планируемое количество изделий указывается в колонке «Кол. изд. план». Максимальное время сборки изделия определяется различными путями в зависимости от состояния готовности конструкторской и технологической документации (рис. 2). Если документация не готова, то время сборки получают эмпирическим путем. Иначе, имея состав изделия и нормированные по времени технологические процессы изготовления каждой детали и сборочной единицы, входящей в состав изделия, вычисляют максимальное время сборки  $T_{max\ cб}$  как суммарное время  $T_{сб}$ , затрачиваемое на все сборочные операции. По мере изготовления данные в оперативном плане меняются.

Документом «Уведомление» оповещаются все подразделения предприятия о запуске изделия в производство. Конструкторские и технологические отделы готовят документацию, после этого обеспечивается запас необходимых материалов и оснастки для оборудования. По завершении этапов проектирования и подготовки производства приступают к изготовлению изделий. На основании уведомления создается документ «План выпуска изделия», содержащий древовидную структуру

запускаемых изделий с ведомостью распределения по цехам, которая формируется автоматически по данным технологических процессов. Кроме того, в плане выпуска изделия содержится сводная ведомость, полученная по данным древовидной структуры запускаемых изделий [3]. На основании плановых данных создается документ «Маршрутный лист» для каждой детали, сборочной единицы, в табличной части которого автоматически заполняется перечень последовательных операций с указанием цеха и участка. В процессе изготовления детали в маршрутном листе делаются отметки об исполнителе операции, времени ее начала и окончания. По мере завершения всех операций в цехе уменьшается количество неизготовленных изделий и в оперативном плане.

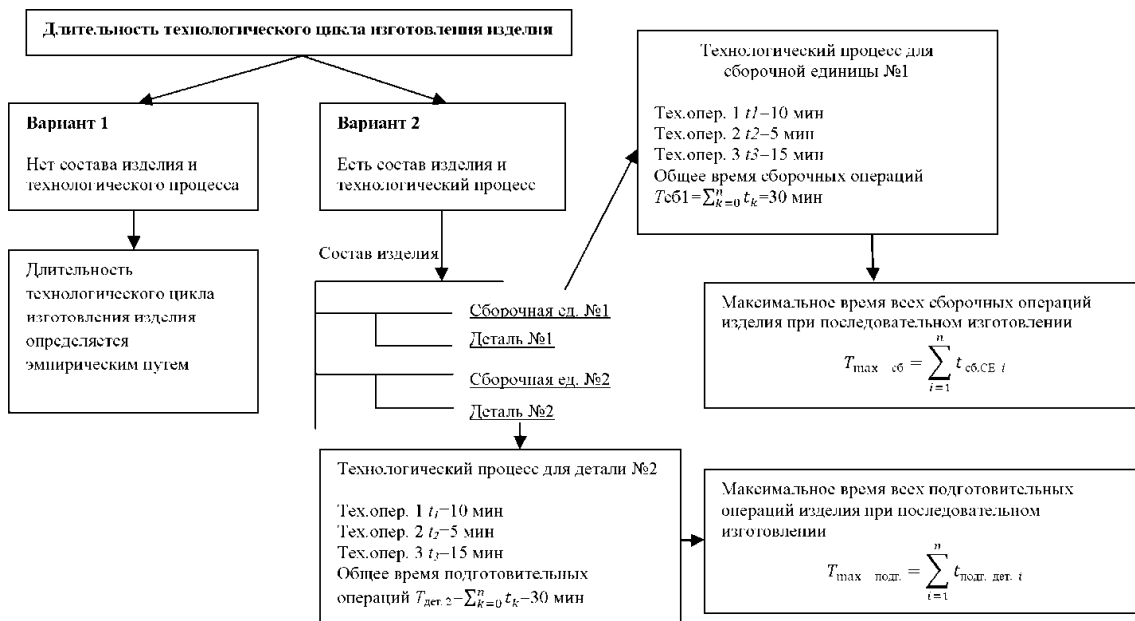


Рис. 2. Алгоритм вычисления длительности технологического цикла изготовления изделия:

СЕ – сборочная единица

После сборки изделия сборочный цех создает документ «Накладная на сдачу готовых изделий» и передает готовое изделие на склад готовых изделий. Этот документ уменьшает количество изделий к изготовлению для сборочных цехов в оперативном плане.

Таким образом, предложенный метод долгосрочного планирования позволяет оперативно получать данные о плановых и фактических показателях производства и способствует переходу от ручного составления отчетности к автоматическому, то есть к безбумажной технологии, что значительно сокращает время планирования и диспетчеризации. Дальнейшее развитие методики состоит в развитии объемного оперативно-календарного планирования с учетом загрузки оборудования. Данная технология в настоящее время проходит опробование в НПЦ «Полюс».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационная поддержка организации производства изделий радиоэлектронной аппаратуры на предприятии ОАО «НПП «Радиосвязь» / Р.Г. Галлеев [и др.] // Журнал Сиб. фед. ун-та. – 2014. – № 7. – С. 758–766.



2. Методы календарного планирования производства. – (Электронный ресурс:<http://www.economic-s.ru/index.php/theory/operativnoe-planirovanie-opp/metodyi-kalendarnogo-planirovaniya-pr>). Дата обращения 15.02.2017).
3. Ахунова Е.В., Коблов Н.Н. Диспетчеризация процессов на приборостроительном предприятии // Инженерия для освоения космоса: сб. науч. тр. IV Всерос. форума с междунар. участием. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2016. – С. 172–175.

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Баглаева Е.А.<sup>1</sup>, Цапко С.Г.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Цапко С.Г., профессор, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: eab14@tpu.ru

## **PDM SYSTEM FOR SPACECRAFT ON-BOARD SOFTWARE**

Baglaeva E.A.<sup>1</sup>, Tsapko S.G.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Prof., PhD, Tsapko S.G.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: eab14@tpu.ru

*В данной статье рассматриваются ключевые вопросы, касающиеся необходимости внедрения и использования PDM-системы в контексте управления жизненным циклом космических аппаратов. Проанализированы характерные особенности проектирования бортового программного обеспечения и их влияние на функциональные и нефункциональные требования к PDM-системе. В результате исследования приводятся характеристики PDM-системы САПР БПО, разработанной с учетом заявленных в статье вопросов.*

*This article discusses the key issues related to the need of implementing and using the PDM-system in the context of spacecraft life cycle management. We analyzed the characteristics of the onboard software design and its impact on the functional and non-functional requirements for the PDM-system. The study summarizes with the characteristics of the PDM-system, named SAPR BPO, which was developed to meet the issues stated in this paper.*

Современные методики проектирования бортового программного обеспечения (БПО) космических аппаратов (КА) нуждаются в автоматизированной поддержке, позволяющей преодолеть наиболее распространенные трудности, с которыми сталкивается проектант на всех этапах жизненного цикла программного обеспечения.

Среди наиболее актуальных возникающих проблем при проектировании БПО можно выделить: непонимание между специалистами по бортовым системам, проектантами, программистами; большой объем программной документации, требующий актуализации; противоречивость требований к программному обеспечению.

Для задач проектирования БПО характерны следующие особенности: большое число программных компонент, многоверсионность однотипных изделий, долгий срок эксплуатации, штучное производство изделий, сложная сборка изделий.

Большое число программных компонент обусловлено тем, что бортовой комплекс управления космическим аппаратом (БКУ КА) в общих чертах содержит следующие типы систем: бортовая вычислительная система, система управления движением и навигацией, система управления бортовой аппаратурой, бортовая аппаратура служебного канала управления, система бортовых измерений,

программное обеспечение бортового комплекса управления [1]. Каждая из перечисленных систем состоит из программных компонентов, их слаженное взаимодействие которых гарантирует надежность и длительный срок бесперебойной эксплуатации космического аппарата.

Поскольку срок проектирования бортовых приборов и систем может занимать до 3–5 лет, причем в первые годы эксплуатации КА нередко возникают доработки и вносятся изменения, возникает проблема отслеживания новых версий одного изделия. Использование единого хранилища технологической и конструкторской информации позволит управлять историей изменения версий однотипных изделий.

В течение всего длительного срока эксплуатации КА (порядка 10 лет) существует необходимость хранить достоверную информацию о выпущенном изделии с учётом того, что за время опытной эксплуатации изделия будут созданы новые версии данного изделия, что подразумевает значительный рост объемов хранимой информации, к которому должна быть подготовлена PDM-система.

Штучное производство изделий обусловлено тем, что космические аппараты проектируются и изготавливаются по индивидуальным проектам – это приводит к низкой связанности экземпляров изделий между собой, за исключением разных версий одного изделия.

Сложная сборка и большое число составных элементов изделия (как программных систем, так и физических модулей) требуют чёткого и структурированного подхода к хранению, внесению изменений и их отслеживанию, приспособленного под нужды проектанта.

Система автоматизированного проектирования бортового программного обеспечения (САПР БПО) реализована согласно концепциям PDM-систем и обеспечивает функционал управления конструкторской и технологической информацией об изделии, управления документами для автоматизации построения актуальной, точной и полной программной документации [2].

Для реализации САПР БПО была выбрана трёхзвенная архитектура, согласно которой в системе выделяются три следующих компонента: клиентское приложение, сервер приложений и сервер базы данных, к которому за информацией обо всех объектах системы обращается сервер приложений. Клиентское приложение разработано на платформе .NET и использованием технологии WPF для графического интерфейса. Сервер приложений представляет собой набор WCF сервисов платформы .NET и реализует основную часть бизнес-логики. Сервер базы данных отвечает за хранение данных (в том числе их изменение и возможное восстановление) и представляет собой реляционную СУБД Microsoft SQL Server 2014.



*Рис. 1. Архитектура компонентов САПР БПО*

Для данного типа архитектуры существуют следующие преимущества и ограничения в данной ситуации: масштабируемость (управление числом подключённых пользователей); конфигурируемость (изолированность компонентов друг от друга, упрощающая развертывание системы); безопасность (исключён прямой доступ пользователя к базе данных, действия пользователя координируются с сервером приложений, что позволяет избежать возникновения по вине пользователя ошибок целостности данных);

отказоустойчивость (возможно отдельное резервирование как базы данных, так и состояния сервера базы данных); невысокие требования к производительности клиентских машин; невозможность работы клиентского приложения без наличия соединения с сервером приложений.

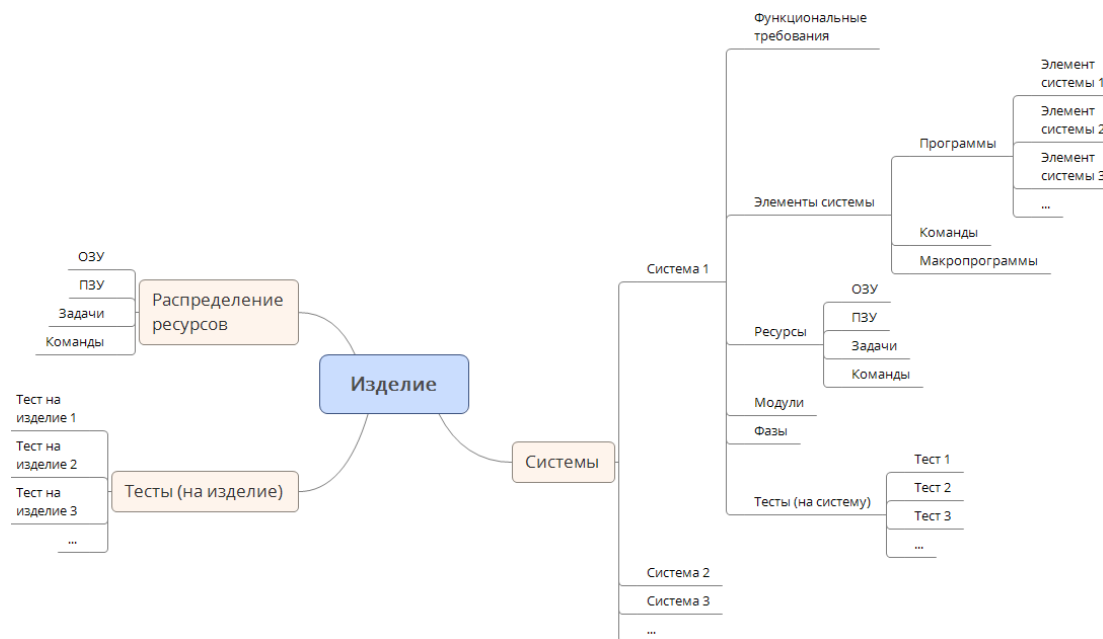


Рис. 2. Иерархия объектов в САПР БПО

Функционал САПР БПО как PDM-системы затрагивает вопросы управления технологической информацией об изделиях, формирования документации и решения задач, возникающих в ходе проектирования и многоэтапной доработки бортового программного обеспечения, без привязки к планированию потоков работ и процессов.

Основные возможности САПР БПО в контексте управление информацией об изделиях содержат: управление информацией о системах (включая функциональные требования, программы, ресурсы, модули, фазы и тесты на изделие), мониторинг распределения ресурсов (включая ОЗУ, ПЗУ, задачи и команды), управление тестами на изделие, автоматизированная генерация документации об изделии.

Дополнительные возможности САПР БПО включают в себя управление функциональными требованиям и управление тестами, с помощью которых достигается формализация тестирования и верификации бортового программного обеспечения с обеспечением требуемой полноты покрытия.

Областью применения САПР БПО является отрасль проектирования космических аппаратов, управления их жизненным циклом. Данные, накопленные внутри САПР БПО, могут применяться во внешних системах, к примеру, для расчёта показателей надёжности и для помощи в выявлении возможных видов отказов элементов аппаратуры, причин, механизмов, условий возникновения и развития [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микрин Е.А. и др. Принципы построения бортовых комплексов управления автоматических космических аппаратов // Проблемы управления. – 2004. – № 3. – С. 62–66.

2. Беспалов В., Клишин В., Краюшкин В. Развитие систем PDM: вчера, сегодня, завтра... Что такое система PDM сегодня: состав и функциональность. // САПР и графика – (Электронный ресурс: <http://sapr.ru/article/8257>). Дата обращения 09.03.2017.
3. Ларин В.П., Шелест Д.К. Формирование информационного обеспечения надежности бортовой аппаратуры на стадии проектирования // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 4 (59). – С. 93–97.

## **КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПАССИВНОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Дамдинов Б.О.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: damdinov.94@mail.ru

## **CONSTRUCTION AND WORKING PRINCIPLE OF THE PASSIVE GRAVITY-GRADIENT STABILIZATION FOR SMALL SPACECRAFT**

Damdinov B.O.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Kostyuchenko T.G.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: damdinov.94@mail.ru

*Рассматриваются пассивные системы ориентации, требующие точного предварительного анализа динамики. В качестве самой оптимальной пассивной системой ориентации взята гравитационная система ориентации. Описан принцип действия такой системы ориентации и предварительная компоновка спутника с этой системой.*

*The passive navigation systems considered demanding the exact preliminary analysis of dynamics. As the most optimum passive navigation system the gravitational navigation system is taken. The principle of orientation of this navigation system and preliminary configuration of the satellite with this system is described.*

В Томском политехническом университете на кафедре точного приборостроения проектируется малый спутник, относящийся к классу микроспутников (массой менее 100 кг).

Одной из главных задач, в которой необходимо находить решение в течение всего использования в космосе искусственных космических аппаратов, является обеспечение их определенного заданного углового движения. Космическому аппарату задается определенное угловое движение относительно заданных ориентиров поворотом вокруг центра масс. В качестве таких ориентиров используют видимые небесные и наземные объекты (такие как звёзды, Солнце, линия горизонта) или направления в пространстве (такие как вектор напряжённости геомагнитного поля, вектор скорости набегающего потока воздуха), которые возможно измерить приборами. При этом космический аппарат, к примеру, нижней частью корпуса, на котором закреплены антенна направленного действия и видеочасть, в течение всего использования должен быть направлен на центр Земли.

Проектируемый микроспутник имеет характеристики, указанные в табл. 1.

Таблица 1. Основные эксплуатационные характеристики МКА

Характеристика	Значение
Масса МКА, кг	30
Габариты МКА	400x400x400
Система ориентации	пассивная
Исполнительный орган	Электромеханический исполнительный орган на базе двигателя маховика
Тип ориентации	3-х осный

Масса является одной из важнейших характеристик для малого спутника. Для уменьшения массы силовая конструкция малого спутника имеет форму куба, которая состоит из платформы и стоек (рис. 1). Стойки крепятся к платформе с помощью сварки. Платформа имеет монтажные отверстия по всей длине стоек для облегчения веса конструкции, а также придания ей универсальности, т. е. создания и наращивания различных модулей полезной и служебной нагрузок при необходимости.

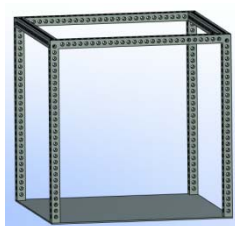


Рис. 1. Силовая конструкция малого спутника

Для ориентации в пространстве искусственного спутника Земли используются два типа систем ориентации: пассивная и активная. Поскольку к малым космическим аппаратам предъявляются достаточно жесткие требования к массе и компактности, то использование на них активной системы стабилизации приводит к значительному увеличению массы конструкции и габаритов самого спутника, а так же спутник придется оснащать дополнительными источниками энергии. Пассивные методы стабилизации различаются в том, что не требуют больших запасов дополнительной энергии на борту космического аппарата. В настоящее время самое широкое распространение имеют следующие пассивные системы ориентации [1]: гравитационная, аэродинамическая, давлением солнечных лучей и вращением.

Поскольку спутник имеет малые габариты, влияние на него со стороны аэродинамических сил и давления солнечных лучей мало. Стабилизация вращением так же будет иметь малый эффект для таких размеров. В большинстве случаев она применяется вместе с активными методами. Оптимально будет использовать гравитационную систему стабилизации. Гравитационная система ориентации основана на использовании гравитационного момента и ориентирует одну из осей космического аппарата по местной земной вертикали, причем одновременно с этим можно ориентировать две другие оси.

Основным элементом гравитационной системы ориентации является гравитационная штанга. В последнее время получили широкое распространение гравитационные штанги, выполненные из упругой ленты, которая трансформируется при выдвигении в трубчатую штангу. Недостатком данного типа гравитационной системы ориентации является то, что в течение эксплуатации происходит деформация штанги от неравномерного теплового нагрева солнечными лучами. Эта проблема решается тем, что для гравитационной ориентации спутника используется дополнительная упругая лента с меньшим диаметром цилиндра, чем у основной ленты. Она наматывается на барабан с внутренней стороны основной ленты совместно с ней. На рис. 2 показана гравитационная штанга ленточного типа.

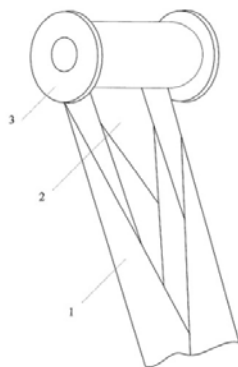


Рис. 2. Гравитационная штанга ленточного типа

1 – Основная упругая лента; 2 – Малая упругая лента; 3 – Барабан

Принцип работы устройства выглядит следующим образом. В результате предварительной термической обработки и накопленной потенциальной энергии упругости ленты 1 и 2 разматываются с барабана 3 и принимают форму цилиндра, образуя штангу. Данная гравитационная штанга будет иметь два цилиндра, расположенных соосно. Один цилиндр будет находиться внутри другого цилиндра большим диаметром. Внутренний дополнительный цилиндр будет образовываться из ленты 2, а внешний основной из ленты 1. Внутренняя штанга будет защищена внешней штангой от теплового действия солнечных лучей. Все это позволит уменьшить ее тепловой изгиб. Также такая конструкция дает достаточно высокую жесткость штанги.

Применение такого типа пассивной гравитационной системы ориентации, малозатратного, простого и надежного в эксплуатации, дает возможность уменьшить погрешности в ориентации гравитационно-стабилизированного МКА вследствие теплового изгиба штанги [2]. В отличие от гравитационной штанги телескопического типа, ленточная штанга имеет меньшую массу. Также ленточная штанга дает возможность иметь длину значительно большую, чем у гравитационной штанги телескопического типа.

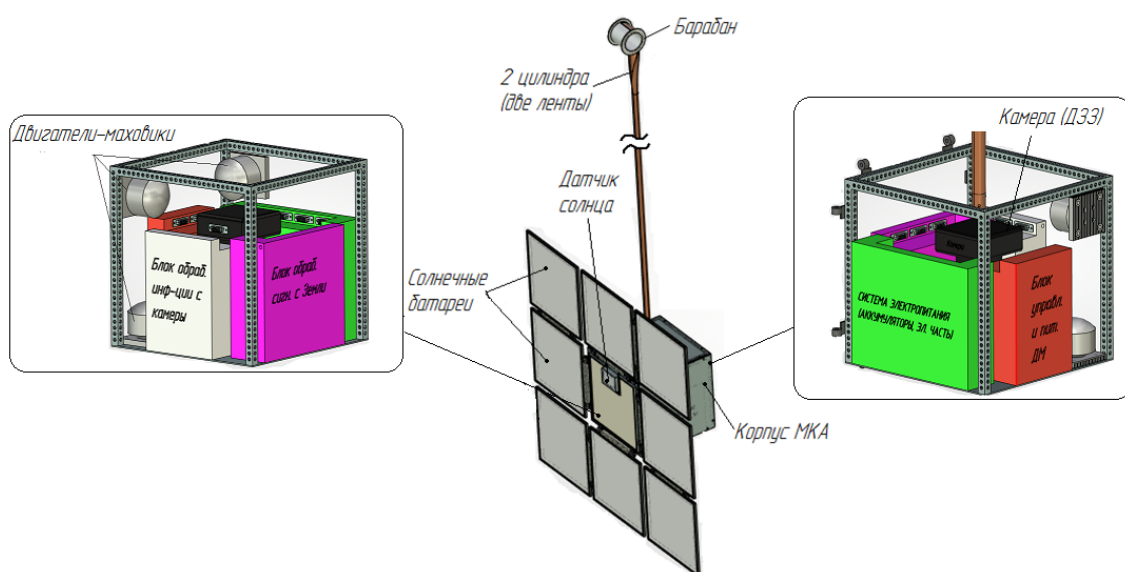


Рис. 3. Внешний вид МКА

Конструкция корпуса, в котором будут расположены все компоненты спутника, будет иметь форму куба. Габариты корпуса не превышают 400 мм (длина, ширина и высота). Солнечные батареи (СБ) имеют форму квадрата. Одна СБ будет находиться непосредственно на одной из граней корпуса МКА, остальные СБ будут расположены по краям одной из граней корпуса МКА. Датчик солнца устанавливается в центре грани, на которой будет установлена одна из СБ. Внешний вид МКА показан на рис. 3. Гравитационная штанга показана условно. Фактическая длина штанги составляет 5205 мм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раушенбах Б.В., Овчинников М.Ю. Лекции по динамике космического полета. – М.: МФТИ, 1997. – 188 с.
2. Попов В.И. Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 34–35.

#### **РАСЧЕТ ЖЕСТКОСТИ КОНСТРУКЦИИ АМОРТИЗАТОРА ДЛЯ ВЕНТИЛЯТОРОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Доржиева С.Б.<sup>1</sup>, Кухарев А.С.<sup>1</sup>

Научные руководители: Дмитриев В.С., профессор, д.т.н.; Костюченко Т.Г., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: dsuranzan@mail.ru

#### **CALCULATION OF THE SHOCK CONSTRUCTION TOUGHNESS FOR THE SPECIAL PURPOSE VENTILATORS**

Dorzheeva S.B.<sup>1</sup>, Kucharev A.S.<sup>1</sup>

Scientific Supervisors: Prof., Dr. Dmitriev V.S.; Associate Prof., PhD, Kostyuchenko T.G.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: dsuranzan@mail.ru

*Настоящая статья посвящена проводимым исследованиям жесткости конструкции амортизатора, предназначенного для установки вентилятора специального назначения с целью снижения акустической нагрузки на окружающее пространство. По результатам проведенных исследований предложена методика расчета жесткости конструкции данного устройства.*

*This article is devoted to the conducted researches of the shock absorber construction toughness. The shock absorber is intended for the installation of the special purpose ventilators in order to reduce the acoustic load on the environment. According to the results of conducted research the method of calculating the toughness of the device construction is proposed.*

В настоящее время в специализированной технике применяются малошумные вентиляторы, которые должны обладать минимальной виброактивностью. Вибрации возникают из-за внешнего воздействия на механическую систему. Такое воздействие может быть вызвано ударной нагрузкой, несбалансированными быстро движущимися частями конструкций приборов, неправильной установкой и эксплуатацией оборудования, а также внешними силовыми воздействиями. Вибрации и внештатный 15-кратный удар при неблагоприятных стечениях обстоятельств могут вызывать значительные деформации и напряжения, что влечёт за собой быстрый износ конструкции и даже частичное или полное её разрушение. Для предотвращения этого вентиляторы устанавливают на амортизаторы, позволяющие снижать вибро- и ударные перегрузки.

Целью работы являлась разработка методики расчета жесткости конструкции амортизатора АРМОО-15 на основе его 3D-модели. Конструкция амортизатора (3D модель в собранном и разобранном виде) представлена на рис. 1.



Рис. 1. 3D-модель амортизатора АРМОО-15

3D-модели элементов конструкции амортизатора созданы в САD-системе T-Flex CAD. Это современная параметрическая САD-система, имеющая в своем составе модуль T-Flex Анализ для проведения конечно-элементного анализа конструкций.

Элементы конструкции амортизатора выполнены из различных материалов. Прокладки (поз. 1, 8) и кольцо (поз. 10) выполнены из фторопласта Ф-4ПН, втулки (поз 6, 9) – из амортизационной резины по ТУ 38005924-84. Характеристики резины приведены в табл. 1. Все остальные элементы конструкции амортизатора выполнены из стали 20Х13.

Таблица 1. Характеристики резины по ТУ 38005924-84

Плотность	Прочность на разрыв	Прочность на сжатие	Предел текучести	Модуль упругости	Коэффициент Пуассона	Модуль сдвига
кг/м <sup>3</sup>	Н/м <sup>2</sup>	Н/м <sup>2</sup>	Н/м <sup>2</sup>	Н/м <sup>2</sup>		Н/м <sup>2</sup>
964	$1,6 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^6$	0,49	$2,9 \cdot 10^6$

На жесткость конструкции амортизатора в первую очередь влияют втулки (поз. 6) как основной амортизационный элемент. Поскольку в реальных условиях в зависимости от установки вентилятора специального назначения работает одна из втулок (верхняя или нижняя, поз. 6), то модель для анализа может быть упрощена. Элементы конструкции, опирающиеся на втулку, заменены «условной массой», на которую подается нагрузка. Конечно-элементная расчетная модель выглядит следующим образом (рис. 2).

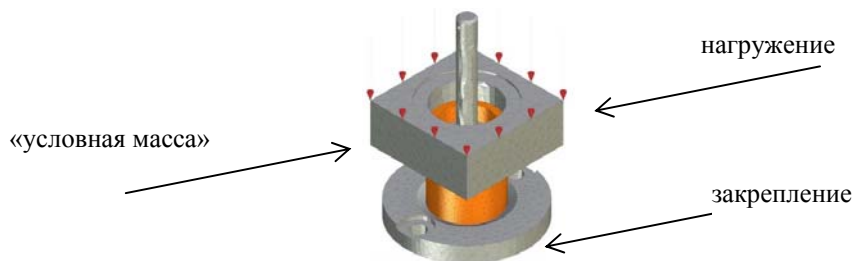


Рис. 2. Конечно-элементная расчетная модель



На рис. 3 представлены результаты статического анализа при нагрузке 1250 Н и закреплении по нижней грани основания (поз. 3) амортизатора. Нагрузка определяется требованием нормативной документации как 15-кратный вес.

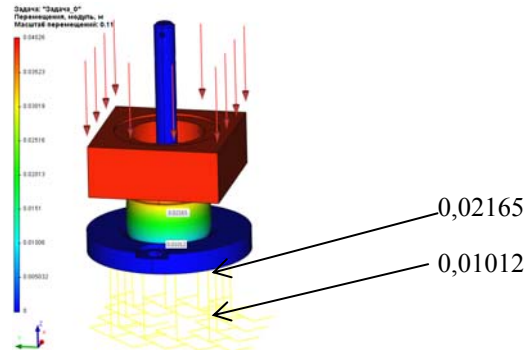


Рис. 3. Результат статического анализа амортизатора

Как видно из результата статического анализа, элементы конструкции основание (поз. 3) и «условная масса» не изменяют цвет. Втулка же (поз. 6) меняет цвет с желтого до голубого. Это говорит о разной деформации материала в разных слоях, т. е. о нелинейности характеристик материала втулки.

Величина деформации втулки, полученная в расчете, практически совпадает с величиной деформации, полученной при экспериментальном исследовании жесткости амортизатора. Среднее рассчитанное значение деформации составило 0,015885 м, а деформация, полученная экспериментальным путем при такой же нагрузке 1250 Н, лежит в диапазоне от 0,014 до 0,016 м для четырех разных амортизаторов, как можно увидеть на рис. 4.

Таким образом, предложенная методика расчета жесткости амортизатора на основе его 3D-модели с использованием модуля T-Flex Анализ адекватно отражает реальную картину, т. к. учитывает нелинейность характеристик материала и дает значения перемещений, с достаточной степенью точности приближенные к полученным экспериментальным путем, и поэтому может быть использована при проектировании подобных устройств.

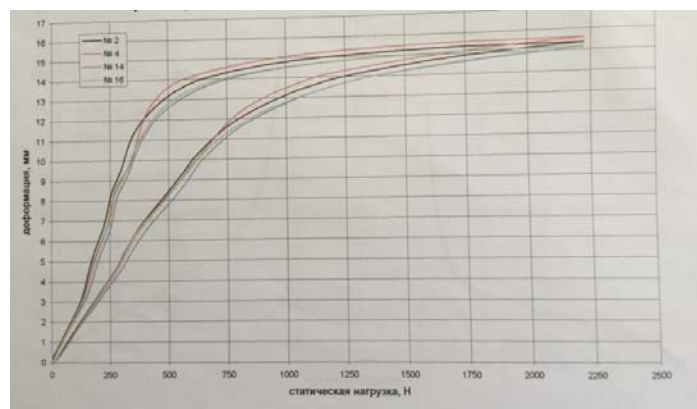


Рис. 4. График зависимости деформации от статической нагрузки, полученный экспериментальным путем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Работнов Ю.Н. Соппротивление материалов. – М.: Физматгиз, 1962. – 456 с.
2. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
3. Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вилсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.
4. Норри Д. Введение в метод конечных элементов / Д. Норри, Ж. де Фриз. – М.: Мир, 1981. – 304 с.
5. Митчелл Э. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными / Э. Митчелл, Р. Уэйт. – М.: Изд-во «Мир», 1981. – 214 с.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОМ, ЛОГИЧЕСКОМ И ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЯХ**

Дубровский Е.Ю.<sup>1</sup>, Бутин А.М.<sup>1</sup>, Добышев Е.В.<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>Акционерное общество «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнева»  
662972, Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Ленина, 52  
E-mail: evgenij.dubrovskij@gmail.com

**CABLE NETWORK DESIGN OF SPACECRAFT WITH REQUIREMENTS TO FUNCTIONAL, LOGICAL AND PHISICAL LEVELS**

Dubrovsky E.Y.<sup>1</sup>, Butin A.M.<sup>1</sup>, Dobyshev E.V.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: PhD, Suntsov S.B.

<sup>1</sup>JSC Academician M.F. Reshetnev Information satellite systems  
Russia, Krasnoyarsk region, Zheleznogorsk, Lenin str., 52, 662972  
E-mail: evgenij.dubrovskij@gmail.com

*В статье представлена проблематика современной технологии проектирования бортовой кабельной сети космического аппарата, представлена новая перспективная технология проектирования бортовой кабельной сети космического аппарата с учетом требований на функциональном, логическом и физическом уровнях проектирования. Приведено краткое описание перспективной технологии и требований, предъявляемых к информационной системе. Описаны уровни в новой технологии проектирования. Показано, что предлагаемый способ проектирования бортовой кабельной сети является более перспективным. Приведены ожидаемые результаты от успешного внедрения новой технологии проектирования бортовой кабельной сети.*

*Authors presents of problems modern technologies of design onboard cable network spacecraft, they presents new promising technology design onboard cable network spacecraft with the requirements to functional, logical and physical levels of design. Brief description of future technologies and requirements for the information system. Described what the levels of design in new design technologies and provides their description. It is shown that the proposed method for the design of onboard cable network is more promising. Also given the expected results from successful implementation of new design technologies.*

Разработка сложных технических изделий, таких как космический аппарат (КА) – задача весьма трудоемкая, требующая слаженной работы большого количества квалифицированных специалистов. Постоянное повышение требований, предъявляемых к КА (увеличение срока эксплуатации, уменьшение массы, увеличение напряжение электропитания), приводит к усложнению требований и к составным элементам КА, в том числе и бортовой кабельной сети (БКС). Требования являются отправной точкой процесса проектирования любого изделия, в том числе и БКС КА, и учет требований при разработке изделия является одной из важнейших задач, требующей серьезного контроля. На сегодняшний день в акционерном обществе «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнева» (АО «ИСС») активно проводятся работы по внедрению технологии учета требований для проектирования БКС на

функциональном, логическом и физическом уровнях, потому что в исходных данных к проектируемому изделию, представленных сегодня на бумажном носителе, отсутствуют:

- перечни общих требований и требования для различных уровней проектирования, моделирования, изготовления и испытаний БКС в концепции создания КА в целом;
- взаимосвязи между требованиями разных уровней, позволяющих переходить от более общих требований к частным;

Процесс управления требованиями является частью процесса управления конфигурацией БКС и может быть автоматизирован. Современные программные продукты позволяют решать задачи, направленные на автоматизацию процесса проектирования и сокращение сроков разработки изделия и выпуска комплекта документов, а также позволяющие проводить управление требованиями для всех уровней проектирования. В АО «ИСС» применяется собственная хорошо отработанная технология проектирования БКС КА, в рамках которой используется интегрированный программный комплекс, включающий в свой состав САПР для трехмерного проектирования и программное обеспечение собственной разработки для выпуска конструкторской документации. Но серьезным недостатком существующей ИС для проектирования БКС является отсутствие инструментов для учета и верификации требований на различных уровнях проектирования. На основании этого на сегодняшний день поставлена задача интегрировать в ИС АО «ИСС» инструменты для управления требованиями и верификации требований на различных уровнях проектирования БКС.

Учитывая все сказанное выше, в перспективе требуется выполнить следующие задачи:

- разработка концепции проектирования БКС с учетом требований на функциональном, логическом и физическом уровнях проектирования КА;
- разработка ИС, управляющей проектированием с учетом всех предъявляемых требований;
- автоматизация выпуска конструкторской и технологической документации (КД и ТД);
- электронный документооборот.

За основу взята методология RFLP (Requirement-Functional-Logical-Physical), в рамках которой планируется, что проектирование БКС в рамках общей концепции проектирования КА в целом будет состоять из трех уровней: функционального, логического и физического, последовательность и описание которых приведены на рис. 1.

Из описания, представленного на рис. 1, видно, что каждый следующий уровень связан с предыдущим и дополняет его. Каждый уровень содержит свой определенный набор требований, которые могут быть представлены в виде древовидной структуры требований в PLM-системе. Данный подход позволяет обеспечить отслеживаемость требований и открывает возможность автоматизации процесса управления ими. Таким образом, планируется решить проблему обеспечения перечней требований к каждому уровню и обеспечения взаимосвязи между ними.

Разработка собственной ИС для новой концепции проектирования предполагает подбор и анализ готовых инструментов для проектирования, и разработку собственного программного обеспечения для решения промежуточных задач проектирования. К ИС предъявляются следующие требования:

- 1) ИС должна быть интегрирована с существующими в АО «ИСС» САПР;
- 2) ИС должна обеспечивать прямой обмен данными между компонентами ИС;
- 3) ИС должна обеспечивать сквозную технологию проектирования БКС;
- 4) ИС должна обеспечивать функционал описываемой выше технологии проектирования БКС;

5) ИС должна обеспечивать выпуск документации и трехмерных моделей, полностью соответствующих государственным стандартам Российской Федерации;

6) ИС должна поддерживать безбумажную технологию проектирования, изготовления и испытаний БКС и электронный документооборот.

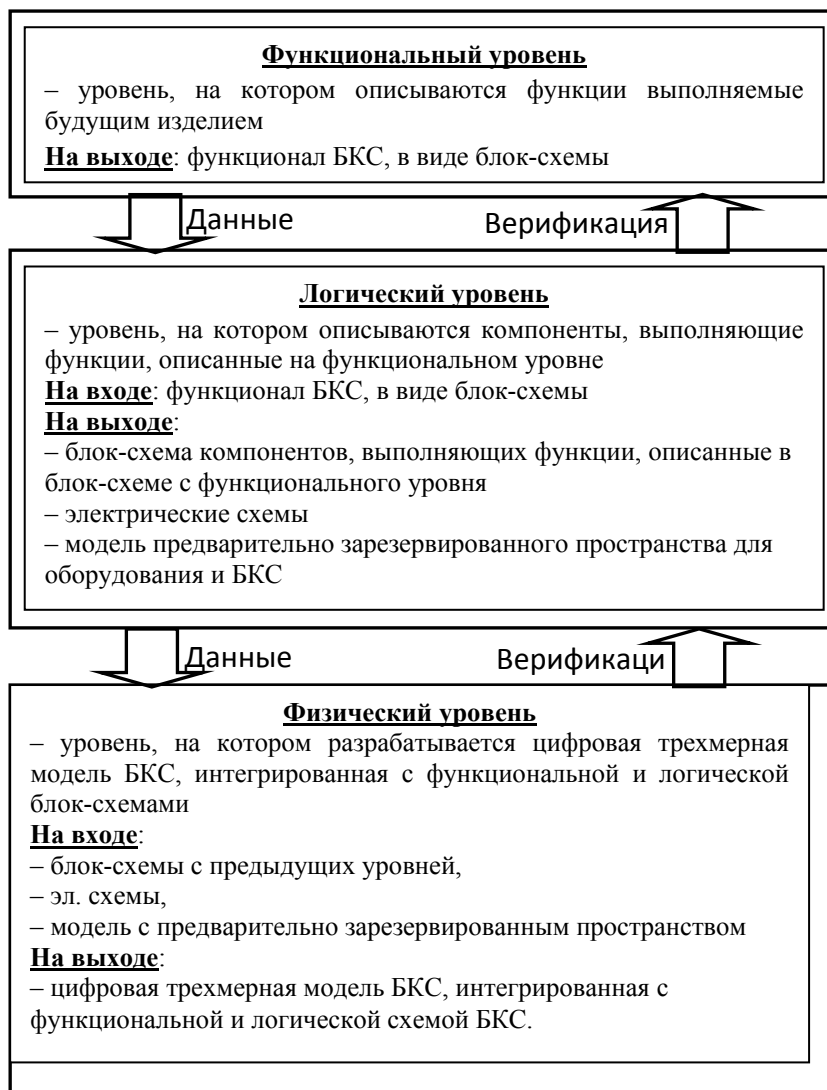


Рис. 1. Описание уровней проектирования БКС

Ожидается, что успешная разработка и внедрение технологии и ИС позволит:

- сократить сроки разработки до выпуска готовой продукции – с 12 до 4–6 месяцев;
- повысить производительность труда при проектировании БКС – до 15 %;
- повысить качество разрабатываемой документации – до 20 % и минимизировать ошибки при разработке БКС вследствие проведения верификации требований для всех уровней проектирования;
- повысить конкурентоспособность продукции АО «ИСС» в России и на мировом рынке космических технологий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихачев М.В. Методика нисходящего проектирования космического аппарата // Вестник СибГАУ. – 2015. – Т. 16. – № 2. – С. 423–429.

2. Акимова Т.Е. Информационная поддержка жизненного цикла бортовых информационно-управляющих систем авиационного применения // Вестник СГАУ. – 2012. – № 5 (36). – С. 288–291.
3. СТП 154-171-2008. Стандарт предприятия. Система менеджмента качества. Управление проектированием. Организация и технология электрического проектирования КА и его составных частей. 2008 г. – 38 с.
4. СТП 154-172-2012. Стандарт предприятия. Система менеджмента качества. Управление проектированием. Проектирование и разработка конструкции космического аппарата, его составных частей и контрольно-измерительной аппаратуры. – 2008 г. – 38 с.
5. 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.

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАХОВИКА  
ПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ T-FLEX**

Индыгашева Н.С.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: inelyas0810@mail.ru

**CALCULATION OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE FLYWHEEL  
BY THE PARAMETRIC MEANS OF T-FLEX**

Indygasheva N.S.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Kostyuchenko T.G.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: inelyas0810@mail.ru

*В статье представлен расчет основных характеристик маховика, таких как критическая скорость вращения маховика и момент сопротивления. Была создана 3D-модель маховика, включающая параметрический расчет характеристик маховика. При изменении наружного радиуса маховика происходит перерасчет момента сопротивления.*

*The article provides calculation of the main flywheel characteristics, such as the critical flywheel speed and the moment of resistance. A 3D flywheel model was created, including a parametric recalculation of its characteristics. The reduction of the outer radius of the flywheel takes place the recalculation of the moment of resistance.*

Маховик является важной деталью гироскопа. Вся конструкция гироскопа зависит от габаритных размеров маховика. Поэтому важно точно рассчитать характеристики маховика. Важнейшими характеристиками маховика являются критическая угловая скорость и момент сопротивления. Расчеты характеристик проводились автоматически в Редакторе переменных системы T-Flex CAD.

Критическая скорость определяется выражением:

$$\Omega_k = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2}(\alpha \cdot m - \beta \cdot J) + \sqrt{\frac{1}{4}(\alpha \cdot m - \beta \cdot J) + m \cdot J(\alpha \cdot \beta - \gamma^2)}}}$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – коэффициенты влияния;  $m$  – масса маховика;  $J$  – момент инерции маховика.

Коэффициенты влияния зависят от способа установки маховика. В нашем случае маховик установлен консольно (рис. 1), тогда  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  будут определяться выражениями

$$\alpha = \frac{a \cdot b^2}{3 \cdot E \cdot J_1} + \frac{b^3}{3 \cdot E \cdot J_2},$$

$$\beta = \frac{a}{3 \cdot E \cdot J_1} + \frac{b}{E \cdot J_2},$$

$$\gamma = \frac{a \cdot b}{3 \cdot E \cdot J_1} + \frac{b}{3 \cdot E \cdot J_2},$$

где  $a$  – расстояние между опорами;  $b$  – длина консоли;  $E$  – модуль упругости I рода;  $J_1$  – момент инерции сечения вала между опорами;  $J_2$  – момент инерции сечения вала консоли.

$$J_1 = J_2 = 0,05(d_n^4 - d_d^4)$$

где  $d_n, d_d$  – наружный и внутренний диаметр вала соответственно [1].

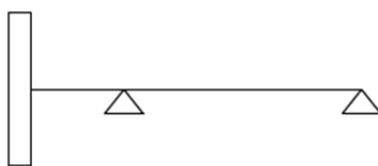


Рис. 1. Консольная установка маховика

На рис. 2 приведен расчет критической угловой скорости вращения маховика в Редакторе переменных.

Группа: Расчет критической угловой скорости вращения маховика			
A	$((a^2 \cdot b^2) / (3 \cdot E \cdot J_1)) + (b^3) / (3 \cdot E \cdot J_2)$	0	Альфа
B	$(a) / (3 \cdot E \cdot J_1) + (b) / (E \cdot J_2)$	0	Бета
C	$(a \cdot b) / (3 \cdot E \cdot J_1) + (b) / (3 \cdot E \cdot J_2)$	0	Гамма
E	$2 \cdot 10^{11}$	200000000000	Модуль упругости 1 рода для Стали
J1	$0.05 \cdot (d_n^4 - d_d^4)$	5248.8	Момент инерции сечения вала между опорами
J2	$0.05 \cdot (d_n^4 - d_d^4)$	5248.8	Момент инерции сечения вала консоли
S1	$(1/4) \cdot (A \cdot m \cdot B \cdot J) + m \cdot J \cdot (A \cdot B \cdot C^2)$	0	
S2	$\text{sqrt}(S1)$	0	
S3	$(1/2) \cdot (A \cdot m \cdot B \cdot J)$	0	
S4	$1 / (\text{sqrt}(S3 + S2))$	1175.52	Критическая угловая скорость, с <sup>-1</sup>
? V	$S4 \cdot 9.55$	11226.217	Критическая угловая скорость, об/мин
a	33.5	33.5	Расстояние между опорами, мм
b	10.5	10.5	Длина консоли, мм
dd	0	0	Внутренний диаметр вала, мм
dn	18	18	Наружный диаметр вала, мм

Рис. 2. Расчет критической угловой скорости вращения маховика

Критическая угловая скорость вращения маховика составила 11226,2 об/мин, что больше рабочей скорости вращения маховика, равной 10000 об/мин.

Момент сопротивления  $M_c$  влияет на количество потребляемой энергии, величину возмущающего воздействия и на динамику управляемого объекта. Величина  $M_c$  зависит от скорости и содержит две составляющие:

$$M_c = M_a + M_n,$$

где  $M_a$  – момент аэродинамического сопротивления;  $M_n$  – момент трения шарикоподшипников

На момент аэродинамического сопротивления большое влияние имеет тип газовой среды, характер течения газа у поверхности маховика, геометрическая форма и размер маховика, степень разрежения среды в гермокамере, чистота поверхности маховика и его угловая скорость вращения [1].

Момент аэродинамического сопротивления определяется по формуле:

$$M_a = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot C_a \cdot \Omega^2 \cdot \Gamma_\phi,$$

где  $\rho$  – плотность окружающей среды;  $C_a$  – аэродинамический коэффициент;  $\Gamma_\phi$  – геометрический фактор, значение которого зависит от геометрической формы и размеров маховика.

Геометрический фактор зависит от геометрической формы и размеров маховика. Существует несколько различных форма маховика и для каждой существует своя формула для расчета геометрического фактора.

В нашем случае маховик имеет форму, представленную на рис. 3.

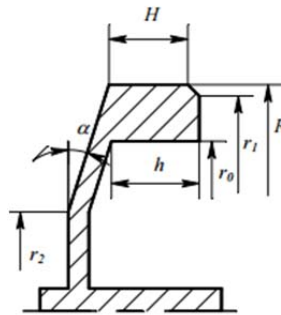


Рис. 3. Форма маховика

Ниже приведена формула для расчета геометрического фактора для спроектированного маховика.

$$\Gamma_\phi = R^4 \cdot H + r_0^4 \cdot h + \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \frac{2 \cdot R^5 + r_0^5 - 2 \cdot r_2^5}{5} + \frac{2 \cdot r_2^5 + r_1^5 - r_0^5}{5}$$

Момент трения шарикоподшипника состоит из следующих составляющих: момента трения качения шариков с наружным и внутренними кольцами; момента трения скольжения шариков с кольцами; момента трения скольжения шариков с сепаратором и сепаратора с центрирующим кольцом; момента, вызываемого сопротивлением движению смазки.

Момент трения шарикоподшипника приближенно определяется эмпирической зависимостью:

$$M_n = M_0 + 1,25 \cdot k_{mp} \cdot \left( \frac{D_0}{d_{ш}} \right) \cdot F_r,$$

где  $M_0$  – момент трения ненагруженного шарикоподшипника;  $D_0$  – диаметр окружности, проходящей через центры шариков;  $d_{ш}$  – диаметр шариков;  $k_{mp} = 0,001 \div 0,005$  см – коэффициент трения качения;  $F_r$  – радиальная нагрузка [1].

Параметрические возможности T-Flex CAD позволяют включать в 3D-модель или чертеж расчет характеристик проектируемой конструкции, зависящих от ее геометрических размеров. Это очень эффективно при проектировании маховика, т. к. с изменением наружного радиуса перестраивается 3D-модель и одновременно в Редакторе переменных пересчитывается значение момента сопротивления маховика, зависящей от его наружного радиуса. На рис. 4 представлен расчет момента сопротивления в Редакторе переменных для двух маховиков с разными значениями наружного радиуса.

Группа: Расчет момента сопротивления			Группа: Расчет момента сопротивления		
Ca	$0.53 \cdot \rho_{Fe} \cdot (D_0.5)$	0.031	Аэродинамический коэффициент	0.044	Аэродинамический коэффициент
DO	12	12	Диаметр окружности, проходящего через центры шариков	12	Диаметр окружности, проходящего через центры шариков
Fr	758	758	Радиальная нагрузка	758	Радиальная нагрузка
MO	$4 \cdot DO \cdot (10 - 1.25 \cdot k_{тр}) \cdot (DO/10) \cdot (d_{ш}/10) \cdot \rho_{ш}$	8.59	Момент трения ненагруженного шарикоподшипника	8.59	Момент трения ненагруженного шарикоподшипника
Ma	$2 \cdot \rho \cdot R \cdot Ca \cdot \eta \cdot 2 \cdot T_{Fe}$	32.5	Аэродинамический момент	8.411	Аэродинамический момент
Mc	Ma + Mn	44.88	Момент сопротивления	20.791	Момент сопротивления
Mn	$MO + 1.25 \cdot k_{тр} \cdot (DO/10) \cdot (d_{ш}/10) \cdot \rho_{ш}$	12.38	Момент трения подшипника	0	Момент трения подшипника
P	$2 \cdot 10^{-9}$	0	Плотность окружающей среды	145.417	Плотность окружающей среды
Re	$\eta \cdot R \cdot 2 \cdot v$	285.017	Число Рейнольдса	3	Число Рейнольдса
dш	3	3	Диаметр шарика	3	Диаметр шарика
kтр	$1 \cdot 10^{-3}$	0.001	Коэффициент трения качения	0.001	Коэффициент трения качения
p	3.14	3.14	Пи	3.14	Пи
r0	61.45	61.45		61.45	
r1	68	68		68	
r2	25	25		25	
v	18000	18000	Кинематический коэффициент вязкости	18000	Кинематический коэффициент вязкости
Fe	$\rho_{Fe} \cdot 1 + \rho_{Fe} \cdot 2 + \rho_{Fe} \cdot 3$	75189.891	Геометрический фактор	13898.883	Геометрический фактор
Fe1	$\sqrt{10} \cdot \rho_{Fe} \cdot 10^5 \cdot S_{ш} \cdot (D_0/10)^2 \cdot \eta \cdot 1/10$	17953.828		12637.828	
Fe2	$(1 + \cos \alpha) \cdot (2 \cdot \rho_{ш} \cdot 10^5 \cdot S_{ш} \cdot (D_0/10)^2 \cdot \eta \cdot (1/10)^2 \cdot (2 \cdot \rho_{ш} \cdot 10^5) \cdot S_{ш} \cdot 5)$	6629.559		66.55	
Fe3	$(2 \cdot \rho_{ш} \cdot 10^5 \cdot S_{ш} \cdot (1/10)^2 \cdot \eta \cdot (D_0/10)^2 \cdot S_{ш} \cdot 5)$	1194.505		1194.505	

а

б

Рис. 4. Расчет момента сопротивления:

а) наружный радиус 70 мм, б) наружный радиус 50 мм

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Гладышев Г.Н. Электромеханические исполнительные органы систем ориентации космических аппаратов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 208 с.
2. Индыгашева Н.С. Проектирование маховика при создании расчетно-конструкторской модели гиродина // Наука. Технологии. Инновации. – Новосибирск, 2016. – С. 28–30.

МЕТОДИКА НАПОЛНЕНИЯ БАЗ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ ТАБЛИЦ ПАРАМЕТРОВ НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТА

Козлов А.А.<sup>1</sup>, Коблов Н.Н.<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: Бориков В.Н., профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полус»  
634050, Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в»

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: info@polus-tomsk.ru

METHOD OF FILLING DATABASES OF ELECTRONIC COMPONENTS BASED ON THE UNIFORM TABLES OF DOCUMENT PARAMETERS

Kozlov A.A.<sup>1</sup>, Koblov N.N.<sup>1,2</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Borikov V.N.

<sup>1</sup>JSC «Scientific & Industrial Centre «Polyus»  
Russia, Tomsk, Kirova ave., 56v, 634050

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634034

E-mail: info@polus-tomsk.ru

Рассматриваются вопросы разработки методики автоматизированного наполнения баз данных электрорадиоизделий, основанной на объединении таблиц параметров нормативного документа. Показаны её основные этапы и особенности. Предложено оформлять связь между параметрами и правило формирования наименования элементов в текстовом файле-шаблоне. Приводится предварительная оценка времени оформления файлов-шаблонов различных нормативных документов. Показано применение методики для автоматического наполнения технологических справочников.

The problems of the development of the methodology for the automated filling of databases of electronic products based on the integration of the parameters tables of the normative document are considered. Its main stages and features are shown. It is proposed to formalize the relationship between the parameters and the rule for the formation of the names of elements in a text file-template. A preliminary estimate of the time for creating



template files for various normative documents is given. The application of the technique for automatic filling of technological databases is shown.

Современные системы электронного документооборота классов PDM, PLM, ориентированные на отечественное приборостроение [1, 2], должны решать задачу хранения атрибутов и идентификации электрорадиоизделий (ЭРИ). Как правило, такие системы взаимодействуют с внутренней или внешней реляционной базой данных (БД), содержащей всю атрибутивную информацию об ЭРИ (емкость, мощность, масса, технологические параметры, графика и т. д.). При этом на уровне таблиц БД за уникальный идентификатор элемента принимают его наименование, с которым сопоставляется уникальный набор атрибутов. Данный подход предполагает наличие в системе уже заполненных или предустановленных расширяемых справочников элементов, находящихся в ведении отдела, контролирующего применение ЭРИ предприятия, наполняемых администратором. При необходимости применения на предприятии нового элемента в отдел контроля поступает запрос, далее администратор справочников по соответствующим нормативным документам (техническим условиям, государственным стандартам, спецификациям, каталогу производителя элемента) проводит анализ параметров ЭРИ и вводит новые записи в соответствующий справочник. Эта процедура сопряжена с трудоемким процессом ручного ввода большого количества записей в БД и не позволяет оперативно реагировать на быстро меняющиеся условия производства.

Предлагаемая методика наполнения справочников ЭРИ, основанная на объединении их таблиц параметров, способна существенно уменьшить трудоемкость наполнения БД по элементам, исключить ошибки в формировании их наименований, автоматически проверять целостность, формат и уникальность данных.

Любой нормативный документ на ЭРИ, поставляемый предприятию изготовителем элемента, содержит информацию о допустимом распределении его параметров. Как правило, в нормативных документах связи между параметрами ЭРИ оформляются в виде таблиц или же могут быть сведены к таблицам, а их наименования формируются по шаблону, в который подставляются в явном или неявном виде значения соответствующих параметров элемента (табл. 1).

Таблица 1. Параметры конденсатора К10-17

Вариант	Группа	Напряжение	Емкость	Отклонение	Наименование
К10-17а	МП0	50 В	2,2 пФ	±5 %	К10-17а-50 В-МП0-2,2 пФ±5 %
		100 В	0,015 мкФ		К10-17а-100 В-МП0-0,015 мкФ±5 %
	50 В	М47		75 пФ	К10-17а-М47-0,015 мкФ±5 %
		М1500	К10-17а-М1500-75 пФ±10 %		
К10-17б	Н20	50 В	680 пФ	±10 %	К10-17б-Н20-680 пФ±10 %
	Н50				К10-17б-Н50-680 пФ±10 %

Оформив необходимый набор таблиц и правило формирования наименований элементов в специальном текстовом файле, результирующую таблицу распределения параметров ЭРИ можно получить объединением всех таблиц файла-шаблона, при этом каждая строка результирующей таблицы будет представлять уникальный элемент с наименованием, генерируемым по предопределенному шаблону.

Разработанная методика наполнения БД ЭРИ записями, соответствующими элементам из нормативного документа (рис. 1), в общем виде состоит из следующих этапов:

1. Оформление набора таблиц распределения параметров ЭРИ.
2. Ввод шаблона формирования наименования элемента.

3. Генерация таблицы всевозможных сочетаний значений параметров элемента.
4. Формирование для каждого сочетания параметров ЭРИ наименования по шаблону.
5. Импорт итоговой таблицы в соответствующую БД.

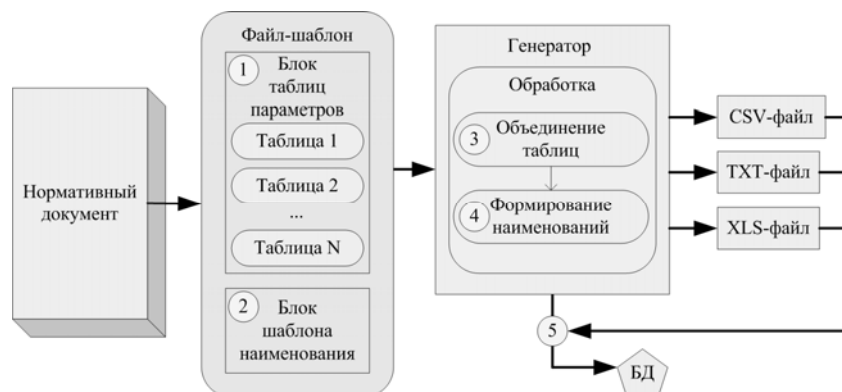


Рис. 1. Методика наполнения БД на основе объединения таблиц файла-шаблона

Файл-шаблон, содержащий набор таблиц и правило формирования наименований, обрабатывается специальной программой-генератором, задача которой считать его данные во внутренние структуры, применяя алгоритмы текстового разбора. 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 [3, 4]. Она является переносимой между платформами и хорошо адаптирована к взаимодействию с другими библиотеками. Для программного разбора шаблона наименований применяется свободная C++ библиотека Boost Spirit, которая также имеет открытый исходный код и способна существенно ускорить разработку текстовых анализаторов. Основным форматом файла-шаблона выбран Microsoft Office Word docx, который представляет собой zip-архив, содержащий XML-текст. Файлы данного формата можно прочитать внешним приложением, применяя технологию чтения OLE-объектов, или разобрать его средствами сторонних библиотек.

Следует заметить, что применение описанной выше методики имеет ряд достоинств:

- не предъявляются требования к формату нормативного документа;
- результирующие таблицы для разных нормативных документов имеют одинаковую структуру;
- трудоемкость заполнения БД определяется трудоемкостью оформления таблиц распределения параметров элементов и их шаблона наименования;
- таблицы файла-шаблона могут содержать параметры, не фигурирующие в наименовании;
- таблицы распределения параметров в файле-шаблоне можно оформить идентично таблицам в нормативном документе;
- формат файла-шаблона может быть расширен;
- схема наполнения БД применима к любой параметризованной сущности (крепежные изделия, технологическая оснастка, соединители, материалы и т. д.).

Предварительная оценка времени оформления файлов-шаблонов для разных нормативных документов (табл. 2) показала эффективность предложенной методики.

Таблица 2. Время оформления файлов-шаблонов для разных справочников

Сущность	Справочник	Нормативный документ	Время оформления файла-шаблона, ч	Количество записей
Конденсатор	ЭРИ	АДПК.673547.006ТУ	0,5	584
		АЖЯР.673546.005ТУ	0,5	483
		ФЦТА.673516.016ТУ	3	61640
Вставка Плавкая	ЭРИ	ОЮ0.480.003ТУ-Р	3	4252
Соединитель		Ке0.364.000 ТУ	3	149
Провод	Материалы	ТУ 16-505.195-80	0,4	20
Винт	Крепеж	ГОСТ 17473-80	3	5375
		ГОСТ 17475-80	2	3773
Фреза	Инструмент	ГОСТ 15086-69	1,5	140
		ГОСТ 16225-81	1,8	180

Разработанная методика опробована для наполнения справочника режущих инструментов (рис. 2), применяемого при проектировании технологических процессов [5], входящего в состав разрабатываемой на предприятии автоматизированной системы управления инженерными данными и производством. Структура итоговых таблиц, сгенерированных по соответствующим файлам-шаблонам режущих инструментов, позволила унифицировать импорт, хранение и подбор записей справочника. В настоящий момент методика также применяется для наполнения и других справочников системы: стандартных изделий, средств измерений, ЭРИ.

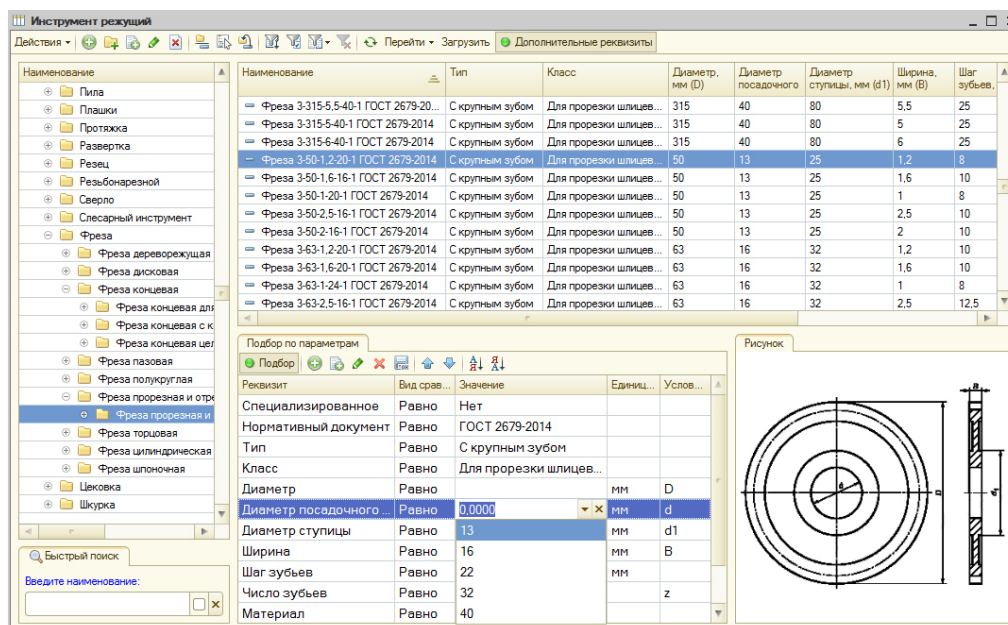


Рис. 2. Форма справочника режущего инструмента

Разработанная методика исключает ручной ввод данных в справочник, существенно уменьшает трудоемкость наполнения БД, позволяет унифицировать хранение и подбор записей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационная поддержка организации производства изделий радиоэлектронной аппаратуры на предприятии ОАО «НПП «Радиосвязь» Р.Г. Галлеев [и др.] // Журнал Сиб. фед. ун-та. – 2014. – № 7. – С. 758–766.

2. Коблов Н.Н., Черватюк В.Д., Чекрыгин С.С. Повышение эффективности проведения изменений в конструкторской документации // Электронные и электромеханические системы и устройства : тез. докл. науч.-техн. конф. молодых специалистов ОАО «НПЦ «Полнос». – Томск, 2013. – С. 213–215.
3. Бланшет Ж., Саммерфилд М. Qt 4: программирование GUI на C++ : пер. с англ. 2-е изд., доп. – М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2008. – 736 с.
4. Шлее М. Qt 4.8: Профессиональное программирование на C++. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 912 с.
5. Коблов Н. Н. Разработка и внедрение автоматизированной системы управления инженерными данными // Электронные и электромеханические системы и устройства: тез. докл. XVIII науч.-техн. конф. – Томск, 2010. – С. 228–230.

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОВОРОТНОГО СТОЛА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ТОМОГРАФА В T-FLEX CAD**

Стасевский В.И.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: vis12@tpu.ru

### **THE SPECIALIZED TOMOGRAPH ROTARY TABLE DESIGN IN THE T-FLEX CAD SYSTEM**

Stasevsky V.I.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Kostyuchenko T.G.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: vis12@tpu.ru

*Статья «Проектирование поворотного стола специализированного томографа в T-Flex CAD» посвящена актуальной проблеме обеспечения правильного расположения объектов контроля в томографических комплексах. Представлен вариант конструкции поворотного стола, спроектированный в среде T-Flex CAD.*

*The article «Designing of the Rotary Table of the Specialized Tomograph in the T-Flex CAD system» is devoted to the urgent problem of the object correct arrangement control in a tomographic complex. The rotary table embodiment is designed with the T-Flex CAD system.*

Томографические установки ТПУ отличаются от других типов установок простотой, габаритами, массой, удобством в эксплуатации и малыми затратами на изготовление. В Институте неразрушающего контроля разрабатываются специализированные томографы для неразрушающего контроля различных объектов – от небольших изделий до изделий весом в несколько тонн [1].

При томографическом исследовании необходимо обеспечить высокую точность расположения объекта контроля относительно источника излучения и детектора-приемника. Основной задачей данной работы является проектирование поворотного стола для размещения объектов контроля с возможностью перемещения в различных направлениях. При повороте объекта контроля на 360° необходимо обеспечить точность до 6 угловых секунд. Скорость вращения стола – от 0,1 до 5 об/мин. При этом вертикальная нагрузка на стол – 500 кг.

Разработка поворотного стола для специализированного томографа осуществлялась с использованием системы автоматизированного проектирования T-Flex CAD 3D. Для всех элементов конструкции были созданы 3D-модели. На рис. 1. представлена 3D-модель поворотного стола в составе конструкции специализированного томографа.

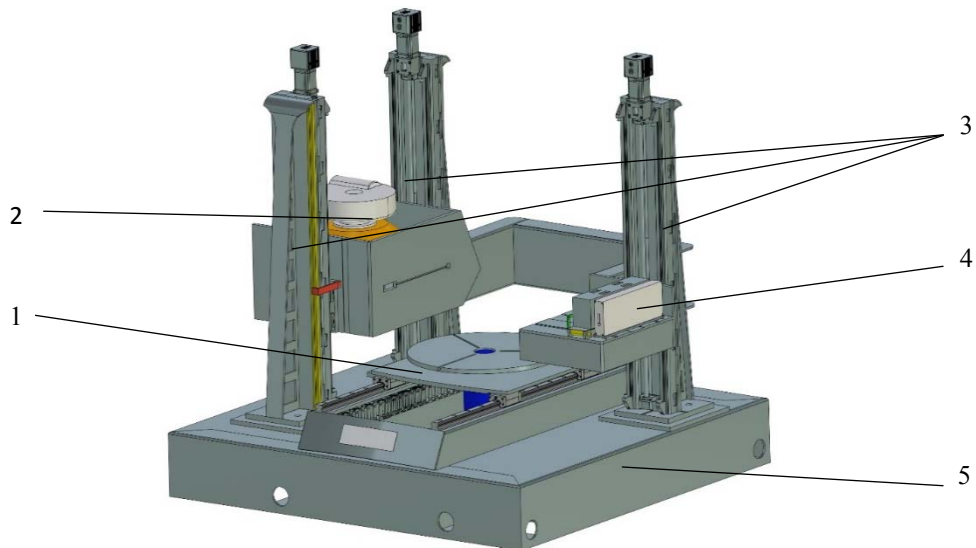


Рис. 1. 3D-модель специализированного томографа:

1 – поворотный стол; 2 – бетатрон; 3 – линейные модули; 4 – детектор приемник; 5 – основание

На рис. 2. представлены 3D-модели элементов конструкции поворотного стола.

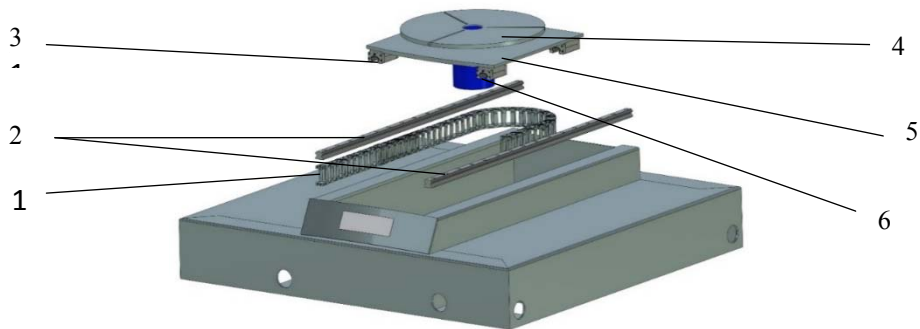


Рис. 2. 3D-модели элементов конструкции поворотного стола:

1 – кабель-канал; 2 – рельсовые направляющие; 3 – каретки; 4 – планшайба;  
5 – платформа; 6 – серводвигатель

Вращение поворотного стола будет обеспечиваться серводвигателем и шарико-упорным подшипником 8148л (51148) 6ГПз, расположенными на платформе с каретками и рельсовыми направляющими.

В качестве серводвигателей выбраны серводвигатели СПШ20-23017. На рис. 3. представлена 3D модель серводвигателя СПШ20-23017.



Рис. 3. 3D-модель серводвигателя СПШ20-23017

Этот привод обладает широким диапазоном режимов работы, имеет высокую точность позиционирования (от 4 угл. минут до 6 угл. секунд), имеет встроенный USB-порт для подключения к ПК, собственное программное обеспечение, имеет малый вес, доступен по цене [2].

Шарико-упорные подшипники предназначены для того, чтобы воспринимать односторонние осевые нагрузки, и могут односторонне фиксировать положение вала; радиальную нагрузку они не воспринимают. На рис. 4. представлен шарико-упорный подшипник 8148л (51148) 6ППз [3].



*Рис. 4. шарико-упорный подшипник 8148л (51148) 6ППз*

Технические характеристики шарико-упорного подшипника 8148л (51148) 6ППз [4]: внутренний диаметр подшипника  $d$  (мм) – 240; наружный диаметр подшипника  $D$  – 300 (мм); ширина подшипника  $h$  – 45 (мм); масса подшипника  $m$  – 7,61 (кг).

Профильные рельсовые направляющие используются для перемещения и состоят из рельсов и кареток. На рис. 5 представлены 3D-модели профильной рельсовой направляющей и каретки.



*Рис. 5. 3D-модели профильной рельсовой направляющей и каретки*

Установка направляющих осуществляется следующим образом. Поверхность стола, где будут устанавливаться профильные рельсовые направляющие, должна быть отфрезерована. Поскольку каретки циркулируют непрерывно, и профильные рельсовые направляющие обеспечивают практически неограниченный ход, то точная обработка рельса позволит осуществлять плавное движение [5].

Наиболее эффективное проектирование механических конструкций поворотного стола специализированного томографа возможно только с использованием современной CAD-системы с возможностями параметризации, каковой является система T-Flex CAD (Топ Системы, Россия).

#### 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. Электронный ресурс <http://www.servotechnica.ru/catalog/type/brand/index.pl?id=18>.

3. Электронный ресурс <http://xn--6-ftbm5a.xn--plai/podshipniki/podshipniki-sharikovye-upornye/>.
4. Электронный ресурс <http://www.kirelis.ru/podshipniki/sharikovie-upornie/opisanie>.
5. Стасевский В.И. Линейное перемещение объектов томографического контроля посредством винтовой передачи // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – С. 209–211.

### **ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Черватюк В.Д.<sup>1,2</sup>, Коблов Н.Н.<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: Бориков В.Н., профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Акционерное общество «Научно-производственный центр «Полус»  
634050, Россия, г. Томск, пр. Кирова, 56 «в»

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: sveto-gor@yandex.ru

### **CHOICE OF THE TECHNOLOGICAL PLATFORM FOR WORKING OUT OF DIFFICULT INFORMATION SYSTEMS**

Chervatyuk V.D.<sup>1,2</sup>, Koblov N.N.<sup>1,2</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Borikov V.N.

<sup>1</sup>JSC «Scientific & Industrial Centre «Polyus»  
Russia, Tomsk, Kirova ave., 56v, 634050

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634034  
E-mail: sveto-gor@yandex.ru

*Отмечена важность рационального выбора интегрированной среды разработки сложных информационных систем. Рассмотрена типовая структура подобной системы. Проведено сравнение кодов программ работы с базой данных, разработанных в среде Microsoft Visual Studio 2012 C# и на технологической платформе 1С: Предприятие 8.3. Выделены существенные особенности, которые присутствуют в сложных информационных системах. Дана рекомендация по выбору интегрированной среды разработки для сложных информационных проектов.*

*Importance of a rational choice of the integrated environment of working out for difficult information systems is noted. The typical structure of difficult information system is considered. Comparison of a code of examples of work with a database, developed on Microsoft Visual Studio 2012 C# and on a technological platform 1C: Enterprise 8.3 is spent. Essential factors which are present at difficult information systems are allocated. The recommendation of for choice integrated environment of working out for difficult information projects is given.*

При разработке сложных информационных систем (ИС) очень важен выбор интегрированной среды разработки (англ. IDE – Integrated Development Environment). Часто данному вопросу разработчики программного обеспечения не уделяют должного внимания, варианты IDE вообще не рассматривают, подменяя негласным правилом «На чем умеем программировать, на том и напишем». Между тем правильный выбор IDE позволяет существенно сократить трудоемкость и сроки реализации проекта, тогда как нерациональный, наоборот, может значительно усложнить разработку.

Анализ экспертных данных [1] показал, что для разработки ИС на платформе Windows из традиционных IDE лучше всего подходит Microsoft Visual Studio (MSVS): C# или VB.NET, тем более, что они удовлетворяют стандартам ISO и ECMA. Анализ основных возможностей и достоинств языка C# [2] показал, что именно он чаще всего используется для написания сложных ИС. Что же касается VB.NET, то это уже объектно-ориентированный язык программирования, реализованный на платформе Microsoft.NET.

В последнее время при создании сложных ИС разработчики проектов стали применять технологическую платформу 1С:Предприятие 8, на основе которой возможно создание пользовательских прикладных решений (конфигураций).

Таблица 1. Результаты сравнения трудоемкости разработки тестового примера

Наименование работы	Трудоемкость при реализации на платформе	
	MSVS 2012 C#	1С:Предприятие 8.3
Конфигурирование таблиц базы данных	150 строк на языке Transact-SQL для выполнения в среде SQL Server 2012 Express [3]	Согласно пп. 1), 2)
Подключение к базе данных SQL Server 2012 Express	Сохранение и получение строки подключения в проекте: 9 интерактивных пунктов в IDE + 15 операторов на языке программирования C# [4]	Согласно пп. 3), 4)
Разработка экранной формы «Клиенты»	Форма NewCustomer [4]: 8 элементов управления, 91 строка кода на языке C# в семи подпрограммах-процедурах	Форма элемента справочника «Клиенты» создается автоматически
Разработка экранной формы «Заказы»	Форма FillOrCancel [4]: 7 элементов управления, 95 строк кода на языке C# в шести подпрограммах-процедурах	Форма элемента справочника «Заказы» создается автоматически. Добавлен обработчик согласно п. 6)
Отображение данных примера в окне web-браузера	Нужна разработка дополнительного проекта (например, web-приложение ASP.NET) [8]	Функционал присутствует [5–7]

Проведем сравнение эффективности двух IDE: MSVS 2012 C# и 1С:Предприятие 8.3 на примере создания и заполнения таблиц (справочников) «Клиенты» и «Заказы». Данная задача решается в среде MSVS 2012 с использованием СУБД SQL Server 2012 Express [3, 4], а также на платформе 1С:Предприятие 8.3 [5–7], для чего выполнены следующие действия:

- 1) в конфигураторе 1С:Предприятие 8.3 интерактивно создан справочник «Клиенты»;
- 2) в конфигураторе 1С:Предприятие 8.3 интерактивно создан справочник «Заказы» с реквизитами «Дата», «ДатаЗаполнения», «Статус», «Количество» и ссылкой на справочник «Клиенты»;
- 3) в среде SQL Server 2012 сформирована новая база данных с именем «Sales»;
- 4) в консоли «Администрирование серверов 1С:Предприятия» создана информационная база с именем «pdm-sales» (источник данных – база данных «Sales»);
- 5) к форме элемента справочника «Заказы» добавлен обработчик «ПриЗаписи», в котором реквизиту «ДатаЗаполнения» присваивается значение текущей даты;
- 6) в конфигураторе 1С:Предприятие 8.3 выполнена публикация информационной базы pdm-sales на web-сервере.

Сравним трудоемкость разработки тестового примера на IDE MSVS 2012 и 1С:Предприятие 8.3.



Анализ результатов, приведенных в табл. 1, показывает, что трудоемкость разработки простого тестового примера на технологической платформе 1С: Предприятие 8.3 на порядок ниже трудоемкости аналогичного примера, выполненного в среде MSVS 2012 на языке C#.

При разработке сложных ИС коллективного пользования разработчикам программного обеспечения дополнительно приходится учитывать множество важных факторов. Проведем анализ семи существенных особенностей ИС, исходя из того, как они учитываются в IDE 1С:Предприятие 8.3 и MSVS 2012 C# / VB.NET.

1. Сложная ИС должна быть многопользовательской, а значит, необходимо будет разработать механизм идентификации пользователей, включая защищенное хранилище паролей.

- *1С:Предприятие 8.3.* Система идентификации входит в состав технологической платформы.
- *MSVS 2012 C# / VB.NET.* Не предусмотрено.

2. В ИС пользователи должны быть разделены на группы (например, цеха, отделы и т. д.), для каждой из которых желательно иметь свой визуальный интерфейс (набор экранных форм, пунктов меню и т. п.).

- *1С:Предприятие 8.3.* Система интерфейсов входит в состав технологической платформы.
- *MSVS 2012 C# / VB.NET.* Не предусмотрено.

3. Для каждой из групп пользователей обязательно должны быть свои роли (разрешения) на доступ к определенным категориям данных, а также на запуск определенных сценариев, скриптов, алгоритмов, бизнес процессов.

- *1С:Предприятие 8.3.* Система ролей входит в состав технологической платформы.
- *MSVS 2012 C# / VB.NET.* Не предусмотрено.

4. Сложная ИС должна иметь серверную СУБД (например, Microsoft SQL Server), а значит, в состав IDE должны быть включены необходимые интерфейсы (технологии, объекты, библиотеки) для доступа к оперативным и архивным данным.

• *1С:Предприятие 8.3.* Технологическая платформа имеет интеграцию со следующими СУБД: Microsoft SQL Server, PostgreSQL, IBM DB2, Oracle Database. Создание таблиц базы данных происходит автоматически при конфигурировании прикладных объектов: справочников и регистров.

• *MSVS 2012 C# / VB.NET.* Отдельно происходит конфигурирование таблиц базы данных в программе администрирования СУБД и чтение/запись данных (на уровне программного кода) в клиентской части ИС или запуском хранимых процедур, выполняемых на сервере баз данных.

5. Будет ли ИС предоставлять доступ пользователям, находящимся только в одной локальной сети, или предполагается работа пользователей, находящихся в разных локальных сетях (например, филиалах одной и той же фирмы)? И если необходима распределенная ИС, то какую технологию и методику применить для синхронизации данных между локальными базами данных и доступа к основной базе данных ИС?

• *1С:Предприятие 8.3.* В системе существует механизм распределенных информационных баз. Транспорт может выступать локальный или сетевой каталог, FTP-ресурс, почтовые сообщения или e-mail, прямое подключение, интернет.

- *MSVS 2012 C# / VB.NET.* Не предусмотрено;

6. Необходимо ли пользователям предоставлять возможность работы с ИС по web-интерфейсу (дополнительно к основному интерфейсу – клиент-серверному приложению)? И если да, то какой web-

сервер выбрать и, следовательно, какие технологии для разработки и отображения серверных скриптов будут применены в разрабатываемой ИС?

- *ИС:Предприятие 8.3.* Один и тот же объект (управляемая форма) может быть отображен как в клиентской части ИС, так и с помощью web-браузера.
- *MSVS 2012 C#/VB.NET.* Не предусмотрено.

Какой уровень отказоустойчивости заложить при проектировании ИС? Предусматривается ли работа ИС по критерию 24/7 (двадцать четыре часа, семь дней в неделю)? Если да, то как решить вопрос с кластеризацией рабочих серверов, одновременный выход из строя которых не приводит к аварийному завершению сеансов подключенных пользователей?

*ИС:Предприятие 8.3.* В состав технологической платформы входит утилита администрирования, позволяющая логически объединять центральные серверы в единый кластер.

*MSVS 2012 C#/VB.NET.* Не предусмотрено.

С учетом всего вышесказанного можно утверждать, что для разработки сложной ИС рациональным будет выбор технологической платформы ИС: Предприятие 8.3. В НПЦ «Полус» на платформе ИС: Предприятие 8.3 разработана автоматизированная система управления инженерными данными и производством [9] на всех этапах жизненного цикла изделия. Выбор данной платформы позволил на порядок сократить трудоемкость и сроки реализации проекта, а также существенно облегчить его сопровождение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сравнение языков программирования // Википедия. – (Электронный ресурс: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сравнение\\_языков\\_программирования](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сравнение_языков_программирования)). Дата обращения 10.03.2017.
2. Биллинг В. А. Основы программирования на С#. – М.: НОУ ИНТУИТ, 2005. – 426 с.
3. Пошаговое руководство. Создание небольшого примера базы данных // MSDN. – (Электронный ресурс: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/jj943771.aspx>). Дата обращения 10.03.2017.
4. Пошаговое руководство. Создание простого приложения для работы с данными с помощью ADO.NET // MSDN. – (Электронный ресурс: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/jj943772.aspx>). Дата обращения 10.03.2017.
5. ИС:Предприятие 8.3. Руководство администратора. – М.: 1С, 2013. – 226 с.
6. ИС:Предприятие 8.3. Клиент-серверный вариант. Руководство администратора. – М.: 1С, 2013. – 146 с.
7. ИС:Предприятие 8.3. Руководство разработчика. – М.: 1С, 2013. – 870 с.
8. Пошаговое руководство. Создание веб-узла с членством и именами пользователей // MSDN. – (Электронный ресурс: [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/879kf95c\(v=vs.100\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/879kf95c(v=vs.100).aspx)). Дата обращения 10.03.2017.
9. 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.

---

# СЕКЦИЯ № 3

## ИСПЫТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

---

### ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Ананьева Е.С.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Бритова Ю.А., ассистент, к.т.н.

<sup>1</sup>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.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Assistant Lecturer, PhD, Britova Yu.A.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: elena\_girl\_16@mail.ru

*Развитие робототехники в конце 20 века привело к стремительному развитию электронного аппаратостроения, в частности в области радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры. Показатель качества продукции аппаратостроения имеет первостепенное значение, так как он определяет для аппаратуры возможность выполнения ее целевой задачи – нормального функционирования в заданных условиях в течение требуемого времени наработки.*

*The development of robotics in the late 20th century led to the rapid development of electronic instrumentation, in particular in the field of electronic and electronic computing equipment. The product quality index of instrument engineering is of paramount importance, since it determines for the equipment the possibility of fulfilling its target task – normal operation under specified conditions for the required operating time.*

Электротехническое изделие – изделие, в котором возможны протекание следующих процессов, связанных с электрической энергией; такие как: производство, преобразование, передача, распределение и потребление.

Объектом исследования является электротехническое изделие далее преобразователь, предназначенный для обеспечения питанием стабилизированным напряжением как постоянного, так и переменного тока различной аппаратуры, находящейся на борту космического корабля и постоянного тока. Внешний вид преобразователя представлен на рис. 1.

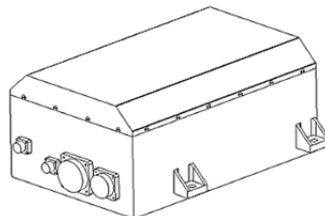


Рис. 1. Электротехническое устройство

Электротехническое оборудование принадлежит к группе, наиболее чувствительной к ударным и вибрационным нагрузкам, потому что имеет в структуре функциональных схем электрорадиоэлементы, установленные на печатных платах.

Продолжительность эксплуатации любого электротехнического оборудования значительно уменьшается при механических воздействиях на него таких как: вибрации, удары, линейные перегрузки, акустические шумы.

Эти механические воздействия как правило возникают при работе двигателей, редукторов, вращающиеся разбалансированные массы, взрывы. Результаты действия их на электротехническое оборудование очень часто приводят: к изменению параметров электротехнических элементов таких как – сопротивление, емкость, индуктивность, магнитная проницаемость; к ухудшению электрических контактов; к наводкам и изменению параметров электрических, магнитных и электромагнитных полей; к деформации электрорадиоэлементов и т. д. [2].

Как следствие этих воздействий на электротехнических элементы, которые могут поменять параметры, либо претерпеть обратимые или необратимые изменения, возникают различные дефекты в работе электротехнического изделия такие как: различные виды помех в каналах передачи информации, снижение точности работы; выходу из строя или полному механическому разрушению элементов конструкции.

При выборе электрорадиоэлементов разработчики руководствуются не только требуемыми электрическими параметрами, но также и механическими, которые указываются в современных справочниках и каталогах.

Печатные платы, кроме размещения на них электротехнических элементов, в целом являются несущим элементом, служат основой для функциональных узлов. При проектировании и изготовлении печатных плат необходимо правильно выбрать материал, более полно отвечающий необходимым конструктивным, технологическим и эксплуатационным характеристикам плат. После выбора всех конструктивных характеристик платы, таких как, толщина, число слоев – рассчитывают допустимую толщину материала с учетом возможности проведения металлизации отверстий необходимого диаметра. Далее определяют марку материала, которая удовлетворяет необходимым электрофизическим и физико-механическим свойствам.

От варианта крепления печатной платы в самом корпусе зависят резонансные частоты и другие механические характеристики. Плохо закрепленная печатная плата будет изгибаться и со временем, после возникновения сначала микротрещин затем трещины, треснет или сломается.

При резких воздействиях, колебаниях температуры, которые постоянно испытывает печатная плата, узлы крепления подвергаются серьезным механическим нагрузкам и как правило наблюдаются разрывы в местах крепления. Как следствие дефектов платы, изложенных выше, происходит разрывы в электрической цепи, что приводит к нарушению работоспособности или полному выходу их строя электротехнического изделия.

Наиболее традиционное крепление печатных плат – винтовое соединение или защелки. В технической литературе приводятся формулы расчета собственных частот колебаний при этих видах крепления печатных плат в корпусе [2].

Так, например, в случае точечного крепления печатных плат (рис. 2) собственная частота колебаний рассчитывается по формуле

$$f_0 = 1,57 \left( A + \frac{1}{b^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{D}{m}},$$

где  $A=1/a^2$ , при  $n=4$ ;  $A=4/(a^2+b^2)$ , при  $n=5$ ;  $A=0,25/a^2$ , при  $n=6$ ;  $m$  – масса элементов, равномерно размещенных на плате;  $D$  – цилиндрическая жесткость платы;  $a, b$  – длина и ширина платы соответственно.

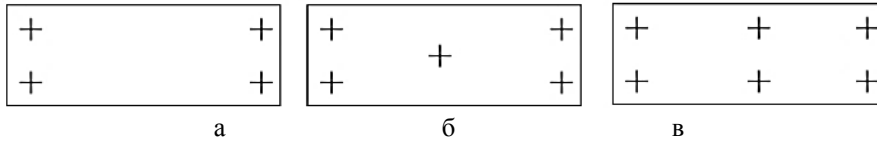


Рис. 2. Точечное крепление печатных плат

а – число точек крепления  $n=4$ , б –  $n=5$ , в –  $n=5$

Также в литературе приводятся формулы аналитического расчета плат с ребрами жесткости, многослойных плат и плат, крепящихся в направляющих.

На рис. 3 приведено четыре способа крепления печатных плат и соответствующие им коэффициенты усиления  $\alpha$ . Видно, что изменение свободного опирания на жесткое защемление увеличивает первую собственную частоту колебаний примерно в 1,8 раза.

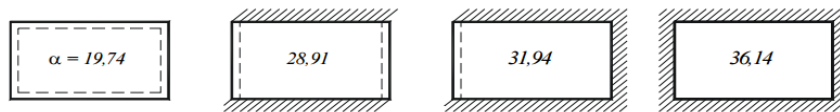


Рис. 3. Коэффициенты  $\alpha$  для различных способов крепления печатных плат

Помимо проведения аналитических расчетов при проектировании конструкции электротехнического устройства проводятся аналитическое моделирование, благодаря использованию современных CAD-систем (T-FlexCAD, SolidWorks, Ansis и т. д.). Посредством подобных систем возможно создание 3D-моделей элементов конструкции устройства (корпусных деталей и печатных плат), с назначением оптимального материала для соблюдения жесткостных и массогабаритных характеристик.

В качестве примера в табл. 1 приведены характеристики основных элементов устройства (основания и печатной платы) [3].

Таблица 1. Характеристики основных элементов устройства

Деталь	Материал	Масса, кг	Частота, Гц
Основание	Алюминий	3,7	820,4
Печатная плата	Стеклотекстолит	0,08	203,7

На рис. 4 представлены формы мод колебаний деталей устройства на первых собственных частотах колебаний.

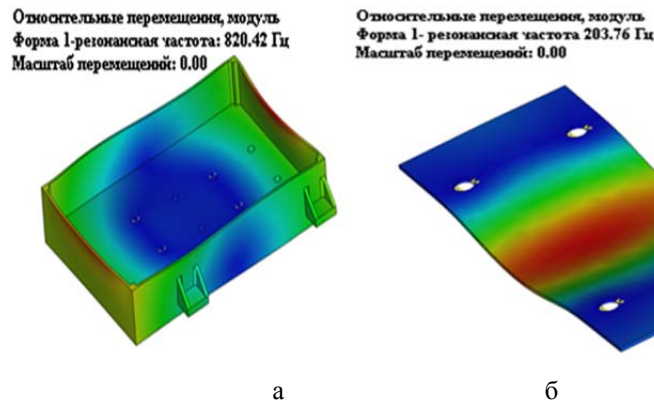


Рис. 4. Детали электротехнического устройства а – основание, б – печатная плата

Применение аналитических расчетов и методов моделирования позволяет на этапе разработки электротехнического устройства создать конструкцию, удовлетворяющую предъявляемым механическим требованиям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гормаков А.Н., Воронина Н.А. Конструирование и технология электронных устройств приборов. Печатные платы – ТПУ, Томск 2006 г.
2. Талицкий Е.Н. Защита электронных средств от механических воздействий. Теоретические основы: учеб. пособие. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 2001. – 256 с.
3. Определение частоты собственных колебаний печатных плат (Электронный ресурс: <http://polosk.narod.ru/units/U5T2.htm>)

#### **ВИБРАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОВЕНТИЛЯТОРА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Григорьев А.С.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Бритова Ю.А., ассистент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: agrigoriev177@gmail.com

#### **VIBRATION OF GENERAL PURPOSE MOTOR FAN CONSTRUCTION**

Grigoryev A.S.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Assistant Lecturer, PhD, Britova Yu.A.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: agrigoriev177@gmail.com

*Электровентиляторы находят применение в системах принудительной приточно-вытяжной и местной вентиляции систем и различных устройств, как в космической, так и морской технике. Проблема вибрации электровентиляторного оборудования является актуальной и требует от разработчиков применения современных методов аналитического и экспериментального анализа всех влияющих факторов.*

*Motor fans find usage in the systems of inflow exhaust and local ventilation of systems and different devices whether space or marine facilities. Vibration issue of motor fan facilities is important today and requires developers to implement modern analytic and experimental study methods of all affecting factors.*

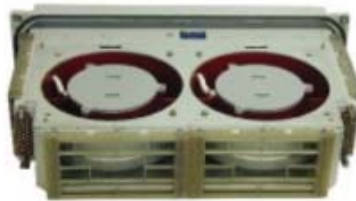
Существует большое количество различных видов и типов вентиляторов. Они могут различаться конструкцией и устройством, способом применения, условиями работы, а так же техническими характеристиками и параметрами. В общем случае вентилятор – ротор, с закреплёнными на нём определённым образом лопастями, приводящий в движения поток воздуха при вращении. Существует несколько видов по типу конструкции вентиляторов, используемых для перемещения воздуха, основными из них являются:

- осевые (аксиальные) – данный вид вентилятора содержит лопасти, которые перемещают воздух вдоль оси, вокруг которой они вращаются;
- центробежные (радиальные) – данный вид вентилятора имеет вращающийся ротор, состоящий из лопаток спиральной формы.
- диагональные – смешанный тип вентилятора, представляет собой смесь осевого и радиального вентиляторов.

Природа шумов и вибраций в электрооборудовании, в частности в электровентиляторах, может быть самой разнообразной. В качестве источников шумов могут выступать механические, электромагнитные, аэродинамические и другие особенности электрооборудования. Справится с подобными помехами сложно и это требует от разработчиков и производителей малошумного электрооборудования постоянного ведения работ и совершенствования уже имеющихся методов по следующим направлениям:

- создание и совершенствование методов, средств и оборудования для контроля и исследования виброакустических характеристик;
- разработка технологических норм, определяющих требования и нормы уровня вибрации приборов и оборудования;
- исследование физической природы возникновения вибраций и шумов и способов их уменьшения и устранения;
- разработка адекватных методов расчета виброакустических характеристик электрооборудования;
- разработка конструкции и технологии изготовления малошумного и маловиброактивного электрооборудования, включая разработку специальных материалов и комплектующих изделий.

В рамках подготовки магистерской диссертации проводятся исследования причин вибрации блока электровентиляторов производства АО «НПЦ «Полус» (г. Томск), предназначенного для вентилирования радиоэлектронной аппаратуры и состоящего из двух независимо работающих параллельных каналов вентиляции. Внешний вид блока представлен на рис. 1, основные характеристики приведены на сайте производителя [1].





*Рис. 1. Блок электровентиляторов*

При анализе причин вибрации блока электровентиляторов рассмотрены методы:

- аналитического моделирования элементов конструкции посредством современных систем автоматизированного проектирования (САПР);
- экспериментального определения вибрационных характеристик;
- аналитического и экспериментального определения собственных частот используемых в конструкции шариковых радиальных подшипников.

В качестве основной из существующих современных САПР использована система T-Flex CAD и интегрированная система конечно-элементных расчётов T-FLEX Анализ. Посредством данной системы разработаны 3D-модели основных конструктивных элементов объекта исследования и проведен расчет их собственных частот, данные сведены в табл. 1.

Таблица 1. 3D-модели основных конструктивных элементов объекта исследования и их собственные частоты

Элемент	Внешний вид	Частота, Гц
Корпус		563,7 766,7 822,2
Ротор		2176,5 3249,2 3258,4
Рабочее колесо		437,8 442,8 946,7
Электроventильатор		421,4 429,8 438,5
Блок электроventильаторов		393,3 438,5 439,1

При отработке экспериментальных методов определения вибрационных характеристик блока использовано современное оборудование испытательной базы предприятия НПЦ «Полнос». В качестве системы сбора и анализа данных используются модульные многоканальные системы PULSE или LMS SCADAS. Блок-схема испытаний для определения вибрационных характеристик блока представлена на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема испытаний

БЭ – блок электроventильаторов; ВИП – виброизмерительные преобразователи;

ПК – персональный компьютер

Результатами испытаний являются вибрационные характеристики блока, представленные в виде зависимости уровней виброускорения (в абсолютных/относительных единицах) в узкополосном или октавном спектре. Анализ полученных характеристик позволяет определить соответствие конструкции блока предъявляемым требованиям и проблемные частоты с повышенным уровнем вибрации.

При оценке возможных критических для конструкции блока собственных частот колебаний рассматривается вибрация шарикоподшипникового узла. В конструкции блока используются определенные типы шариковых радиальных подшипников качения с известными конструктивными параметрами. По общеизвестным техническим формулам определяются основные собственные частоты (табл. 2) [2].



Таблица 2. Собственные частоты

$f_c = 0,5 \left[ 1 - \left( \frac{2d_u}{D+d} \right) \cos q \right] \Omega$	частота вибрации, вызванная неуравновешенностью сепаратора шарикоподшипника
$f_e = 0,5 \left[ 1 + \left( \frac{2d_u}{D+d} \right) \cos q \right] z\Omega$	частота вибрации, вызванная дефектом внутреннего кольца шарикоподшипника
$f_n = 0,5 \left[ 1 - \left( \frac{2d_u}{D+d} \right) \cos q \right] z\Omega$	частота вибрации, вызванная дефектом наружного кольца шарикоподшипника
$f_{mk} = \left( \frac{d+D}{4d_u} \right) \left( 1 - \frac{4d_u^2}{(d+D)^2} \cos^2 q \right) \Omega$	частота вибрации, вызванная дефектом тела качения шарикоподшипника
где $\Omega$ – угловая скорость вращения; $D$ – диаметр наружного кольца шарикоподшипника; $d$ – диаметр внутреннего кольца шарикоподшипника; $z$ – количество тел качения (шариков); $d_u$ – диаметр тела качения (шарика); $q$ – угол контакта тел качения.	

Для экспериментального определения вибрационного разряда подшипников и их собственных частот используется современное стендовое оборудование, работа на котором организована по методикам входного контроля элементной базы.

Применение представленных методов определения и анализа вибрации конструкции блока электроклапанов позволяет создать конструкцию, удовлетворяющую предъявляемым требованиям, на этапе разработки и отработки опытного образца.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Открытое акционерное общество «Научно-производственный центр «Полюс». – (Электронный ресурс: <http://polus.tomsknet.ru>). Дата обращения: 04.04.2017.
2. Абдулов А.А., Маркитантов Б.С. Определение информативных частот при вибродиагностике подшипниковых узлов. – Л.: Судоремонт флота рыбной промышленности, 1985. – № 59. – С. 35–37.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЗ-КОМПАКТИРОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПЛОТНОСТИ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ КЛА

Досеке У.А.<sup>1</sup>, Петюкевич М.С.<sup>1</sup>, Двилис Э.С.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Хасанов О.Л., профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: dosekeev.ulantai@mail.ru

#### INVESTIGATION OF ULTRASOUND COMPACTING INFLUENCE ON THE STRUCTURES AND DENSITY FORMATION OF HIGH-FILLED ALUMINUM COMPOSITE MATERIAL FOR RADIATION PROTECTION OF ON-BOARD ELECTRONICS OF AIRCRAFT

Doseke U.A.<sup>1</sup>, Petyukevich M.S.<sup>1</sup>, Dvilis E.S.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Khasanov O.L.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: dosekeev.ulantai@mail.ru

Проведено исследование микроструктуры и фазового состава порошковых смесей AMg6-B4C-W с различным процентным содержанием наполнителей. Проведено компактирование порошковых смесей с ультразвуком и без него, проведено исследование плотностей и микроструктуры полученных образцов.

*The microstructure and the phase composition of the AMg6-B4C-W powder mixtures with a different percentage of fillers were studied. Compaction of powder mixtures with and without ultrasound was carried out, and the densities of the obtained samples were studied.*

Информационная жизнь общества во многом зависит от эффективной работы различного вида космических систем: это и прогноз погоды, и разведка полезных ископаемых, и мониторинг окружающей среды, и развитие телекоммуникаций и телевидения, и обеспечение обороноспособности. Основной проблемой обеспечения надежности телекоммуникационных космических аппаратов заключается в необходимости защиты бортовой электроники космических аппаратов (КА) от воздействия ионизирующих излучений на орбите. Первые КА функционировали всего в течение года. В настоящее время стоит задача обеспечения сроков активного существования бортовой электроники КА в течение 10–15 лет. Существует необходимость улучшения качества и эффективности действия материалов защиты от ионизирующих излучений [1]. Для решения указанной проблемы необходимо обеспечить существенное снижение массогабаритных характеристик радиационно-защитных изделий, что может быть достигнуто путем использования радиационно-защитных композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы, обладая удовлетворительными механическими свойствами, при эксплуатации в режиме повышенного радиационного излучения подвержены разбуханию и структурным изменениям, которые могут быть предотвращены путём использования металлов, модифицированных керамическими наполнителями со специфическими ядерно-физическими свойствами. В результатах исследований [2] установлено, что использование наноразмерных частиц радиационно-поглощающих керамических и металлических материалов (BN, B<sub>4</sub>C, Pb и W) приводит к увеличению коэффициента поглощения нейтронов в 1,5 раза и коэффициента рассеяния гамма-излучения на 30–40 %. Применение порошков радиационно-поглощающих керамических материалов в качестве дисперсных наполнителей радиационно-защитных композитов с металлической матрицей обусловлено низкой адгезией металла и керамики.

**Целью настоящей работы** являлось создание высокоплотного алюмоматричного композиционного материала с добавлением наноразмерного порошка вольфрама и ультрадисперсного порошка карбида бора для обеспечения защиты от ионизирующих излучений без использования спекания.

**Материал и методика исследований.** Материалами исследования являются композиционные материалы AMg<sub>6</sub>-B<sub>4</sub>C-W с различным содержанием наполнителей. Для изготовления радиационно-защитного композита были выбраны порошок алюминиевого сплава AMg<sub>6</sub> в качестве несущего механическую нагрузку материала матрицы, ультрадисперсный порошок карбида бора в качестве нейтронозащитного наполнителя и нанопорошок вольфрама в качестве дисперсного наполнителя для поглощения гамма и рентгеновского излучения. Сухое смешивание порошковых компонентов AMg<sub>6</sub>-B<sub>4</sub>C-Wc выбранным массовым содержаниями 65-15-20 мас. % (Состав 1) и 74-6-20 мас. % (Состав 2) соответственно проводили в шаровой мельнице с остальными мелющими телами в течение 5 часов. Массовое содержание компонентов состава 1 было выбрано произвольным образом, массовое содержание компонентов состава 2 было выявлено методом моделирования [3]. Полученные композитные смеси порошков подвергали консолидации методом одностороннего одноосного прессования в закрытых жёстких пресс-формах с приложением ультразвука и без него. Исследование морфологии, фазового и элементного состава композита осуществляли, используя аналитическое оборудование Нано-центра Томского политехнического университета: сканирующий электронный микроскоп JEOLSEM-750FA, рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-7000, лазерный анализатор размера частиц Shimadzu SALD-7101, БЭТ-анализатор МЕТА СОРБИ-М.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Был проведен комплексный анализ порошковых компонентов смеси. Порошок алюминиевого сплава АМгб состоит из частиц формой, близкой к сферической, с широким (до 2 порядков величины) разбросом по их размерам. Сопоставление с результатами БЭТ-анализа указывает на слабую степень агломерации порошка.

Порошок карбида бора имеет близкую к равноосной форму частиц с широким (до 2 порядков величины) разбросом по размеру. Анализы методами РФА и EDS посторонних примесей в порошке не обнаружили; результаты БЭТ показали среднюю степень агломерации ультрадисперсной фракции порошка.

Нанопорошок вольфрама имеют сферическую форму и широкое (2,5 порядка величины) мультимодальное распределение по размерам. Примесей не обнаружено. Сопоставление с результатами БЭТ-анализа указывает на существенную степень агломерации частиц порошка. После проведения смешивания также были проведены исследования смесей, которые показали, что в ходе смешивания механоактивации смеси не произошло и новые фазы не образуются. Далее было проведено прессование смесей и измерена плотность полученных прессовок.

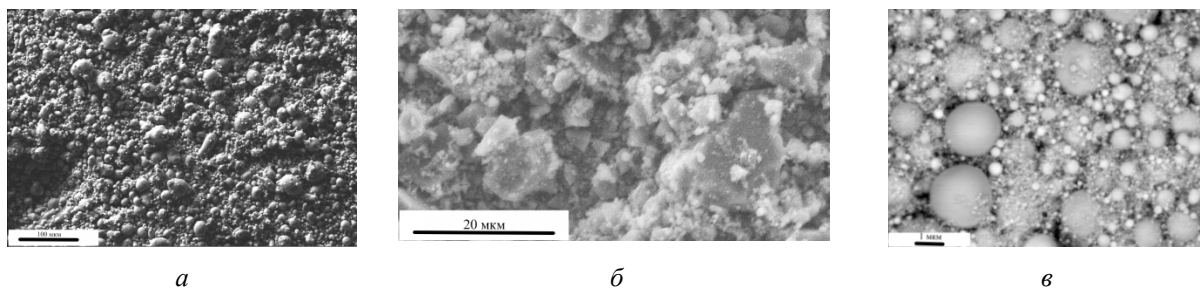


Рис. 1. СЭМ изображения порошков: а) порошок алюминиевого сплава АМгб б) порошок карбида бора в) нанопорошок вольфрама

Для получения образцов композитных материалов использовали метод одноосного прессования в закрытых жестких пресс формах с приложением ультразвука и без него. В качестве перспективных режимов, дающий высокую плотности образцов, были выбраны давления прессования 95 МПа, частота ультразвука 24 кГц. Внутренний диаметр пресс-формы составлял 14 мм.

Таблица 1. Плотности полученных образцов

№ смеси	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Относительная плотность, %	Относительная плотность с УЗ, %
1	3,125	85,84	86,22
2	3,136	91,61	93,63

Плотность композитов, полученных с приложением ультразвуковых колебаний достигает 93,6 %, что значительно превышает плотность образцов полученных при обычном прессовании. В табл. 1 представлены значения плотности полученных образцов. По изображениям, полученным на электронном микроскопе (рис. 2), можно сделать вывод о том, что в результате ультразвукового компактирования происходит более плотное прилегание частиц материала друг к другу, что по-видимому и способствует увеличению относительной плотности образцов.

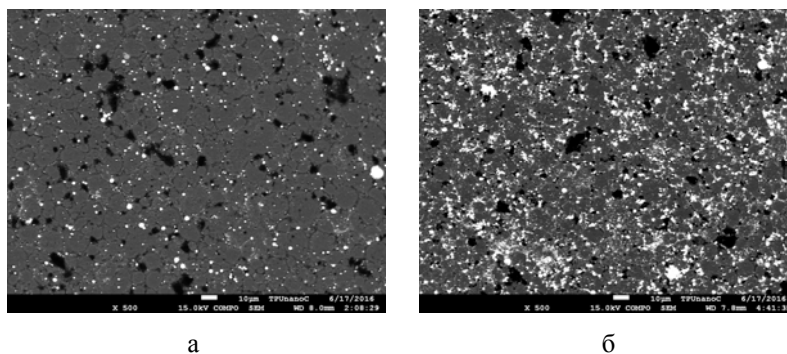


Рис. 2. СЭМ-изображение структуры композита  $AMg6-B_4C-W$ : а) без УЗ воздействия б) с УЗ воздействия

Проведённые исследования морфологических и структурных характеристик композитного материала на основе полидисперсных смесей порошков алюминиевой матрицы, вольфрама и карбида бора, а также процессов их консолидации в объёмные образцы, позволяют сделать выводы о том, что применение ультразвуковых колебаний при прессовании способствует повышению относительной плотности. Таким образом, был выявлен режим компактирования, который позволит оптимизировать затраты на достижение максимальной плотности и минимизировать массогабаритные характеристики изделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите: учебное пособие / В.И. Беспалов. – 2-е изд., расш. и перераб. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – С. 382–401.
2. Гульбин В.Н., Петрунин В.Ф. Исследование радиационнозащитных нанокompозитов. Физикохимия ультрадисперсных (нано-) систем. Материалы VIII Всероссийской конференции. – М.: Белгород, 2008.
3. Dvilis E. S., Khasanov O. L., Gulbin V. N., Petyukevich M. S., Khasanov A. O., Olevsky E. A. Spark Plasma Sintering of Aluminum-Magnesium-Matrix Composites with Boron Carbide and Tungsten Nano-powder Inclusions: Modeling and Experimentation JOM The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2016.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ КАРТИНЫ ПОЛЯ БЕТАТРОНА

Затонов И.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Штейн М.М., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: ivan.zatonov@yandex.ru

#### INVESTIGATION OF THE BETATRON'S HEAT PATTERN FIELD

Zatonov I.A.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Shtein M.M.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: ivan.zatonov@yandex.ru

*Данная работа посвящена возможности использования программ для численного моделирования теплового поля бетатрона. Приведены свойства материалов составных частей бетатрона для проведения расчета теплового поля. Рассмотрен тридцатиминутный этап нагрева электромагнита и обмоток излучателя бетатрона. Определены наиболее перегретые участки конструкции излучателя бетатрона.*

*The paper is devoted to the possibility of using programs for numerical simulation of the betatron thermal field. The properties of the betatron parts' composite materials are given for the calculation of the thermal field. A thirty-minute stage of heating the electromagnet and windings of the betatron emitter is considered. The most overheated sections of the betatron radiator design are determined.*

**Введение.** Аэрокосмическая индустрия играет незаменимую роль для Российской Федерации. Данная отрасль оказывает положительное воздействие на экономический рост, научно-технический прогресс, а также военную безопасность страны. Кроме того, аэрокосмическая деятельность имеет ярко выраженную ориентацию на широкое развитие международных отношений. Исходя из этого, целью стратегии развития космической деятельности является обеспечение мирового уровня российской космонавтики и закрепление лидирующей роли России в области космической деятельности.

Радиационный метод контроля нашел свое широкое применение в аэрокосмической индустрии в связи с высокой доступностью, информативностью, относительно низкой стоимости и другими качествами. Применение бетатронов, как источников ионизирующего излучения в радиационном методе контроля занимает незаменимую роль. По этой причине, обеспечение безотказной работы бетатрона является стратегической целью разработчиков. Одной из актуальных проблем в теории бетатростроения, является наличие тепловых потерь в активных частях бетатрона. Под такими активными элементами понимаются элементы, выполненные из ферромагнитных материалов, которые находятся в магнитном поле и элементы, служащие проводниками электрического тока. Поскольку процесс распространения тепла – самопроизвольный, он оказывает влияние на формирование теплового состояния не только активных элементов, но и окружающих их остальных частей устройства. При этом часть выработанного активными элементами тепла теряется в окружающую среду. Потери тепла приводят к снижению полезной мощности устройства, что требует компенсации расходуемой энергии и увеличения затрат [1].

Таким образом, остро встает вопрос о возможности численного моделирования тепловых полей электрических устройств.

Одним из важнейших требований, которые ставятся перед производителями бетатронов, является обеспечение длительной работы ускорительных установок без опасного превышения температуры в любой из точек конструкции электромагнита.

Конструкция электромагнита напрямую влияет на фокусирующие свойства магнитного поля излучателя бетатрона. Производители стремятся добиться высоких показателей ресурсоэффективности, в том числе – уменьшения массо-габаритных характеристик. По этой причине вопросам конструирования электромагнитов бетатронов посвящено множество научных работ. В свою очередь, тепловому расчету излучателя бетатрона уделено мало внимания.

Целью данной работы является определение слабых мест в конструкции электромагнита бетатрона с точки зрения перегрева, а также изучение процесса охлаждения электромагнита.

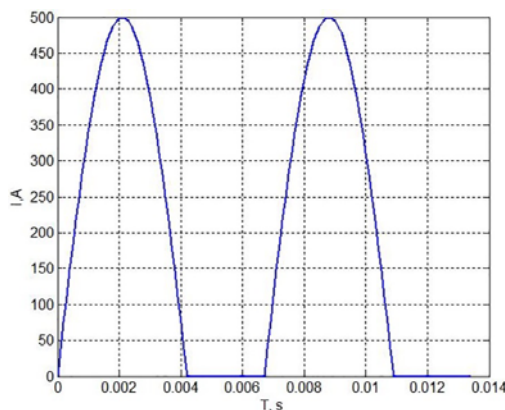
Согласно [2], как правило, тепловые расчеты для электромагнитов проводятся при помощи способов и методов, заимствованных из трансформаторостроения по причине значительных накопленных знаний их расчета.

Процессы нагревания и охлаждения электромагнита бетатрона отличается от аналогичных процессов для трансформатора следующими аспектами:

- Зазор, образуемый формой полюсов, меняет ход тепловых потоков в электромагните. Следует отметить, что именно эта часть электромагнита вместе с боковыми стенками шунтов образуют контур, выделяющий наибольшее количество тепла на единицу объема;

- Полюса и шунты набираются из электротехнической стали, расположенных радиально;
- Однополярный импульсный режим работы, используемый в отличие от работы [2] в большинстве современных типов бетатронов

Форма и величина импульсов тока в обмотках исследуемой модели бетатрона, представлены на рис. 1:



*Рис. 1. Форма и величина импульсов тока в на обмотках бетатрона*

Импульсы на рис. 1 представляют собой синусоидальную полуволну с амплитудой 500 А и полупериодом – 4,2 мс. Частота повтора импульсов – 150 Гц.

Расчет магнитных потерь производится по известным методикам, которые подробно описаны в [3]. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

*Таблица 1. Источники выделения тепла*

Источник	Потери, Вт
Обратный магнитопровод	461.85
Полюса	96.6
Шунты	13.48
Обмотки	475.166

Таким образом, наибольшими потерями обладают обратный магнитопровод и обмотки. Судить о том, какой из элементов будет обладать наивысшей температурой, руководствуясь данными о потерях в стали и меди рано. Необходимо брать в учет объем деталей и условия охлаждения.

Другие пассивные и активные элементы находящиеся внутри корпуса электромагнита также являются источниками теплового излучения, но в данной модели ставится задачи определить картину температурного поля, создаваемую только магнитопроводом и обмотками.

При помощи программ конечно-элементного анализа было проведено численное моделирование тепловой картины поля бетатрона. Для начала необходимо создать трехмерную модель в среде CAD. Создание трехмерной модели бетатрона производилось в среде автоматизированного проектирования «T-flex CAD» (рис. 2).

В ходе моделирования было создано шесть основных моделей, представленных на рис. 1. Поскольку на базе данной модели планировалось проводить анализ, модель была выполнена в масштабе 1:1.

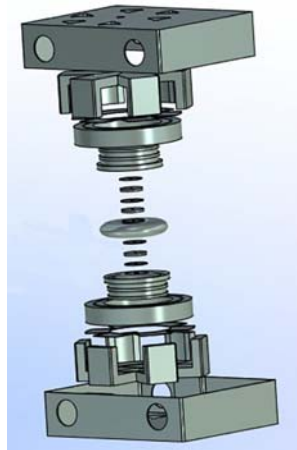


Рис. 2. Электромагнита бетатрона в разобранном виде

Для упрощения модели использовались материалы, встроенные в библиотеку программы, по этой причине дюралюминий, из которого выполнен корпус прибора заменен на алюминий, а молибденовое стекло марки с-49 на керамическое стекло. Данные элементы не являются источниками теплового излучения, по этой причине замена материалов не оказывает значимого воздействия на результат решения.

В табл. 2 приведены свойства материалов, необходимые для решения тепловой задачи в программе.

Таблица 2. Свойства алюминия, используемого в модели

	Удельная теплоемкость $C$ , Дж/(кг*К)	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м*К)	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Показатель адиабаты $\gamma$ , (при $T=20$ °С)
Алюминий	900	238	2700	–
Воздух	1005	0.022	1,2041	1.4
Электротехническая сталь 3408	500	58	7620	–
Стекло	730	1,4	2210	–
Стеклотекстолитовые прокладки	960	0,37	1900	–
Медь	385	400	8960	–

Наиболее распространенные режимы работы бетатрона: «45 минут работы – 15 минут охлаждение», «30 минут работы – 30 минут охлаждение». В данной работе был рассмотрен первый этап 30-минутной нагрузки бетатрона.

Поскольку конструкция бетатрона представляет симметричную деталь, было принято решение проводить расчеты для половины модели, чтобы упростить процесс наложения сетки и ускорить решение задачи.

Согласно температурному распределению можно сказать, что наибольшему нагреву подвергаются галеты и обмоток. Наибольшая зафиксированная температура на тридцатой минуте работы наблюдается в обмотках и составляет 48,6 °С.

При формулировке задачи в программе было задано условие, что отверстия для вентиляторов (рис. 4.1) обладают постоянной температурой, равной 20 °С. Отток тепла производится как через корпус прибора, так и через отверстия в корпусе бетатрона (рис. 4.1).

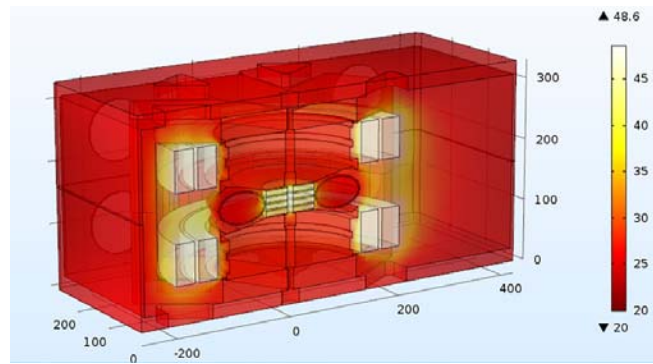


Рис. 3. Распределение температуры при  $t=30$  мин

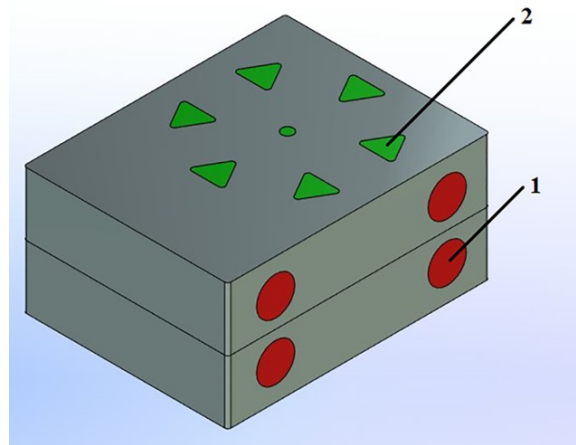


Рис. 4. Поверхности, через которые происходит теплообмен, где 1 – поверхности с постоянной температурой равной температуре окружающей среды; 2 – поверхности оттока тепла

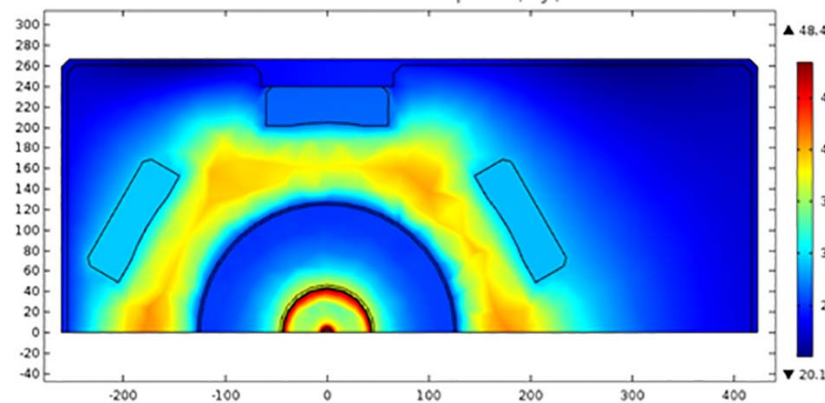


Рис. 5. Температурное распределение в плоскости  $xy$  при  $z=165.0015$

Данная плоскость  $xy$  при  $z=165.015$  является горизонтальной плоскостью симметрии конструкции бетатрона и проходит через стеклотекстолитовую прокладку. Как видно по рисунку прокладки наибольшим образом прогреваются на крайних радиусах.

В ходе моделирования, кроме расчета температурной картины поля, также были получены зависимости изменения температуры со временем. На рис. 8 и 9 представлены вышеупомянутые зависимости для наиболее нагретых элементов конструкции излучателя бетатрона – галетных блоков и обмоток.



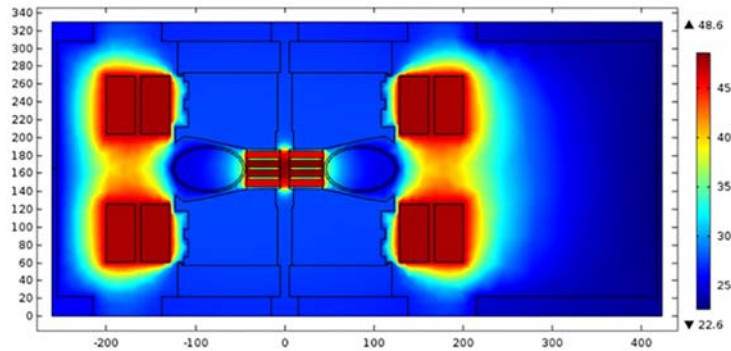


Рис. 6. Температурное распределение в плоскости xz при  $y=0$

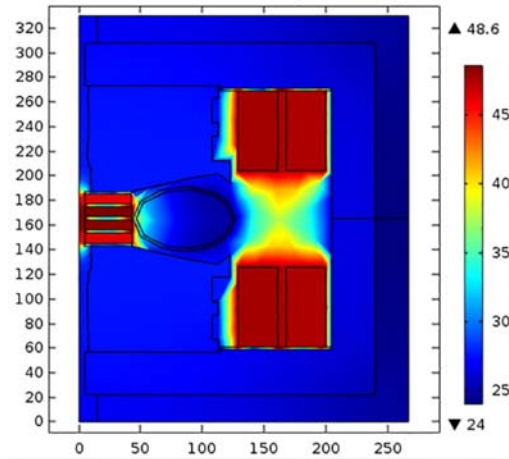


Рис. 7. Температурное распределение в плоскости yz при  $x=0$

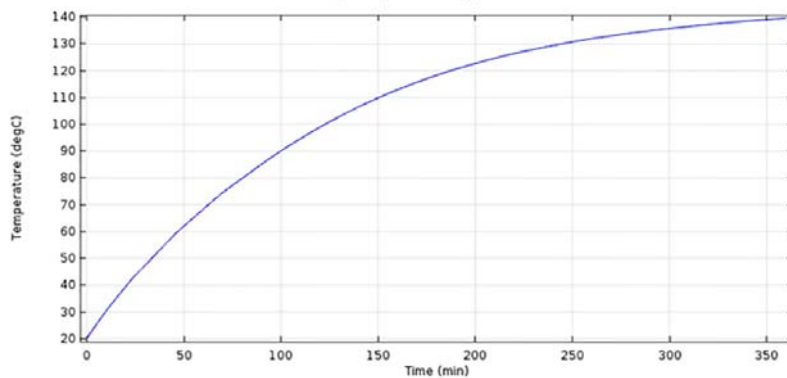


Рис. 8. Процесс нагрева галетных блоков

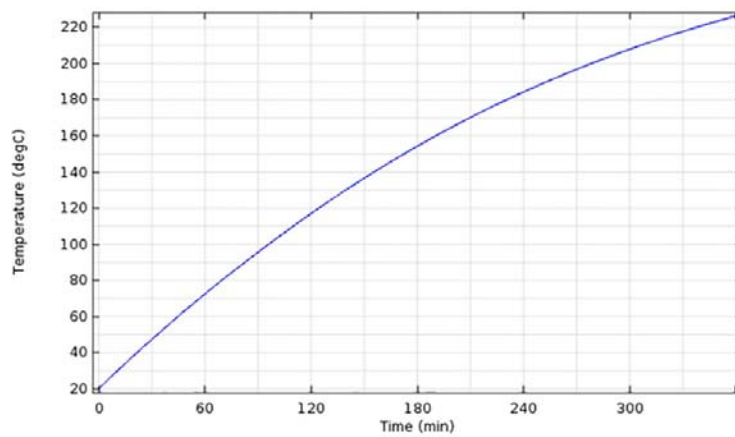


Рис. 9. Процесс нагрева обмоток

Рис. 8 и 9 демонстрируют, что температура в источниках теплового излучения с течением времени изменяется экспоненциально. Данные кривые будут описываться уравнением [1]:

$$T(t) = a * [1 - \exp(-b * t)],$$

где  $T(t)$  – температура во время этапа нагрева;  $a, b$  – коэффициенты аппроксимации;  $t$  – момент времени.

**Заключение.** Реальная конструкция бетатрона обладает гораздо большей величиной тепловых потерь. Вероятная причина несоответствия реальной температуре к экспериментально рассчитанной – ошибка при определении коэффициентов Маренина–Штейнмеца, которые определяются по кривой зависимости потерь от индукции в электромагните. Для устранения данной ошибки необходимо повторно произвести замеры потерь в стали.

Между тем, модель наглядно демонстрирует наиболее перегретые участки конструкции бетатрона и может быть использована для анализа воздушных потоков, которыми обдуваются источники теплового излучения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов В.С. Нестационарные температурные режимы и тепловые потери активных элементов с произвольным числом циклов нагрузка-пауза / В.С. Логинов, В.Е. Юхнов; Мин-во образования и науки РФ, Федер. агентство по образованию, Томский политех. ун-т. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 153 с.
2. Шипунов И.В. Вопросы теплового расчета электромагнитов бетатронов [Электронный ресурс] / И.В. Шипунов // Известия Томского политехнического института [Известия ТПИ] / Томский политехнический институт (ТПИ). – Изд-во ТПИ, 1957. – Т. 87: Электронные циркулярные ускорители. – [С. 106–119]. – Заглавие с титульного листа. – Электронная версия печатной публикации. – С. 119.
3. Васютинский С.Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов. – Л.: Энергия, 1970. – 432 с.

#### **ИМИТАТОР ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ НАНОСПУТНИКОВ**

Зубенко А.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Гормаков А.Н., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный Исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: Anna.zubenko0712@gmail.com

#### **THE GEOMAGNETIC FIELD SIMULATOR FOR GROUND-BASED TESTING OF NANOSATELLITE ORIENTATION SYSTEMS**

Zubenko A.A.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Gormakov A.N.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, 30 Lenin ave., Tomsk, 634050  
E-mail: Anna.zubenko0712@gmail.com

*В статье приводится обзор существующих отечественных и зарубежных стендов для полунатурного моделирования систем ориентации наноспутников. Проведен их сравнительный анализ по основным техническим характеристикам. Определены общие тенденции в структуре стендов. Приведены результаты проектирования имитатора геомагнитного поля для обеспечения испытания наноспутников размером не превышающих границ сферы диаметром 100 мм.*

*The article provides an overview of existing domestic and foreign stands for semi-realistic modeling of nanosatellite orientation systems. Their comparative analysis on the basic technical characteristics is carried out. The general trends in the structure of the stands are determined. The results of designing a geomagnetic field simulator for providing a test of nanosatellites of a size not exceeding 100 mm diameter spheres are given.*

Для вывода спутника с магнитной системой ориентации на орбиту необходимо отработать способы его управления в полунатурных условиях, для этого требуется создание наземного стенда. Для создания подобных условий необходимо имитировать геомагнитное поле с характером изменения, аналогичным при движении спутника по орбите. В зоне однородности магнитного поля (МП) устанавливается макет спутника. Он представляет собой конструкцию с точкой опоры в виде шарнира, расположенного максимально близко к центру масс, что минимизирует возмущающее влияние на динамику макета спутника. Результаты поведения опытного образца дадут информацию о перемещениях макета при его движении по орбите.

Стенд для моделирования состоит из макета спутника и имитатора поля. Имитатор создает магнитное поле, а макет спутника содержит в себе элементы, которые взаимодействуют с этим магнитным полем. Это могут быть магнитные катушки или постоянные магниты, через которые устанавливается ток системой управления. Для управления макетом можно использовать систему управления настоящим спутником, это поможет исключить издержки на создание собственной системы управления макетом.

Подобные стенды уже существуют и активно применяются для испытаний. Одними из самых известных на сегодняшний день считаются стенды SX-025, SX-150, SX-MAGSIM-02, и TES-6H-22g. Их функциональность позволяет произвести все необходимые манипуляции для тестирования работы наноспутника перед его эксплуатацией в реальных условиях космоса [1–4].

Все указанные стенды имеют идентичную структуру работы, которую можно рассмотреть на примере стенда SX-025 (рис. 1).



*Рис. 1. Стенд SX-025*

Стенд полунатурного моделирования способен решить следующие задачи:

- Испытания функционирования системы ориентации малогабаритных спутников;
- испытания и калибровка отдельных компонентов систем ориентации (датчики, программное обеспечение и т. д.);
- испытания алгоритмов определения ориентации и стабилизации, математическое моделирование

Состав аппаратно-программного комплекса:

- имитатор МП
- аэродинамический подвес с арретиром;
- поворотная плита, установленная на аэродинамический подвес;
- система независимых измерений;

- ПК для управления стендом
- программное обеспечение

Назначение аппаратно-программного комплекса:

- Исследование и проверка алгоритмов ориентации и стабилизации МКА в пространстве;
- Отработка и улучшение алгоритмов управления спутником на орбите;
- Обучение инженеров космических специальностей практическим навыкам управления МКА.

Имитатор МП:

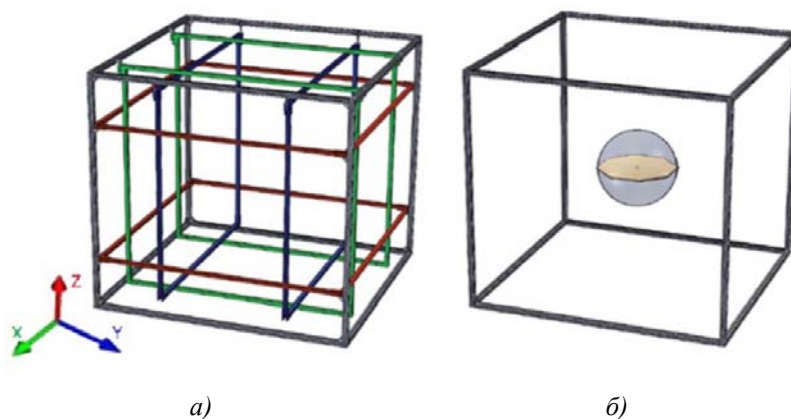


Рис. 2. Структура формирующих элементов поля имитатора (а) и пространственная модель однородного поля имитатора (б)

Среди стендов полунатурного моделирования представлен широкий ряд установок с различными характеристиками, среди которых можно подобрать наиболее подходящие под заявленные требования.

Макет спутника должен полностью находиться в зоне однородности магнитного поля. Области однородности, ограниченной сферой радиусом 100 мм будет достаточно для проведения испытаний.

Магнитное поле, удовлетворяющее заданным требованиям, проще всего создать с помощью катушек, т. к. использование сердечников создаст неудобства при изменении поля из-за возникновения эффекта гистерезиса. Так же, это связано с дороговизной установки, поскольку диаметр сердечника должен быть больше диаметра однородности магнитного поля, которое должно удовлетворять требованию 100 мм.

Радиус катушки обозначим как  $a_c$ , расстояние между катушек –  $d_c$ . Примем  $d_c/a_c=1,116$ , что удовлетворяет предпочтительному геометрическому расположению. Поле, создаваемое на оси, проходящей через центры каждой катушки, является номинальным для этой пары. Напряженность такого поля определяется следующей формулой [5]:

$$H = \frac{NI}{a_c \left( \left( \frac{d_c}{2a_c} \right)^2 + 1 \right)^{\frac{3}{2}}},$$

где  $NI$  – количество ампер-витков в каждой из катушек.

В результате исследования была построена модель колец намагничивания в пакете Comsol Multiphysics. На рис. 4, а представлена 3D-модель катушек и определена зона однородности магнитного поля, на рис. 4, б представлена 2D-модель этих же катушек с изображением характера распространения магнитного поля [6].

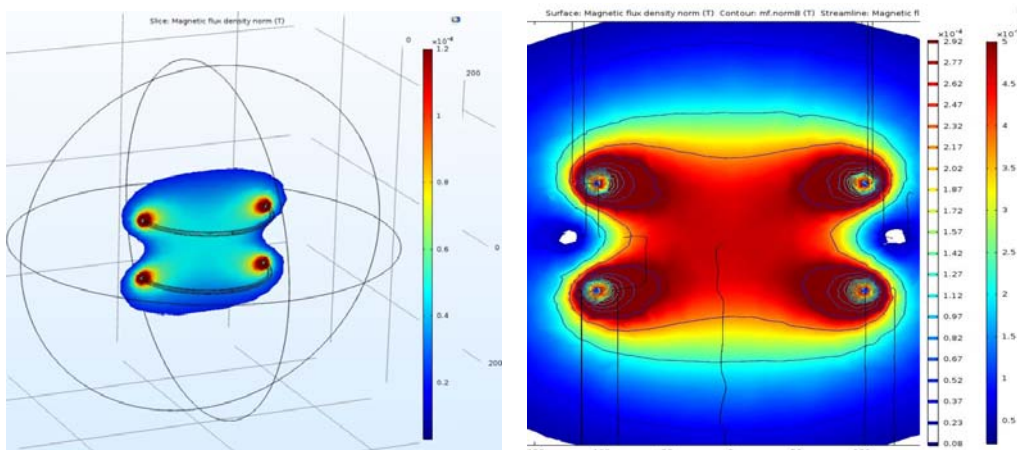


Рис. 4. 3D- и 2D-модели катушек с характером распространения индукции магнитного поля

Катушки круглой геометрической формы имеют меньшие размеры по сравнению с квадратными, при условии, что создается одинаковый объем однородного МП. С точки зрения энергетики, круглые кольца в такой конфигурации также являются оптимальными. Так же, с экономической точки зрения, круглые катушки использовать целесообразнее. На основании проведенного анализа следует отдать предпочтение структуре формирующих элементов имитатора магнитного поля Земли на базе круглых колец.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СПУТНИКС. Стенд моделирования SX-025. – (Электронный ресурс: [http://www.sputnix.ru/ru/products/test-stands-system/item/244-adcs\\_stands\\_sx\\_25\\_ru](http://www.sputnix.ru/ru/products/test-stands-system/item/244-adcs_stands_sx_25_ru)).
2. СПУТНИКС. Стенд моделирования SX-150. – (Электронный ресурс: <http://www.sputnix.ru/ru/products/test-stands-system/item/259-facility-gnd-120-ru>).
3. СПУТНИКС. – (Электронный ресурс: [www.sputnix.ru](http://www.sputnix.ru)).
4. Остек-Тест. – (Электронный ресурс: <http://www.ostec-test.ru/catalog/equipment/stendy-polunaturnogo-modelirovaniya/pyatiosevye-stendy-polunaturnogo-modelirovaniya/>).
5. Институт прикладной математики. – (Электронный ресурс: <http://www.keldysh.ru/>).
6. COMSOL Multiphysics. – (Электронный ресурс: <http://www.comsol.com/>). Дата обращения 18.03.2017).

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ КРИОВОЗДЕЙСТВИЯ С ПОМОЩЬЮ ИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Королюк Е.С.<sup>1</sup>, Ханахмедова Г.Б.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Бразовский К.С., д.м.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: esk13@tpu.ru

#### INCREASING THE EFFICIENCY OF DETERMINING THE EXTENT OF CRYOTHERAPY USING IMPEDANCE TOMOGRAPHY

Korolyuk E.S.<sup>1</sup>, Khanakhmedova G.B.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Dr., Brazovsky K.S.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: esk13@tpu.ru

*Одной из основных проблем при анализе воздействия холода на исследуемый объект является трудность в быстром определении границы и глубины криовоздействия. Повысить точность определения этих значений мешает сложность состава, различная скорость охлаждения и высокий градиент температур. Для решения описанных проблем в данной статье рассматривается метод оценки криовоздействия с помощью измерения импеданса (импедансной томографии). Также продемонстрированы результаты экспериментальных исследований поглощения спектра электрического сигнала при различной температуре исследуемой жидкости (льда). Полученные результаты экспериментов показали, что данный метод может успешно применяться как в медицине, так и в промышленности.*

*One of the main problems in analyzing the freezing effect on the test object is the difficulty to quickly identify the boundary and depth of cryotherapy. The complexity of the composition, different cooling rates and high temperature gradient make it difficult to improve the accuracy of identifying these values. To solve the aforementioned problems, the author considers a method for evaluating cryotherapy by measuring impedance (impedance tomography). The experimental research demonstrates the results of electronic absorption spectrum at different temperatures of the test liquid (ice). The obtained experimental results show that this method can be successfully applied both in medicine and industry.*

Развитие технологий за последние годы позволяет заново пересмотреть различные проблемы в медицине и промышленности, связанные с трудностью определения криовоздействия. [1] Например, одной из основных проблем в криомедицине на сегодняшний день является трудность выполнения точных операций с помощью холодного воздействия – определения глубины промерзания ткани и крионекроза. Ранее [1] был предложен неинвазивный, безболезненный и высокоточный (по сравнению с временными методами) метод измерения глубины промерзания ткани с помощью измерения импеданса.

В медицине о возможности измерения глубины промерзания ткани с помощью импеданса известно достаточно давно [2]. Основными недостатками инвазивного метода являются из ввода иглы в исследуемую ткань. Можно выделить следующие проблемы, вследствие которых падает точность инвазивного метода:

- Неоднородная скорость охлаждения ткани и металлической иглы, из-за чего область вокруг проникновения иглы замерзнет быстрее, чем прилегающая охлаждаемая область.
- Образование жидкости между контактом игла-ткань, которая также будет замерзать быстрее прилегающих областей.
- Поляризация электрода или тканей биообъекта, что может вызвать дрейф изолинии и понизить точность в измерении.
- В охлаждаемом участке могут находиться различные слои или участки (например, жировой ткани), где скорость охлаждения может быть разной. Вследствие чего область крионекроза будет неоднородна.

Устранить описанные выше недостатки можно неинвазивным измерением распределения импеданса внутри исследуемого объекта – импедансной томографии. Для получения необходимого представления об исследуемом объекте необходимо производить независимые измерения прохождения электрического тока зондирующей формы с различной частотой от 1 до 2 МГц и амплитудой до 10 мА. Дифференцирующий сигнал между парой электродов подается АЦП, а затем обрабатывается на персональном компьютере, микроконтроллере или другой системе.

Данный метод интересен для криомедицины, так как обладает высокой чувствительностью, что важно для определения границы холодного воздействия. В будущем этот метод позволит визуализировать область ткани перед операцией для проведения более точного воздействия, во время операции визуализировать границу замершей области ткани, после окончания операции определить границы крионекроза. В промышленности привлекательность метода заключается в быстром и надежном анализе

повреждений сложных неоднородных композитных материалов в качестве дополнительного метода контроля.

Макет установки для анализа холодного воздействия на исследуемый объект представлен на рис. 1. Генератором зондирующего воздействия выступает высокоскоростной цифро-аналоговый преобразователь AD9764AR [4]. Управление преобразователем выполняется с помощью микроконтроллера Stm32f103 [5]. Запись сигналов осуществляется с помощью быстродействующего модуля АЦП E20-10 [6].

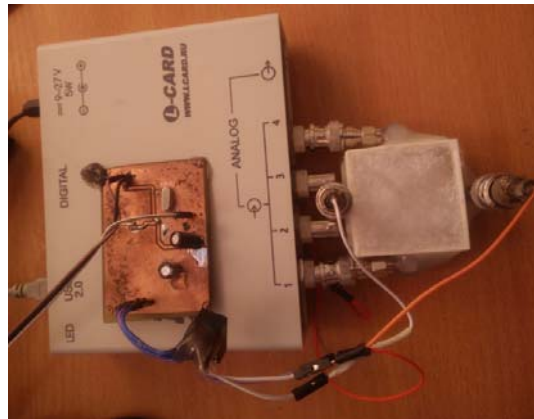


Рис. 1. Внешний вид макета установки для проведения импедансной томографии

В данной работе с помощью этой системы были проведены экспериментальные исследования по анализу частотного поглощения зондирующих электрических сигналов в минеральной воде при различной температуре. В качестве образца использовалась лечебно-столовая минеральная вода «Ессентуки № 4» со следующим составом [3]: минеральные соли (гидрокарбонат  $\text{HCO}_3^-$ ) 3400–4800 мг/л, природные соли серной кислоты (сульфат  $\text{SO}_4^{2-}$ ) < 25 мг/л, соли хлороводородной кислоты (хлорид  $\text{Cl}^-$ ) 1300–1900 мг/л и др.

На рис. 2 отображены результаты экспериментов, проведенных при различных температурах жидкости. В ходе опыта использовался разработанный макет установки.



Рис. 2. Спектральная характеристика поглощения сигналов при различной температуре в жидкости (льде), где: 1 – минус 18 °С, 2 – минус 7 °С, 3 – плюс 4 °С. Ось Y – действующее значение напряжения в логарифмической шкале измерения, ось X – частота в герцах

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены результаты, показывающие зависимость частотного поглощения электрических сигналов от температуры исследуемой жидкости. Полученные данные показывают, что в частотном диапазоне от 0 до 1,2 МГц наблюдается усиление поглощения спектра при таянии льда, а также подтверждают возможность определения степени

охлаждения объекта с помощью импедансной томографии. Ослабление спектра в широком диапазоне обусловлено простотой исследуемого образца. В дальнейшем планируются эксперименты с более сложными биологическими объектами – мышечной и жировой тканью. Используя полученные результаты (спектральную характеристику поглощения сигналов) будут проведены экспериментальные исследования по определению глубины промерзания ткани и величины крионекроза.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королук Е.С., Бразовский К.С. Повышение эффективности криодеструкции с помощью измерения глубины промерзания ткани // Наука. Технологии. Инновации: Труды X всероссийской научно-практ. конф. молодых ученых. – Новосибирск, 2016. – Т. 6. – С. 96–97.
2. Метод определения времени промерзания слизистой оболочки полости рта на заданную глубину. Эпштейн В. Г., Точилова Р. В. // Криобиология и Криомедицина, 1984. – (Электронный ресурс: <https://goo.gl/xN7QSW>). Дата обращения 5.03.2017.
3. Эссенуки (минеральная вода). – (Электронный ресурс: <https://goo.gl/Dm4qEf>). Дата обращения 10.03.2017.
4. The AD9764 is the 14-bit resolution, high performance, low power CMOS digital-to-analog converter. – (Электронный ресурс: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9764.pdf>). Дата обращения 05.03.2017.
5. STM32F103-STMicroelectronics. – (Электронный ресурс: <https://goo.gl/StWQRE>). Дата обращения 06.03.2017.
6. Быстродействующий модуль АЦП / ЦАП E20-10 на шину USB. – (Электронный ресурс: <http://www.lcard.ru/products/external/e20-10>). Дата обращения 07.03.2017.

#### **УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИТОВ**

Маликов Р.А.<sup>1</sup>, Чулков А.О.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Вавилов В.П., профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: ram7@tpu.ru

#### **ULTRASONIC THERMOGRAPHIC CONTROL OF COMPOSITES**

Malikov R.A.<sup>1</sup>, Chulkov A.O.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Vavilov V.P

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: ram7@tpu.ru

*В данной статье приведены результаты исследования эффективности ультразвукового термографического контроля, как одного из методов теплового контроля, по нахождению различного рода дефектов в композитных материалах.*

*This study contains the results of the study of the effectiveness of ultrasonic thermographic control, as one of the methods of active thermal control to find defects in composite materials.*

Благодаря своей универсальности, тепловой контроль позволяет испытывать металлические и неметаллические материалы, используя различные методы тепловой стимуляции и выявляя дефекты различного происхождения и размеров [1]. К традиционным методам стимуляции изделий относят



термоволновой и импульсный нагрев объекта с помощью различных источников теплового излучения [2]. В качестве источников нагрева обычно используются галогеновые и светодиодные излучатели.

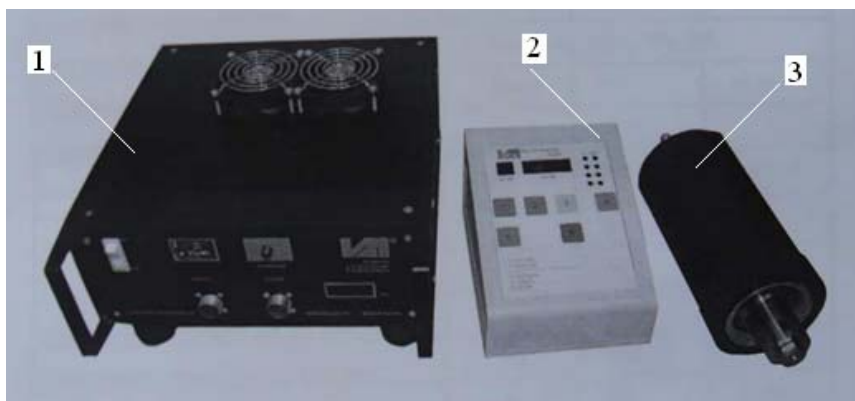
В последние годы проявляется большой интерес к ультразвуковой (УЗ), как непрерывной, так и импульсной стимуляции изделий, которая сопровождается тепловизионной регистрацией тепловых полей. Главным отличием ультразвуковой стимуляции от традиционной является то, что при воздействии ультразвуком на объект контроля существенное повышение температуры происходит исключительно в области дефектов с трущимися краями, оставляя бездефектные зоны «холодными». Данный вид контроля является во многих случаях практически незаменимым благодаря сочетанию ряда характерных для ультразвукового неразрушающего контроля свойств. Описываемый в статье метод является превентивной мерой прогнозирования и предотвращения неисправностей, аварийного выхода из строя машин, механизмов, трубопроводов, металлоконструкций, различных сосудов и аппаратов, которые работают под высоким давлением, а также поковок, листового проката, труб и других видов продукции.

В тепловом контроле УЗ стимуляция осуществляется двумя способами: непрерывная стимуляция и импульсная (в «классическом» тепловом контроле полным аналогами данных процедур являются нагрев объектов контроля тепловыми волнами и импульсами оптического излучения [3]).

Основным преимуществом УЗ стимуляции при сравнении с оптической стимуляцией является то, что ультразвук существенно повышает температуру только в зоне дефектов, оставляя зоны, свободные от дефектов «холодными», что очень удобно.

#### **Экспериментальная установка**

Имеющаяся в распоряжении лаборатории № 34 «Тепловых методов контроля» ИНК ТПУ установка представляет собой алюминиевый каркас, с закреплённым в нём магнитострикционным преобразователем, с помощью которого и проводится ультразвуковая стимуляция объекта контроля (рис. 2). В комплекте с преобразователем имеются генератор ультразвуковой частоты ИЛ 10-2,5М и контроллер управления. Данные элементы, объединённые вместе, представляют собой устройство для ультразвуковой стимуляции дефектов (рис. 1).



*Рис. 1. Общий вид устройства ультразвуковой стимуляции:*

*1 – генератор ультразвуковой частоты ИЛ 10-2,5М; 2 – контроллер управления; 3 – магнитострикционный преобразователь в бачке охлаждения с индентором*

Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 2. Термограммы получены с помощью тепловизора.

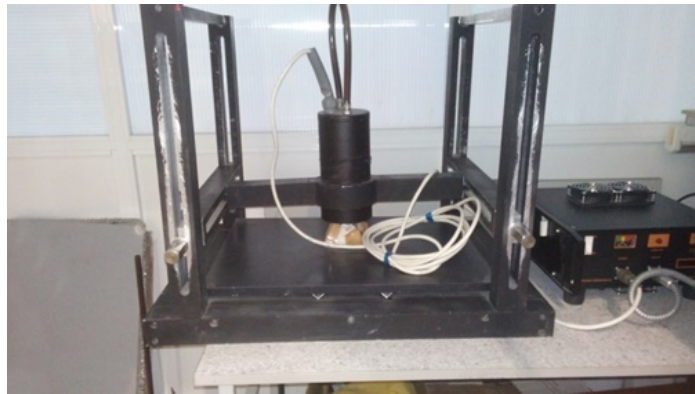


Рис. 2. Экспериментальная установка

### Экспериментальные исследования

Целью эксперимента была проверка устройства на работоспособность и возможность обнаружения дефектов.

На рис. 3 представлена схема УЗ стимуляции усталостных и ударных трещин в контролируемом объекте. Индентор под воздействием статической и динамической силы, создаваемой колебательной системой, передает ультразвуковые колебания в исследуемую деталь или конструкцию.

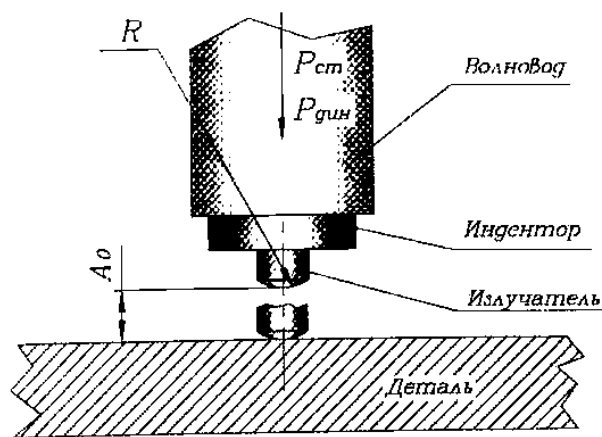


Рис. 3. Схема ультразвуковой стимуляции структурных неоднородностей:  $P_{дин}$  – динамическая сила;  $P_{ст}$  – статическая сила;  $A_0$  – амплитуда колебаний излучателя;  $R$  – радиус сферы излучателя.

На рис. 4 изображён процесс исследования объекта контроля, с помощью ультразвуковой стимуляции исследуемого объекта. Термограммы снимали с помощью тепловизора.

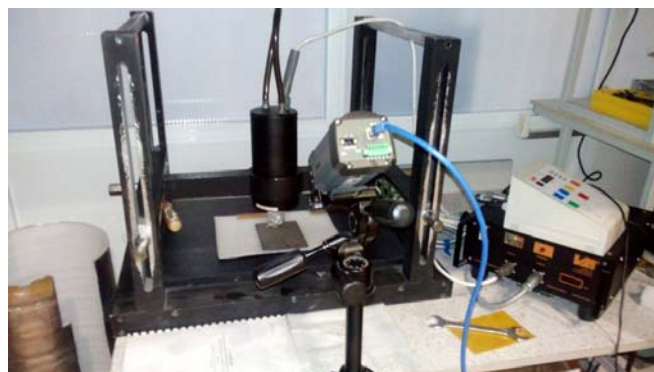
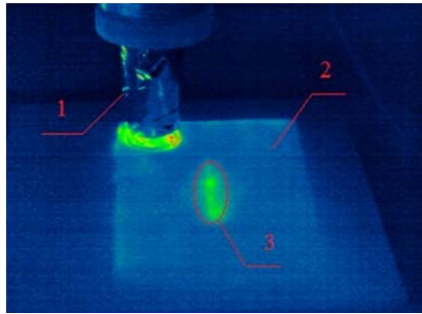
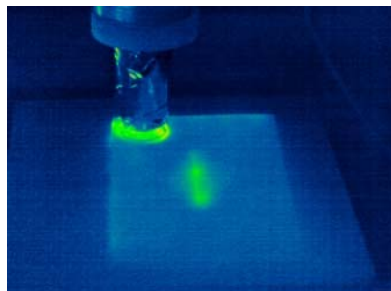


Рис. 4. Экспериментальные исследования объекта с помощью ультразвуковой стимуляции

В процессе исследования были получены термограммы (рис. 5 и 6) контроля объекта.



*Рис. 5. Термограмма объекта контроля: 1 – ультразвуковой магнитострикционный преобразователь; 2 – объект контроля (пластина из стеклопластика); 3 – дефект*



*Рис. 6. Термограмма объекта контроля*

Заранее было известно, что исследуемый образец был повреждён. Исследования проводились с целью определения работоспособности устройства и возможности обнаружения дефектов. Дефект представлял собой ударные повреждения стеклопластиковой пластины тяжелым металлическим шарообразным предметом. Как видно на термограмме дефект отлично просматривается, соответственно данную установку можно считать рабочей и применять для контроля повреждений в объектах.

В целом, можно сказать, что применение ультразвуковой стимуляции изделий при тепловом контроле является перспективным, однако некоторые особенности данного метода требуют более глубокого рассмотрения; например, во многих случаях, где с большой уверенностью ожидалось возникновение температурных сигналов, такие сигналы не были зарегистрированы. Динамический отклик контролируемых объектов зависит от энергии возбуждения, наличия хорошего контакта между изделием и УЗ стимулятором, способа закрепления объектов контроля, в особенности, тонких изделий, а также свойств материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vavilov V.P., Nesteruk D.A., Chulkov A.O., Shiryayev V.V. An apparatus for the active thermal testing of corrosion in steel cylindrical containers and test results, Russian Journal of Nondestructive Testing, Vol. 49, Iss. 11, November 2013, Pages 619-624, DOI: 10.1134/S1061830913110089.
2. Vavilov V.P., Chulkov A.O., Derusova D. IR thermographic characterization of low energy impact damage in carbon/carbon composite by applying optical and ultrasonic stimulation, Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering Volume 9105, 2014, Article number 91050J, DOI: 10.1117/12.2049810.
3. Xingwang Guo, Vladimir Vavilov – Crack detection in aluminum parts by using ultrasound-excited infrared thermography, Received 31 May 2013, Journal «Infrared Physics & Technology».

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ РАДИАЦИОННОМ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

Назаренко С.Ю.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Удод В.А., профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: svetanz@mail.ru

**APPLICATION OF IMAGE RECOGNITION THEORY IN NON-DESTRUCTIVE RADIATION TESTING OF MATERIALS QUALITY USED IN EXTREME CONDITIONS**

Nazarenko S.Yu.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Udod V.A.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: svetanz@mail.ru

*Для обнаружения дефектов материалов и деталей космических аппаратов используется радиационный метод неразрушающего контроля. Обработка изображений, получаемых этим методом, проводится с помощью специальных алгоритмов. В работе обоснована возможность использования нейросетевого метода и предложен алгоритм на его основе для распознавания образов.*

*The radiation method of nondestructive testing is used for the detection of defects in materials and components of spacecraft. Processing of the images, obtained by this method, is carried out using specialized algorithms. In the paper the possibility of using neural networks method is considered and the algorithm for image recognition based on it is suggested.*

Информация о качестве и техническом состоянии деталей и устройств космических аппаратов может быть получена с помощью методы неразрушающего контроля, среди которых достаточно распространённым является радиационный метод. Данный метод основан на взаимодействии потока ионизирующего излучения с объектом контроля с последующим изменением интенсивности потока. Одним из видов радиационного контроля, используемых для обнаружения дефектов, является радиографический метод. Его сущность заключается в преобразовании радиационного изображения объекта контроля в распределение плотности почернения на рентгеновский пленке (радиографический снимок) [1]. Проходя через исследуемый объект, содержащий дефекты, рентгеновские лучи неравномерно теряют первоначальную интенсивность и вследствие этого проявляются на полученных рентгеновских снимках в виде неоднородной плотности почернения, где темным пятнам соответствуют дефекты объекта. Зачастую визуальный анализ снимков недостаточно эффективен и мало удобен, особенно при большом объеме контрольных операций. Поэтому для обработки рентгеновских снимков используют персональные компьютеры со специальными программами для анализа и обработки изображений. Для выявления дефектов деталей, используемых в авиационно-космической техники, в частности для выявления дефектов сварки, могут быть использованы различные алгоритмы обработки изображений, одним из которых является алгоритм, основанный на нейросетевом методе.

В настоящее время происходит активное внедрение искусственных нейронных сетей в различные области человеческой деятельности. Задачи, которые решаются с помощью нейронных сетей, включают в себя задачи распознавания речи, изображений и рукописного текста, предсказания валютного курса и курса акций, диагностики заболеваний [2, 3]. Искусственные нейронные сети также нашли применение и в неразрушающем контроле. Целями неразрушающего контроля качества материалов и изделий являются как обнаружение дефектов, так и классификация обнаруженных дефектов по различным уровням потенциальной опасности [4]. Задача обнаружения дефектов, равно как и задача распознавания образов, может решаться с использованием нейронных сетей. Тем не менее, нейросетевые технологии, которые

обеспечивают в целом хорошие результаты, имеют и некоторые недостатки, например, обладают свойством ненадежности. Так, в частности, нейронная сеть выдает хорошие результаты, если получает сигналы, которые близки с сигналами обучающей выборки, если же сеть получит сигналы, отличающиеся от обучающейся выборки, то реакция сети будет непредсказуемой [5]. Отсюда следует, что одна из проблем, которую нужно решить при создании алгоритма распознавания дефектов сварки, основанного на нейронных сетях, это создание адекватной обучающей выборки.

Искусственная нейронная сеть является упрощенной моделью биологической нейронной сети. Рассмотрим базовую модель искусственной нейронной сети. Искусственный нейрон, представляющий собой упрощенную модель биологического нейрона и являющийся основой любой искусственной нейронной сети, как правило, состоит из четырех основных элементов [2, 6]:

- Входы, через которые нейрон принимает сигнал.
- Синапсы (связи), которые характеризуются своим весом.
- Сумматор, складывающий входные сигналы, умноженные на соответствующие веса.
- Функция активации, ограничивающая амплитуду выходного сигнала нейрона.

На рис. 1 представлена схема искусственного нейрона [7].

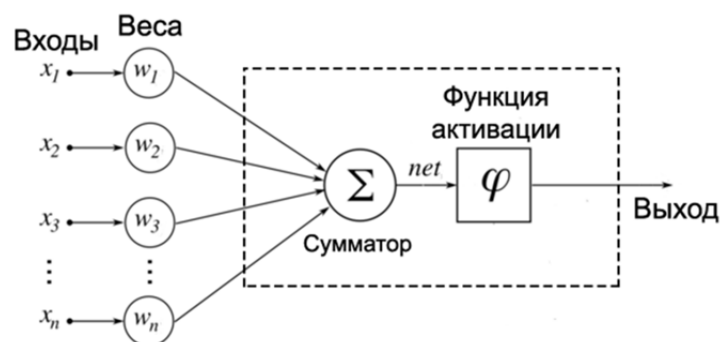


Рис. 1. Схема искусственного нейрона [7]

Одним из важнейших свойств нейронных сетей является их способность к обучению. Существует два вида алгоритмов обучения сети: 1) алгоритм обучения с учителем; 2) алгоритм обучения без учителя. Алгоритм обучения с учителем предполагает, что будет использоваться заранее сформулированная обучающая выборка. Далее, получаемые выходные сигналы нейронной сети сравниваются с требуемые выходными сигналами, затем веса связей изменяются таким образом, чтобы значения получаемых выходных сигналов минимально различались с выходными сигналами обучающей выборки.

В случае обучения без учителя происходит настройка весов связи таким образом, чтобы при получении входных сигналов сеть настраивала веса согласно специальному обучающему алгоритму. Вся обучающая выборка при этом состоит из набора входных сигналов, а настройка связей происходит только на основании состояния нейрона и имеющихся весовых коэффициентах. Обучение без учителя применяется в тех случаях, когда правильные ответы на входные сигналы не известны.

В данной работе при разработке алгоритма, основанного на нейросетевом методе, были рассмотрены два типа дефектов, наиболее характерных для сварных соединений: трещины и поры. При этом для упрощения задачи было принято, что в качестве математических моделей изображений пор и трещин на рентгенограмме соответственно выступают круги и прямоугольники, а основными параметрами для характеристики изображений являются яркость и площадь сегментов изображений.

Сущность предлагаемого алгоритма состоит в обучении сети путем последовательного предъявления входного множества векторов с одновременной подстройкой весов по определенной процедуре. В процессе обучения веса сети постепенно изменяются так, что каждый входной вектор вырабатывал бы выходной вектор.

Алгоритм состоит из следующих этапов [8].

Этап 1. Для заданных входов задается желаемый выход. Начальные значения весов всех нейронов представляются случайными, имеющими малые ненулевые значения.

Этап 2. Вычисляется вектор ошибки  $E$  между реальным и ожидаемым значением выхода.

Этап 3. Вектор весов изменяется по формуле  $W_{n+1} = W_n + \alpha X E^T$ ,

где  $W_n$  и  $W_{n+1}$  – векторы весов до и после очередной итерации;  $X$  – вектор входных сигналов;  $E^T$  – транспонированный вектор ошибки;  $0 < \alpha < 1$  – темп обучения.

Этап 4. Этапы 1 и 2 повторяются до тех пор, пока ошибка не станет достаточно малой.

Этап 5. Если вектор ошибки считается удовлетворительным, то сеть считается обученной.

Таким образом, для выявления дефектов сварных швов в деталях и конструкциях космических аппаратов предложен алгоритм обработки изображений, основанный на нейросетевом методе. Разработанный алгоритм планируется применить для обработки и анализа цифровых изображений при проведении контроля качества сварных соединений узлов ракетно-космической техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулешов В.К., Сертаков Ю.И., Ефимов П.В. Физические и экспериментальные основы радиационного контроля и диагностики. Ч. 1. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 341 с.
2. Спицин В.Г., Цой Ю.Р. Интеллектуальные системы: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 176 с.
3. Богославский С.Н. Область применения нейронных сетей и перспективы их развития // Научный журнал КубГАУ. – 2007. – № 27 (3). – С. 37–41.
4. Воробейчиков С.Э., Фокин В.А., Удод В.А., Темник А.К. Исследование двух алгоритмов распознавания образов для классификации дефектов в объекте контроля по его цифровому изображению // Дефектоскопия. – 2015. – № 10. – С. 54–63.
5. Бархатов В.А. Обнаружение сигналов и их классификация с помощью распознавания образов // Дефектоскопия. – 2006. – № 4. – С. 14–27.
6. Хайкинг С. Нейронные сети. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.
7. Нейронные сети. Учебник по нейронным сетям – (Электронный ресурс: <http://neuralnet.info>). Дата обращения 1.02.2017.
8. Яньков В.Ю. Лабораторный практикум по Маткаду. Модуль 3 Моделирование в Маткаде. – М.: МГУТУ, 2009. – 68 с.

**КОНТРОЛЬ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ,  
ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Ногов Д.Н.<sup>1</sup>, Огнева Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»  
141070, Россия, Московская обл., г. Королёв, ул. Ленина, д. 4А  
E-mail: nogovdnik@mail.ru

**THE TESTING OF WELDED JOINTS, PRODUCED BY FRICTION STIR WELDING,  
OF PARTS AND COMPONENTS OF THE SPACECRAFTS**

Nogov D.N.<sup>1</sup>, Ogneva E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia  
Russia, Moscow area, Korolev, 4A Lenin str., 141070  
E-mail: nogovdnik@mail.ru

*Сварка трением с перемешиванием является перспективным методом получения сварных соединений деталей и узлов из легких сплавов. В докладе рассматриваются возможности ультразвукового контроля по выявлению дефектов в соединениях, полученных сваркой трением с перемешиванием. Проведена экспериментальная работа по опробованию ультразвукового метода контроля на алюминиевых образцах соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием.*

*Friction stir welding is a prospective method of producing welded joints of parts and components made of light alloy. The possibilities of ultrasonic control to detect the internal flaws in welded joints, produced by friction stir welding, are considered in this report. The experimental work on the testing of ultrasonic method on the aluminum samples, produced by friction stir welding, is done.*

Сварка трением с перемешиванием (далее – СТП) является перспективным способом получения сварных соединений деталей из легких сплавов в космической промышленности. При данном виде сварки не требуется расплавление металлов, благодаря чему не образуются дефекты, характерные для других видов сварки. Однако при сварке трением с перемешиванием могут образовываться другие дефекты, возникающие из-за неправильного режима сварки (скорости вращения инструмента, скорости подачи инструмента, давления и др.). При СТП образуются следующие виды дефектов: кратеры, каналы, микротрещины, грат, задиры, резкий переход от сварного шва к основному металлу, наплывы с лицевой и корневой стороны шва, подрезы с корневой стороны шва, проникновение металла плакировки в сварной шов и другие [1, 2].

Для выявления дефектов в СТП-соединениях применяются различные виды неразрушающего контроля, такие как: визуально-измерительный, ультразвуковой, радиационный, капиллярный, вихретоковый, тепловой. Одним из основных видов контроля является ультразвуковой [3].

В данной статье рассматривается ультразвуковой контроль с применением ультразвукового дефектоскопа на фазированных решетках Harfang Veo с многоэлементными преобразователями на частоте 5 и 10 МГц. Отработка ультразвукового контроля проводится на плоских и цилиндрических образцах СТП-соединений из алюминиевых сплавов.

Для настройки параметров развертки дефектоскопа и глубиномера, настройки уровней чувствительности, а также для оценки мертвой зоны, разрешающей способности применяются настроечные образцы с боковыми цилиндрическими отверстиями и с зарубками (рис. 1, 2).

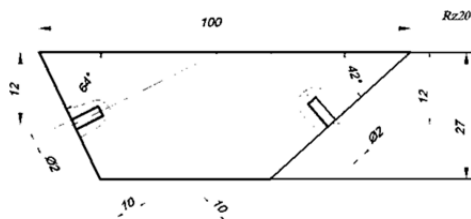


Рис. 1. Эскиз настроечного стандартного образца предприятия с боковым цилиндрическим отверстием

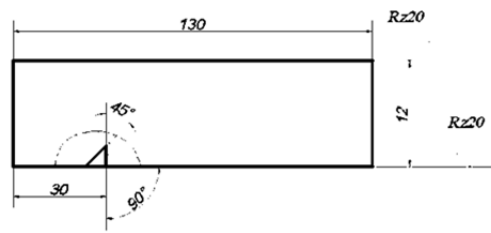


Рис. 2. Эскиз настроечного стандартного образца предприятия с зарубкой

Результаты опробования ультразвукового метода контроля на плоских и цилиндрических образцах СТП-соединений из алюминиевых сплавов:

1. Ёмкость цилиндрической формы диаметром 1 м, толщиной 35 мм с продольным СТП-соединением (рис. 3). Сканирование проводилось с лицевой стороны шва. При сканировании выявлен дефект в виде непровара с корневой стороны шва (на стыке свариваемых кромок).



Рис. 3. Внешний вид дефекта в виде непровара с корневой стороны шва (а), С-скан образца (б)

2. Плоский образец толщиной 3 мм с СТП-соединением (рис. 4). Сканирование проводилось с корневой стороны шва. При сканировании выявлен дефект в виде канала по всей длине шва.

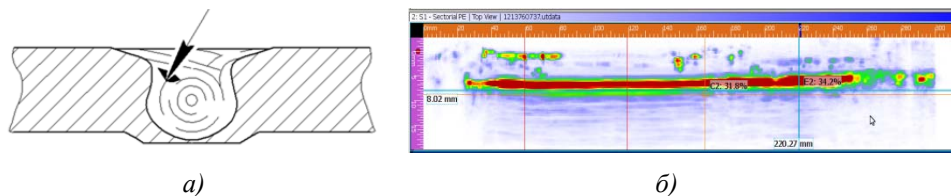


Рис. 4. Внешний вид дефекта в виде канала (а), С-скан образца (б)

3. Цилиндрическая ёмкость диаметром 2 м, толщиной 8 мм с кольцевым СТП-соединением (рис. 5). Сканирование проводилось с корневой стороны шва.

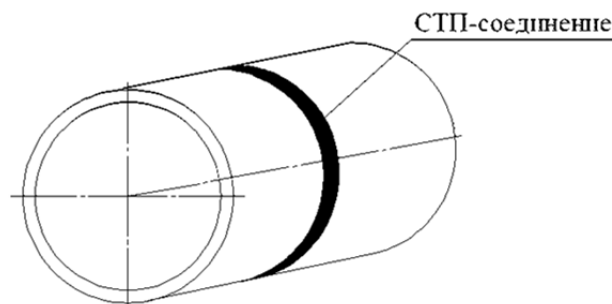
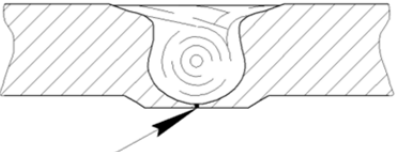
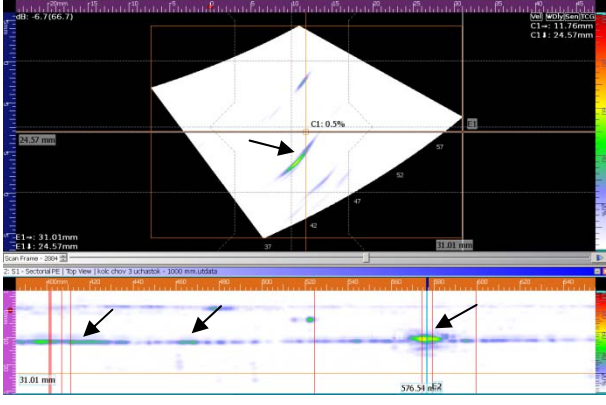
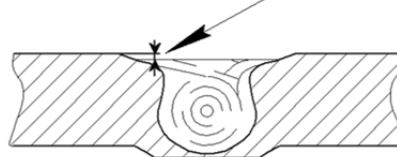
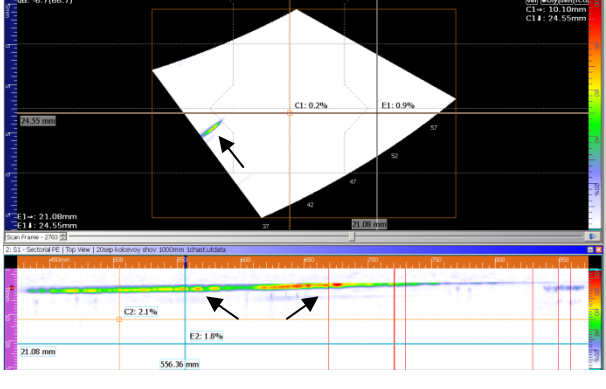
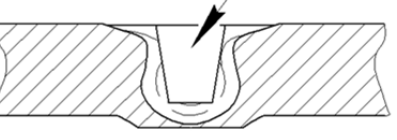
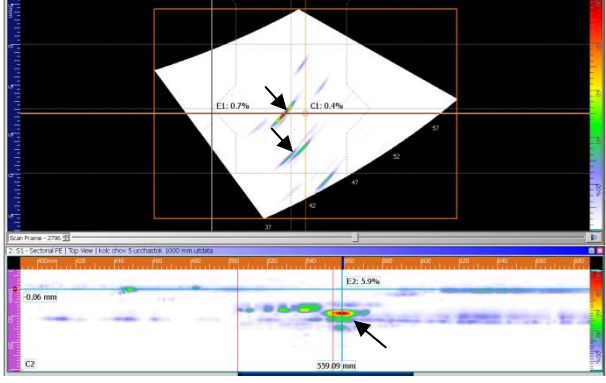

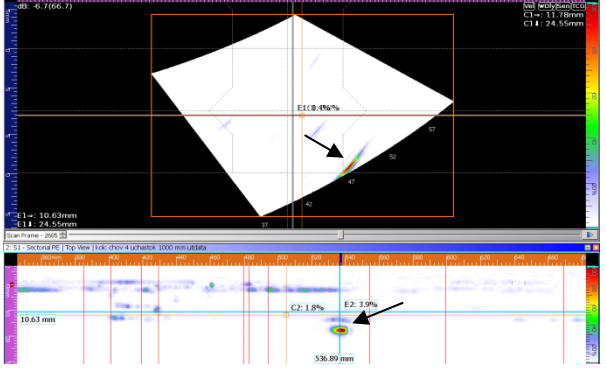


Рис. 5. Внешний вид цилиндрической ёмкости



Таблица 1. Результаты ультразвукового сканирования кольцевого СТП-соединения цилиндрической ёмкости

Внешний вид дефекта	Результаты ультразвукового сканирования. В и С-сканы
 <p>Непровар в корне шва</p>	
 <p>Занижение лицевой стороны шва</p>	
 <p>Кратер</p>	
 <p>Твердое включение</p>	

При сканировании выявлены следующие дефекты: непровар в корне шва, занижение лицевой стороны шва, кратер, твердые включения и другие.

Результаты ультразвукового сканирования кольцевого СТП-соединения цилиндрической ёмкости представлены в табл. 1.

В ходе исследования было установлено, что ультразвуковой контроль позволяет выявлять различные дефекты в СТП-соединениях.

Применение ультразвукового дефектоскопа на фазированных решетках с многоэлементным преобразователем позволяет сканировать весь сварной шов за один проход, получать более наглядные результаты благодаря возможности построения В- и С-сканов, а также записывать весь объем данных для последующего анализа полученных результатов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панков В.В., Померанцев Д.С. Контроль сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием // Территория NDT. – 2016. – № 1. – С. 52–53.
2. Богомолов И.А. Измерения размеров дефектов с помощью ультразвукового дефектоскопа HARFANG PRISMA UT // Территория NDT. – 2015. – № 3. – С. 52–55.
3. Лapidус А., Нурматов И., Пасси Г. Эталонирование чувствительности и обеспечение её равномерности в прозвучиваемом сечении при ультразвуковом контроле сварных соединений с применением ФР-преобразователей // В мире НК. – 2016. – Т. 19. – № 3. – С. 17–29.

#### **ПРИМЕНЕНИЕ ШЕРОГРАФИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Огнева Е.В.<sup>1</sup>, Ногов Д.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»

141070, Россия, Московская обл., г. Королёв, ул. Ленина, д. 4А

E-mail: lena\_ogneva@mail.ru

#### **THE APPLICATION SHEAROGRAPHY FOR TESTING THE COMPOSITE STRUCTURES OF THE SPACECRAFTS**

Ogneva E.V.<sup>1</sup>, Novog D.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia

Russia, Moscow area, Korolev, 4A Lenin str., 141070

E-mail: lena\_ogneva@mail.ru

*Шерография является одним из перспективных методов неразрушающего контроля композитных материалов в космической отрасли. В докладе рассматривается возможность выявления несплошностей в различных конструкциях из композитных материалов с помощью шерографии. Проведена экспериментальная работа по опробованию метода шерографии на образцах из композитных материалов. В данном докладе сделаны выводы о возможностях и ограничениях данного метода.*

*Shearography is one of the promising methods of nondestructive testing of composite materials in space industry. The possibility of shearography to detect the internal flaws in various structures of composite materials is considered in this report. The experimental work on the testing method of shearography on the samples of composite materials is done. The possibilities and limitations of this method are concluded in this report.*

В космической отрасли с каждым годом возрастает применение композитных материалов. Данные материалы имеют сложную структуру и большое количество специфических неоднородностей. Наряду с традиционными методами неразрушающего контроля, такими как: ультразвуковой, тепловой,

радиографический, требуется применение новых методов контроля. Одним из перспективных в настоящее время является метод шерографии.

Шерография – оптический метод неразрушающего контроля, с помощью которого внутренние разрушения или дефекты материалов могут быть определены посредством измерения и анализа поверхностных деформаций. Деформации образуются как ответная реакция внутренней структуры на внешнюю нагрузку. Совмещая изображения объекта в ненагруженном состоянии с изображением, взятым в нагруженном состоянии, можно определить изменение любой заданной точки изображения [1, 2].

В ходе проведения шерографии поверхность объекта испытания засвечивается лазерным излучением. Отраженное от поверхности объекта излучение принимается CCD-камерой, оснащённой «сдвигающей оптикой». «Сдвигающая оптика» проецирует изображение объекта на матрицу камеры дважды и каждая точка объекта, таким образом, является дважды отображаемой на CCD-матрице. Когда объект испытания деформируется под нагрузкой, лазерное излучение, отражённое каждым участком поверхности, также изменяется. Эти изменения обнаруживаются системой, что даёт представление о характере дефекта через его реакцию на поверхность [3, 4].

Метод реализуется с помощью шерографа, состоящего из оптического блока, совмещенного с блоком термического нагрева, и электронного блока, работающего под управлением ПК. Оптический блок либо устанавливается непосредственно на поверхность объекта контроля, либо располагается на штативе в непосредственной близости от него. Контроль производится поэлементно, площадь каждого элемента – 300×300 мм.

Шерография является гибким методом с точки зрения применяемых способов воздействия для возбуждения реакции внутренней неоднородности (тепловое, вакуумное, вибрационное, механическое, избыточным давлением). Оптимальный тип воздействия применяется в зависимости от структуры и материала объекта контроля, а также от размера, положения (глубины залегания) и типа дефектов.

Проведена работа по опробованию метода шерографии на образцах конструкции космических аппаратов из композитных материалов. Целью работы было установление возможности выявления внутренних несплошностей, таких как: межслойное расслоение, трещины, внутренние поры в монолитных углепластиковых деталях, непроклей между обшивкой и сотовым наполнителем, непроклей между обшивкой и закладным элементом в трехслойных сотовых конструкциях.

Результаты опробования метода шерографии на образцах элементов конструкции космических аппаратов:

1. Цилиндрический образец трехслойной сотовой конструкции с несущими слоями из углепластика толщиной 0,5 мм (рис. 1).

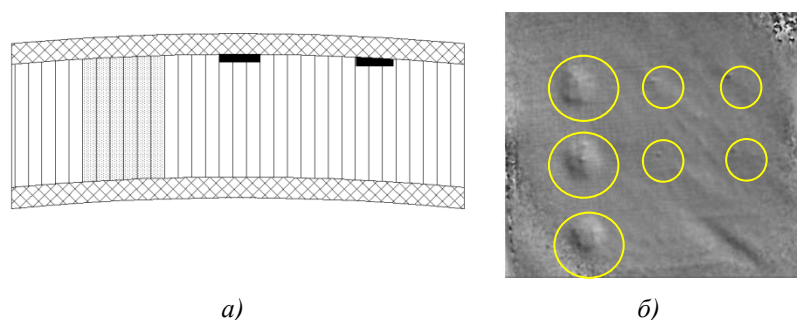


Рис. 1. Схематичное изображение образца (а), шерограмма образца (б)

В результате шерографического контроля с применением теплового воздействия были выявлены имитаторы непрочности диаметром 7 и 9 мм, участки сот со вспенивающимся клеем. Не были выявлены имитаторы непрочности диаметром 5 мм.

2. Образец трехслойной сотовой панели с несущими слоями из углепластика толщиной 2 мм с металлическим вкладышем и сотовым наполнителем со вспенивающимся клеем (рис. 2).

В результате шерографического контроля с применением теплового воздействия были выявлены участки сот со вспенивающимся клеем, металлический вкладыш, неравномерности распределения клея между сотовым наполнителем и обшивкой. На различных режимах выявлены деформации, вызванные искусственными дефектами диаметром 5 и 7 мм.

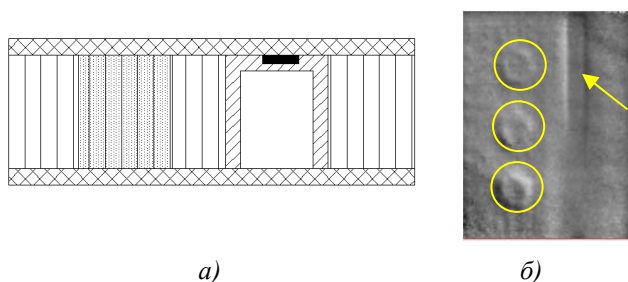


Рис. 2. Схематичное изображение образца (а), шерограмма образца (б)

3. Образец трехслойной сотовой панели с несущими слоями из углепластика толщиной 0,25 мм (рис. 3).

В результате шерографического контроля с применением теплового воздействия были выявлены имитаторы непрочности диаметрами от 5 мм. На шерограмме четко видна структура сот.

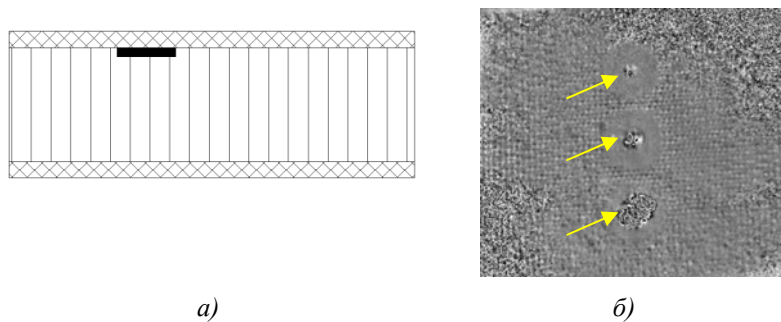


Рис. 3. Схематичное изображение образца (а), шерограмма образца (б)

4. Образец трехслойной сотовой панели с несущими слоями из углепластика толщиной 0,25 мм и сотовым наполнителем с разным размером сот (рис. 4).

В результате шерографического контроля с применением теплового воздействия, были выявлены неоднородности структуры в виде непрочности в зонах перехода сотового наполнителя с ячейкой 2,5 и 6,0 мм.

5. Образец трехслойной сотовой панели с несущими слоями из углепластика толщиной 2,0 мм (рис. 5).

В результате шерографического контроля с применением теплового воздействия выявлены неоднородности структуры, имитаторы непрочности диаметрами от 5 мм. На шерограмме отчетливо проявляются волокна обшивки.

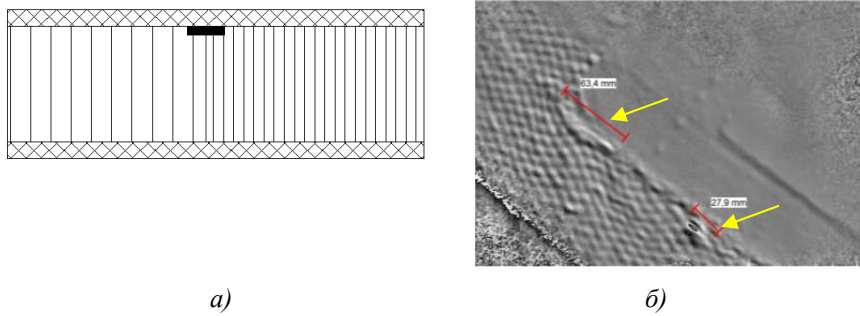


Рис. 4. Схематичное изображение образца (а), термограмма образца (б)

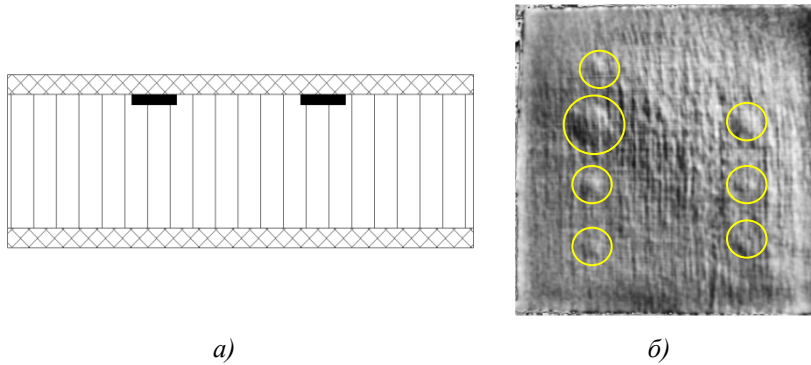


Рис. 5. Схематичное изображение образца (а), термограмма образца (б)

6. Образец углепластиковой плиты (рис. 6).

В результате термографического контроля с применением теплового воздействия были выявлены имитаторы расслоений диаметрами более 10 мм на глубине 3 мм. Не выявлены имитаторы расслоений диаметрами более 10 мм на глубине 4,5 мм.

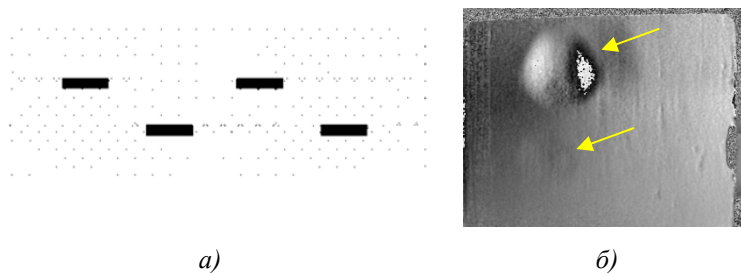


Рис. 6. Схематичное изображение образца (а), термограмма образца (б)

По результатам работы по опробованию метода термографии на образцах конструкции космических аппаратов из композитных материалов можно сделать вывод, что данный метод позволяет выявлять дефекты в виде расслоения, непрочлея, трещины в сотовых конструкциях с обшивками из углепластика и в монолитных углепластиковых конструкциях. Для контроля деталей и узлов космических аппаратов из композитных материалов необходима дальнейшая отработка и накопление экспериментальных данных о характерных дефектах для каждого типа конструкции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разумовский И.А. Интерференционно-оптические методы механики деформируемого твердого тела. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 240 с.
2. Бобко Ю.А., Синчугов И.С. Применение метода шерографии для дефектоскопии изделий из композиционных материалов // В мире НК. – 2016. – Т. 19. – № 4. – С. 4–7.
3. Gerhard Busse, Danny Van Hemelrijck, Igor Solodov, Athanasios Anastasopoulos. Emerging Technologies in Non-Destructive Testing. – London.: Taylor & Francis Group, 2008 – 366 с.
4. L.X. Yang and Y.Y. Hung. Digital shearography for nondestructive evaluation and application in automotive and aerospace industries (Электронный ресурс: <http://www.ndt.net/article/wcndt2004/pdf>). Дата обращения 20.12.2016.

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Чан Цзянлэй<sup>1</sup>

Научный руководитель: Солдатов А.И, профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: [jjangleichang@foxmail.com](mailto:jjangleichang@foxmail.com)

## ULTRASONIC TESTING OF COMPOSITE MATERIALS

Chang Jiang-Lei<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Alexey Soldatov

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: [jjangleichang@foxmail.com](mailto:jjangleichang@foxmail.com)

*В статье рассмотрен теневой метод контроля композитов. Исследованы характеристики теневого метода контроля при использовании линейных решеток. Рассчитана направленность для одиночного излучателя и линейных антенных решеток с различным количеством преобразователей.*

*The article deals with the through-transmission testing method for Composites. The characteristics of the through-transmission testing method are investigated using linear arrays. The direction for a single transmitter and linear antenna arrays with a different number of transducers is calculated.*

Композитный материал находит широкое применение, поэтому важными являются задачи контроля качества при производстве и применении материалов [1].

Одним из методов неразрушающего контроля является ультразвуковой метод контроля (УЗК). На сегодняшний день существует пять основных методов УЗК: теневой, зеркально-теневой, зеркальный, дельта-метод и эхо-метод [3]. Теневой метод имеют следующие преимущества: низкая зависимость амплитуды сигнала от ориентации дефекта, высокая помехоустойчивость и отсутствие мертвой зоны. Известно, что композит создают из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними, поэтому сигналы, прошедшие от излучателя к приемнику, имеют большие затухания. При теневом методе, излучение проходит через объект только один раз, поэтому у него меньше затухание по сравнению с другими методами [2].

Фазированные антенные решетки (ФАР) – это новый тип преобразователей, которые имеют значительные преимущества перед одиночным преобразователем: больший охват зоны контроля, большая скорость сканирования объекта контроля и большую разрешающую способность. И по сравнению с традиционным ультразвуком контролем для определения размеров и расположения дефектов, у них более высокая достоверность. А также проще интерпретация результатов контроля [4].

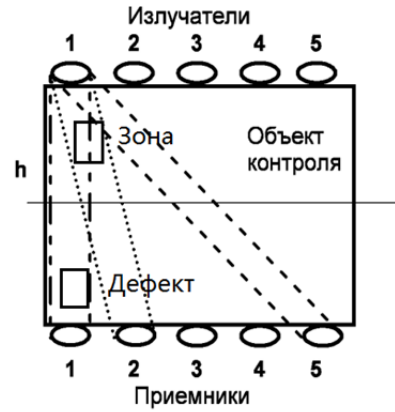


Рис. 1. Зона контроля теневого метода при использовании линейных решеток.

Выявляемость дефектов определяется коэффициентом  $k_d$ , который определяется соотношением:

$$k_d = A_d/A_0 \quad (1)$$

где  $A_0$  – число лучей, которые приходят на приемную решетку при отсутствии дефекта в зоне контроля;  $A_d$  – число лучей, которые приходят на приемную решетку при наличии дефекта в зоне контроля [5].

Для этого нам надо сначала определить направленность решетки. Для теневого метода контроля при расчете амплитуды сигнала акустической волны используется коэффициент  $K$ , учитывающий излучение акустической волны под углом ( $\theta$ ):

$$K = A(\theta)/A(0) \quad (2)$$

где  $A(0)$  – амплитуда сигнала при излучении акустической волны под углом  $\theta=0^\circ$ ;  $A(\theta)$  – амплитуда сигнала при излучении акустической волны под углом  $\theta$ .

Для расчета использовались следующие характеристики антенной решетки: диаметр излучателя и приемника одинаковы и составили 4 мм,  $\lambda=6$  мм.

Разделим излучатель на  $n$  точных источников, тогда направленность в дальней зоне определится по формуле (2)

$$k(\theta) = \frac{\sin[n * (\pi * \frac{b}{\lambda} * \sin(\theta))]}{n * \sin(\pi * \frac{b}{\lambda} * \sin(\theta))} \quad b = \frac{d}{n} \quad (3)$$

где  $d$  – размер излучателя;  $n$  – количество точных источников, при большом  $n$  считаем, что это направленность линейного элемента.

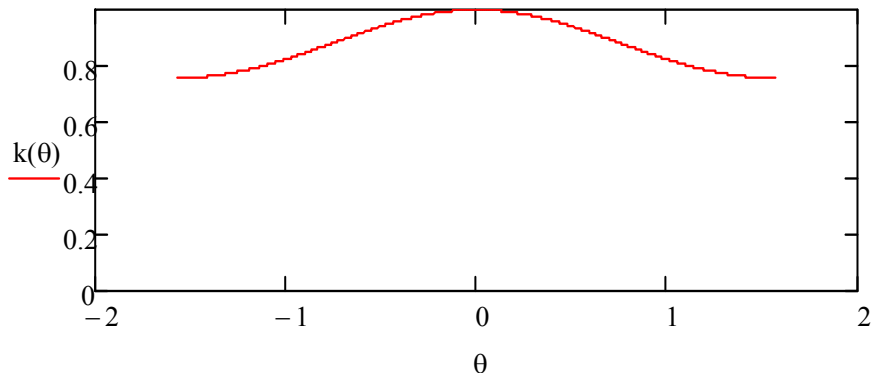


Рис. 2. Коэффициент  $k(\theta)$  одиночного излучателя

Результат расчета по формуле (2) представлен на рис. 1. Из рисунка видно что, для угла  $\theta \leq \pm \frac{\pi}{6}$  направленность элемента близка к точечному источнику.

Из формулы (2) получим формулу направленности решетки:

$$K(\theta, m) := \frac{\sqrt{\sum_{s=1}^m \left[ \frac{r}{\sqrt{\left[ \left[ \left( \frac{a}{m-1} \right) \cdot (s-1) \right] + \frac{a}{2} \right]^2 + r \cdot \sin(\theta)^2}} \cdot (y1(\theta, s, m)) \right]^2}}{\sqrt{\sum_{s=1}^m \left[ \frac{r}{\sqrt{\left[ \left[ \left( \frac{a}{m-1} \right) \cdot (s-1) \right] + \frac{a}{2} \right]^2 + r \cdot \cos(0)^2}} \cdot (y1(0, s, m)) \right]^2}}$$

где

$$y1(\theta, s, m) := \begin{cases} 1 & \text{if } y2(\theta, s, m) = 0 \\ \frac{\sin \left[ n \cdot \left( \pi \cdot \frac{b}{\lambda} \cdot y2(\theta, s, m) \right) \right]}{\sin \left( \pi \cdot \frac{b}{\lambda} \cdot y2(\theta, s, m) \right) \cdot n} & \text{otherwise} \end{cases}$$

где

$$y2(\theta, s, m) := \frac{\left[ \left[ \left( \frac{a}{m-1} \right) \cdot (s-1) \right] + \frac{a}{2} \right] + r \cdot \sin(\theta)}{\sqrt{\left[ \left[ \left( \frac{a}{m-1} \right) \cdot (s-1) \right] + \frac{a}{2} \right]^2 + r \cdot \cos(\theta)^2}}$$

где  $a$  – длина решетки;  $r$  – расстояние между центральным излучателем и точкой в которой надо рассчитать акустическое давление;  $m$  – количество элементов;  $\lambda$  – длина волны ультразвука.

При расчете диаграммы направленности решетки параметры решетки были выбраны следующие:  $r$  – равно 160 мм,  $a$  – равно 80 мм, длина звуковой волны  $\lambda=6$  мм, у излучателя и приемника есть одинаковые параметры и составлял 2 мм.

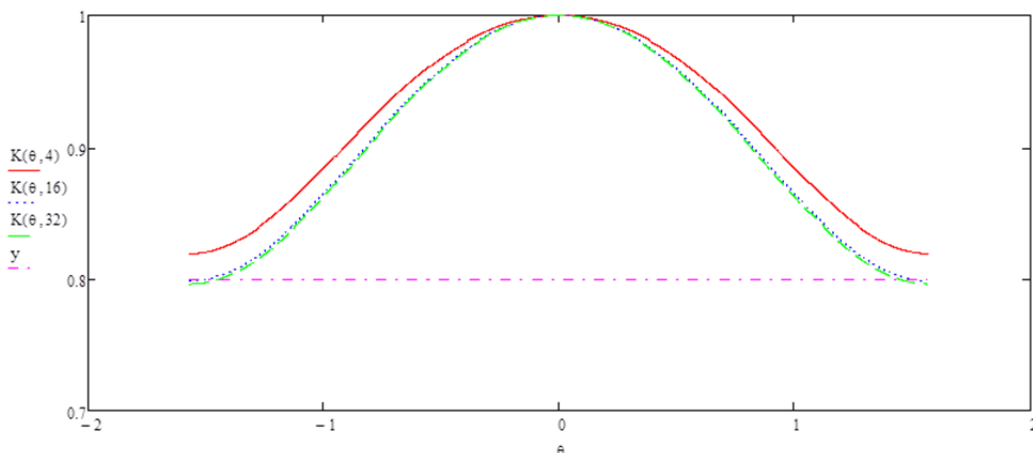


Рис. 3. Диаграммы направленности антенной решетки при количестве элементов в антенной решетке 4, 16 и 32



Из рисунка видно что, для углов  $\theta \leq \pm \frac{\pi}{6}$  при количестве элементов в антенной решетке 4, направленность решеток отличается от направленности при количестве элементов 16 и 32. А при количестве больше 16, направленность решеток практически одинаковы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1). – М., 2013. – 118 с.
2. Композиционные материалы. (Электронный ресурс: <http://files.school-collection.edu.ru>). – Загл. с экрана. 14.12.2015.
3. Классификация и краткая характеристика акустических методов контроля. (Электронный ресурс: <http://library.mephi.ru/>). – Загл. с экрана. 19.12.2015.
4. Аплешен Н.П., Боброов В.Т. Ультразвуковой контроль. – М., 2011. – С. 103–118.
5. Буй В.Д., Макаров В.С., Солдатов А.И., Солдатов А.А. Моделирование акустического тракта для малоракурсной ультразвуковой томографии при теневом контроле // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-2. – С. 216–220.
6. Солдатов А.И., Борталевич С.И., Шульгина Ю.В. Система управления построением изображения с фазированной антенной решеткой при обработке данных в режиме реального времени // В сборнике: Евразийская экономическая интеграция как фактор повышения стабильного и поступательного развития национальных хозяйственных систем: Материалы международной научно-практической конференции. Редактор: В.А. Цветков. – 2016. – С. 220–221.

---

## СЕКЦИЯ № 4

# ЭЛЕКТРОНИКА, МИКРОЭЛЕКТРОНИКА, ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И КОСМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

---

### ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Ардалин А.М.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Буркин Е.Ю. доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: sei2@tpu.ru

### POWER SUPPLY FOR BATTERY CHARGING

Ardlain A.M.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Burkin E.Y.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: sei2@tpu.ru

*В системах энергоснабжения космических аппаратов очень много внимания уделяется системам заряда аккумуляторных батарей. В состав данных систем входят фотоэлектрические преобразователи, преобразующие энергию солнца в электрический ток. Данные преобразователи имеют крайне низкие энергетические показатели. Предлагаемая работа направлена на повышение эффективности заряда аккумуляторных батарей, посредством применения резонансного инвертора.*

*In the space power systems, much attention is paid to battery charging systems. The composition of these systems includes photoelectric converters that convert the energy of the sun into electric current. These converters have extremely low energy performance. The proposed paper is aimed at increasing the efficiency of batteries chargers, by applying a resonant inverter.*

В настоящее время широко распространены системы питания космических аппаратов состоящие из первичного источника энергии (солнечные батареи), элемента накопления электрической энергии (аккумуляторные батареи) и полупроводниковый преобразователь, обеспечивающий вместе с системой управления функцию формирования зарядного тока аккумулятора по определено заданному закону [1].

Важную роль в данной системе играет топология преобразователя, т. к. эффективность заряда аккумулятора зависит именно от нее. Существует очень большое количество топологий преобразователей, но наиболее оптимальными, с точки зрения массогабаритных показателей и КПД, являются резонансные топологии. Преимущества их, в отличие от классических, заключаются в малых потерях на переключение силовых транзисторов, что позволяет, как повысить рабочую, так и снизить нагрузку на элементы схемы [2].

Данное зарядное устройство можно использовать не только в качестве источника питания для заряда аккумуляторов, но и для конденсаторов большой емкости.

В данной работе исследуется преобразователь инверторного типа с последовательным резонансным контуром, структурная схема которого приведена на рис. 1. Здесь сигнал обратной связи батареи (C1) с резистивного делителя (R2 и R3) поступает на ADC\_U. Аналогично сигнал обратной связи по току поступает на ADC\_I. Выходы контроллера PWM1...PWM4 задают управляющие импульсы для силовых ключей VT1...VT4. Через выпрямительные диоды VD1...VD4 зарядный ток поступает в батарею. L1 и C1 определяют резонансную частоту, VT1 – силовой трансформатор.

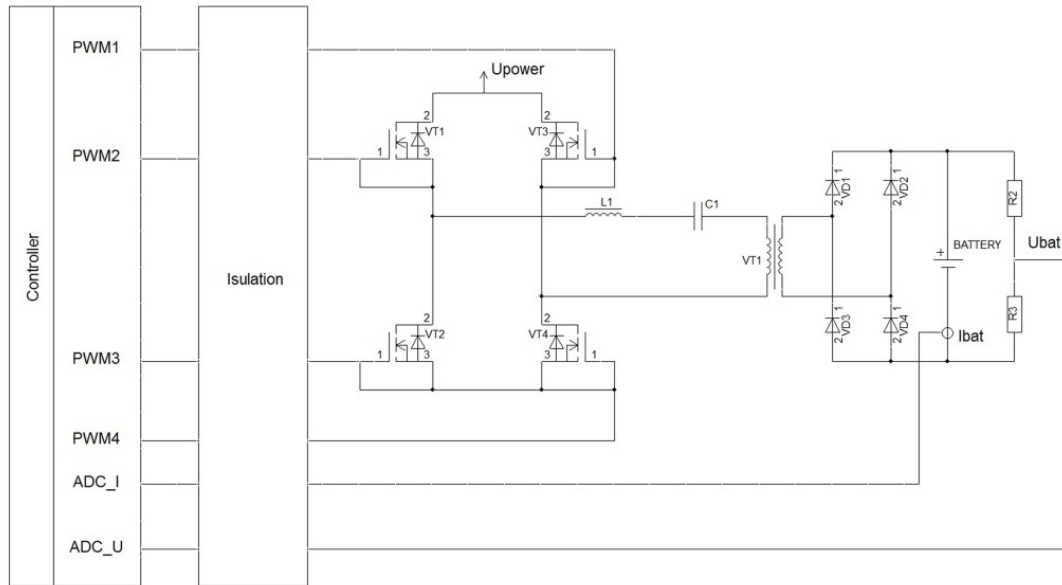


Рис. 1. Схема инвертора с последовательным резонансным контуром

На рис. 2 представлен экспериментальный макет, рассчитанный на мощность 100Вт. Напряжение питания меняется в диапазоне от 30 до 50 В. Регулировка напряжения на нагрузки осуществляется изменением частоты в диапазоне от 50 до 100 кГц. Конденсатор емкостью 92 нФ и индуктивность 0,1 мГн задают резонансную частоту  $f=50$  кГц. В качестве батареи использовались конденсаторы суммарной емкостью 22 мФ.

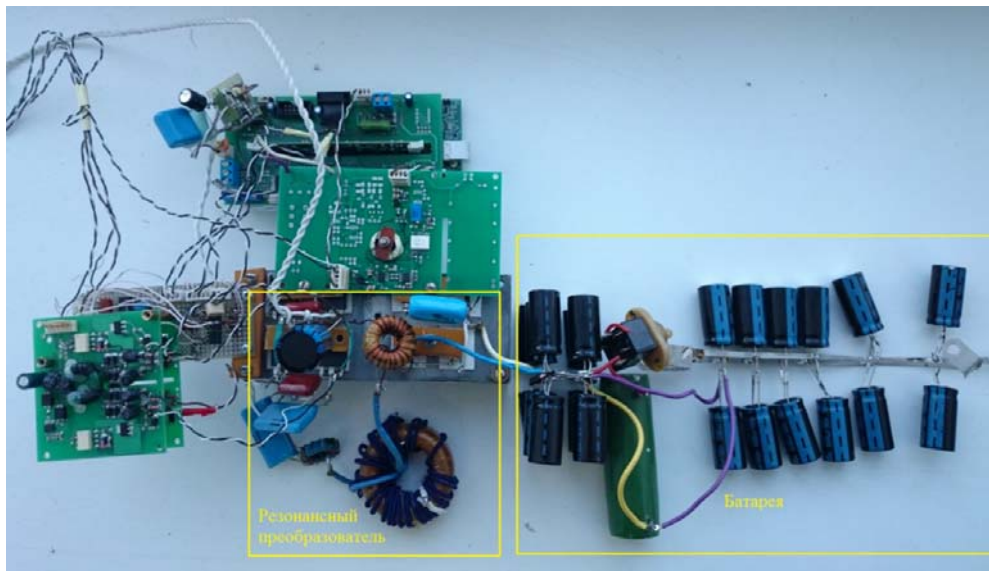


Рис. 2. Экспериментальный макет

В результате работы были получены диаграммы работы устройства. На рис. 3 представлены кривые зарядного тока и напряжения батареи. Заряд осуществляется методом «постоянный ток – постоянное напряжение».

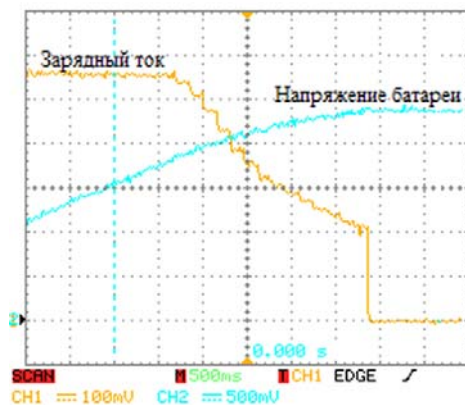


Рис. 3. Зарядный ток (0,19 А в клетке) и напряжение батареи (10 В в клетке)

На рис. 4 и 5 представлены диаграммы токов и напряжений силовых ключей инвертора. Видно, что они включаются при нуле напряжения и выключаются при малом токе во всем диапазоне напряжения питания.

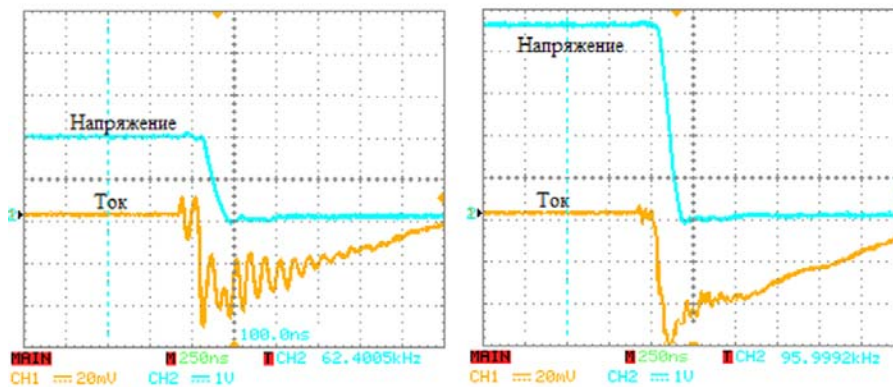


Рис. 4. Включение силового ключа VT1. 160мА в клетке для первого канала, 10В в клетке для второго канала

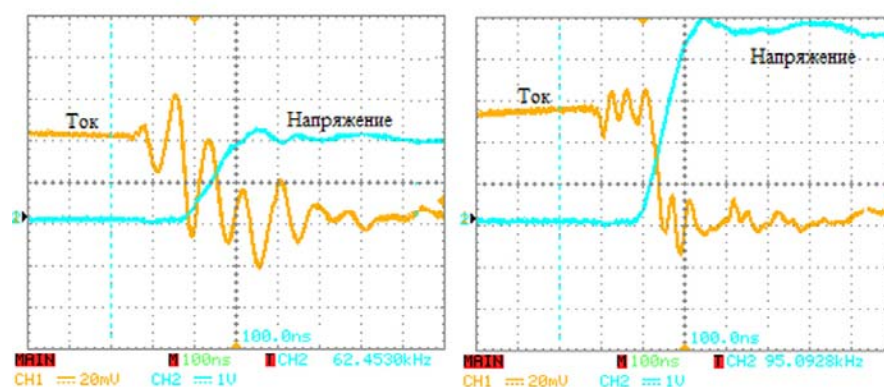


Рис. 5. Выключение силового ключа VT1. 160 мА в клетке для первого канала, 10 В в клетке для второго канала

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мукунд Р. Пател. Системы электроснабжения космических аппаратов. – Тэйлор & Францис, 2004. – 736 с.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632 с.

## ШИРОКОПОЛОСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ЗАДАЧ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Бардамов А.В.<sup>1</sup>, Ивандаев С.Э.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Ярославцев Е.В. доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: asdarka1994@gmail.com

## WIDEBAND AMPLIFIER FOR TASK OF NON-DESTRUCTIVE TESTING

Bardamov A.V.<sup>1</sup>, Ivandaev S.E.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Yaroslavtsev E.V.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: asdarka1994@gmail.com

*В статье рассмотрен ультразвуковой метод обнаружения дефектов. Выявлены основные проблемы получения информации от широкополосных микрофонов и пьезоэлектрических преобразователя. Обоснована практическая значимость применения усилителя для выходного сигнала с пьезопреобразователя. Обозначены основные требования, предъявляемые к усилителю. На основе требований было произведено имитационное моделирование усилителя, в результате которого была построена амплитудно-частотная характеристика усилителя. По полученной характеристике были сделаны выводы о работоспособности усилителя на требуемых частотах.*

*The article describes ultrasonic method detection of defects. The basic problems have been identified for obtaining information from wideband microphones and piezoelectric transducers. Substantiates the practical significance of using the amplifier for the output signal of the piezoelectric transducer. The main requirements imposed on the amplifier. Based on requirements was proposed by the structural and circuit diagrams of the amplifier. On the basis of the requirements, an imitation simulation of the amplifier was made, as a result of which the amplitude-frequency response of the amplifier was constructed. According to the received characteristics, conclusions were made about the operability of the amplifier at the required frequencies.*

В настоящее время постоянно растет интерес к применению неразрушающих методов контроля. Основным отличием от других методов контроля является возможность оценить параметры и свойства объекта контроля (ОК) без его разрушения. Эти методы позволяют определить структуру материала, качество термической обработки, внутренние или поверхностные дефекты, геометрические формы материала, а также химический состав [1].

Существуют различные виды неразрушающего контроля, которые широко используются в технологических процессах. Однако наибольшее распространение получил ультразвуковой контроль [1]. Это объясняется более высокой чувствительностью и лучшей выявляемостью трещиноподобных дефектов, более высокой оперативностью и производительностью, меньшей стоимостью и безопасностью в работе, по сравнению с остальными методами контроля.

Впервые об ультразвуковом контроле, в нашей стране, стали упоминать в 1928 году, известным профессором С.Я. Соколовым, были сформулированы основные принципы ультразвуковой дефектоскопии, а с середины 50-х годов этот метод стал активно применяться для оценки качества продукции [2].

Ультразвуковой метод неразрушающего контроля основан на физическом принципе распространения и приема упругих колебаний в объект контроля [2]. Информативными признаками являются: амплитуда, фаза, время распространения, число импульсов, амплитудно-частотный спектр, плотность сигналов и пр. Для формирования/регистрации ультразвуковых колебаний зачастую используют пьезоэлектрические преобразователи (ПП) [3]. Для реализации обратной связи в системах УЗ неразрушающего контроля необходимо согласовать сенсор УЗ колебаний со схемами диагностики и управления. В качестве сенсора используются широкополосные микрофоны и пьезопреобразователи (ПП), которые при интенсивностях сигналов, используемых в НК на практике, имеют низкую амплитуду выходного сигнала (единицы и десятки мВ). Для согласования по уровням нужен усилитель.

Для расчета реального каскада, первым делом, необходимо произвести имитационное моделирование. Имитационное моделирование позволяет произвести анализ поведения схемы на требуемых частотах.

Целью работы является создание модели усилительного каскада на операционном усилителе.

Усилитель должен удовлетворять следующим техническим характеристикам:

напряжение питания от сети 220 В, либо автономное; полоса пропускания – 10 МГц; амплитудное значение выходного напряжения 1 В; коэффициент усиления усилителя  $K_U - 25$ .

Моделирование устройства производилось в пакете OrCAD Pspice с использованием схемы, приведенной на рис. 1.

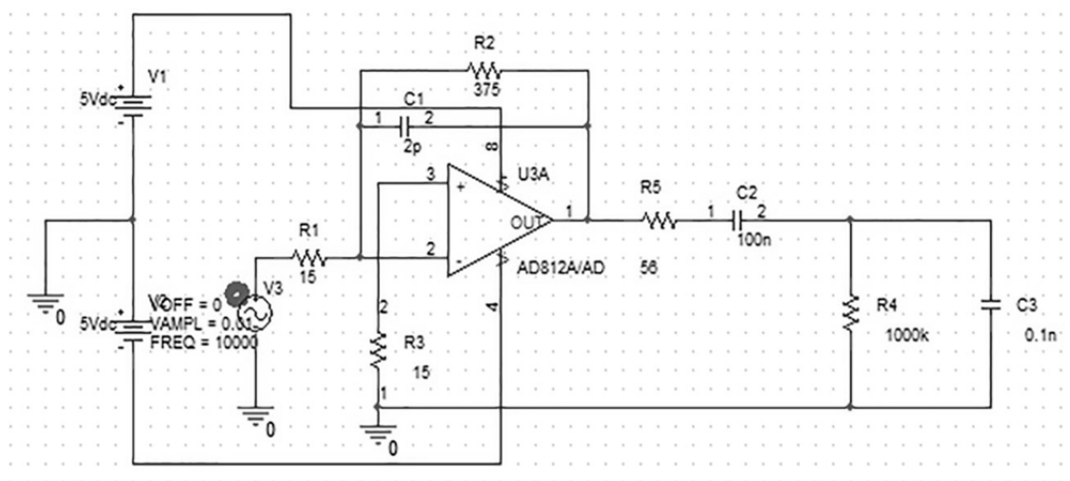


Рис. 1. Схема исследуемой модели в программе PSpice

Все элементы модели являются стандартными компонентами программы Pspice. В качестве выходного каскада выступает инвертирующая схема включения операционного усилителя. Основным достоинством применения инвертирующего включения является большая устойчивость работы, по сравнению с неинвертирующей схемой [6]. Усилитель питается постоянным двуполярным напряжением  $\pm 5$ В. Для задания коэффициента усиления используется соотношение:

$$K_U = -\frac{R_2}{R_1}$$

Для данной цепи были сняты АЧХ, как с частотной коррекцией, так и без нее. АЧХ представлены на рис. 2.

Результат моделирования показывает, что схема без частотной коррекции имеет меньший частотный диапазон, что не удовлетворяет техническому требованию. Для решения проблемы была введена частотная коррекция, в качестве которой выступает форсирующая подстраиваемая емкость, подключенная параллельно резистору  $R_2$ .

Для разработки рабочего макета усилителя были: произведены оценки параметров пьезоэлемента, входной и выходной цепи усилителя с учетом паразитных составляющих. Также было произведено моделирование в программе PSpice, оценены параметры. Прделанная работа будет использована для сборки макета, который в дальнейшем будет внедрен в лабораторную систему для изучения дефектов в материалах.

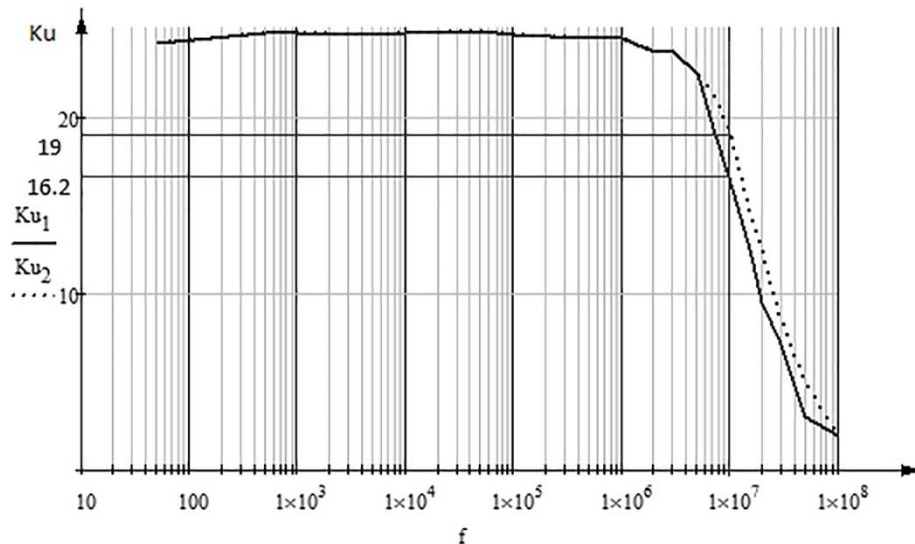


Рис. 2. АЧХ. Сплошная – без частотной коррекции, Пунктиром – с частотной коррекцией

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клюев В.В. Неразрушающий контроль. Том 3. Ультразвуковой контроль: справочник. – М.: Машиностроение, 2004. – 860 с.
2. Ермолов И.Н. Ультразвуковой контроль: учебник для специалистов. – М., 2006. – 209 с.
3. Крауткремер Г.Е. Ультразвуковой контроль материалов: справочник. – М.: Металлургия, 1991. – 673 с.
4. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в машиностроении: учебное пособие. – СПб.: Радиоавионика, 1995. – 317 с.
5. Сухоруков В.В. Акустические методы контроля: практическое пособие. – М.: Высшая школа, 1991. – 283 с.
6. Щербаков В.И. Электронные схемы на операционных усилителях. – К.: Техника, 1983. – 213 с.

#### СИНТЕЗ КИХ-ФИЛЬТРА МЕТОДОМ ЧАСТОТНОЙ ВЫБОРКИ

Буй Дык Бьен<sup>1</sup>

Научный руководитель: Баранов П.Ф., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: bdbtpu@gmail.com

#### FIR FILTER DESIGN USING FREQUENCY SAMPLING METHOD

Bien Duc Bui<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Baranov P.F.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: bdbtpu@gmail.com

*В настоящее время методы цифровой обработки сигналов (ЦОС) широко применяются в различных областях для решения задач фильтрации сигналов. Характерными свойствами ЦОС является высокая точность, технологичность, нечувствительность к дестабилизирующим факторам, функциональная гибкость. Статья посвящена математической модели КИХ-фильтров и процессу их синтеза методом частотной выборки.*

At present, the digital signal processing method (DSP) are widely used in various fields to solve signal filtering problems. Characteristic properties DSP are high accuracy, manufacturability, insensitivity to destabilizing factor, functional flexibility. The paper focuses on the mathematical model of FIR filters and the process of their synthesis by frequency sampling method.

Дискретные линейные системы описываются во временной области математически разностным уравнением [1]:

$$\sum_{k=0}^M a_k \cdot y(n-k) = \sum_{i=0}^N b_i \cdot x(n-i), \quad (1)$$

где  $a_k, b_i$  – весовые коэффициенты;  $y(n-k), x(n-i)$  – выходной и входной сигналы, задержанные на  $k$  и  $i$  периодов дискретизации;  $M$  – порядок уравнения ( $M > N$ ).

В случае, когда  $a_0 = 1, a_k = 0$  при  $k \geq 1$  разностное уравнение (1) приводится в нерекурсивный цифровой фильтр (НРЦФ).

$$y(n) = \sum_{i=0}^N b_i \cdot x(n-i)$$

НРЦФ не имеет обратную связь, его выходной сигнал определяется взвешенной с весами  $b_i$  суммой текущего и  $N$  предыдущих отсчетов входного сигнала.

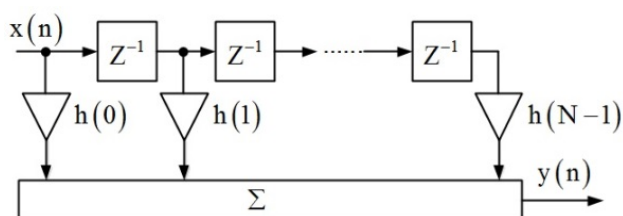


Рис. 1. Структурная схема НРЦФ на основе дискретной временной свертки

В дискретных системах, аналогом интеграла свертки является дискретная временная свертка [1].

$$y(n) = \sum_{m=0}^{\infty} h(m) \cdot x(n-m) \quad (2)$$

НРЦФ относится к классу КИХ – фильтров [2], имеющих конечную импульсную характеристику, тогда выражение (2) для НРЦФ имеет конечные пределы суммирования, определяемые длиной импульсной характеристикой  $N$  (рис. 1):

$$y(n) = \sum_{m=0}^{N-1} h(m) \cdot x(n-m) = \sum_{m=0}^{N-1} h(n-m) \cdot x(m) \quad (3)$$

Синтез передаточной функции фильтров НРЦФ сводится к нахождению их импульсной характеристики конечной длины [1] и выполняется несколькими методами, одним из которых является метод частотной выборки, полностью сформулированный в частотной области и весьма удобен для проектирования фильтров. При использовании метода частотной выборки для синтеза НРЦФ импульсная характеристика (коэффициенты фильтра) определяется путем дискретизации заданной желаемой частотной характеристики по частоте  $H_d(j\omega)$  и вычисления ее обратного дискретного преобразования Фурье. Для выполнения вышеуказанных действий воспользуется Mathcad.



$$|H_d(\omega)| = \begin{cases} 1 & \text{если } 0 \leq \omega \leq [(\sqrt{2}-1)(\omega_c - \omega_3) + \omega_c] \\ \left(\frac{\omega - \omega_c}{\omega_c - \omega_3} + 1\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{если } [(\sqrt{2}-1)(\omega_c - \omega_3) + \omega_c] \leq \omega \leq \omega_3 \\ 0 & \text{если } \omega_3 \leq \omega \end{cases} \quad (4)$$

Выражение (4) представляет собой уравнение желаемой ФЧХ фильтра нижних частот, где применяются частота задержания  $f_3 = 170$  Гц, частота среза  $f_c = 100$  Гц и частота дискретизации  $f_d = 48$  кГц.

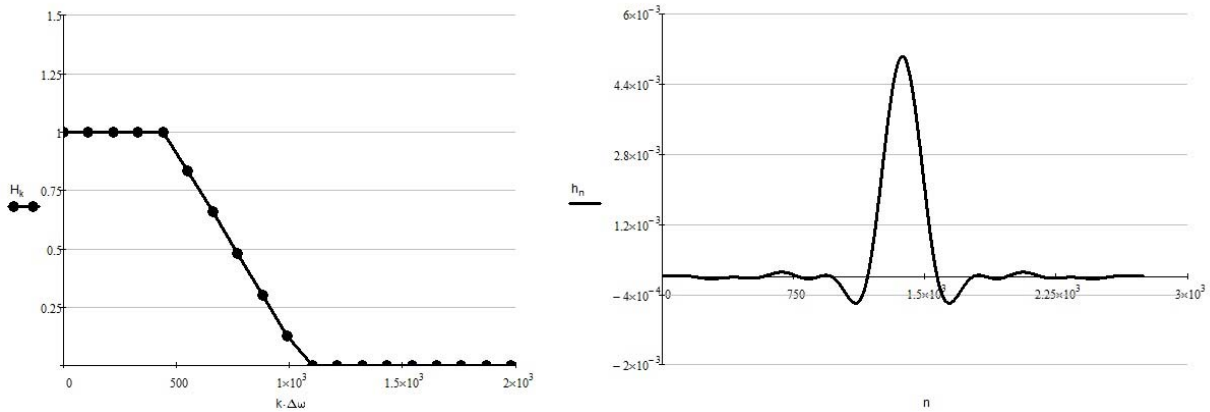


Рис. 2. Дискретизированная частотная характеристика и импульсная характеристика

Дискретизация по частоте частотной характеристики  $|H_d(\omega)|$  выполняется в полосе от 0 до  $\omega_d$  путем перехода от непрерывных значений частоты  $\omega$  к дискретным значениям:

$$\omega_k = k \cdot \Delta\omega,$$

где  $k = 0 \dots (N-1)$  – номер частотной выборки;  $N = \omega_d / \Delta\omega$  – число точек дискретизации;  $\Delta\omega = \Delta\omega_{\text{пер}} / (L+1)$  – шаг дискретизации;  $\Delta\omega_{\text{пер}}$  – переходная полоса фильтра;  $L$  – число варьируемых отсчетов частотной характеристики в переходной полосе,

$L$  принимаем равным 3, тем самым обеспечивается минимальное затухание в полосе задерживания до 80–100 дБ. В результате получается дискретизированная частотная характеристика (ДЧХ) фильтра  $H_d(\omega_k)$  при числе точек дискретизации  $N = 2743$  (рис. 2, слева). ДЧХ фильтра имеет значения, равные единице в полосе пропускания, нулю в полосе задержания и некоторые варьируемые промежуточные значения в переходной полосе, от которых зависит качество аппроксимации заданной частотной характеристики.

С учетом симметрии частотной характеристики при  $n = 0 \dots N-1$ , определение импульсной характеристики НРЦФ осуществляется с помощью обратного дискретного преобразования Фурье (рис. 2, справа).

$$h(n) = \frac{H_d(0)}{N} + \frac{1}{N} \left[ \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} \left[ 2 |H_d(j\omega_k)| \cdot \cos \left[ \left( n - \frac{N-1}{2} \right) \cdot \omega_k \cdot T_0 \right] \right] \right]$$

По полученной импульсной характеристике находится частотная характеристика фильтра

$$H(j\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot n \cdot T_0}$$

Отвечая условию симметрии [2], нерекурсивный цифровой фильтр имеет ФЧХ и групповое время запаздывания, определяющие по формулам (5). На рис. 3 представлены частотные характеристики НРЦФ.

$$\varphi(\omega) = -\omega \cdot \frac{N-1}{2} \cdot T_0; \quad t_s = \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} = -\frac{N-1}{2} \cdot T_0 \quad (5)$$

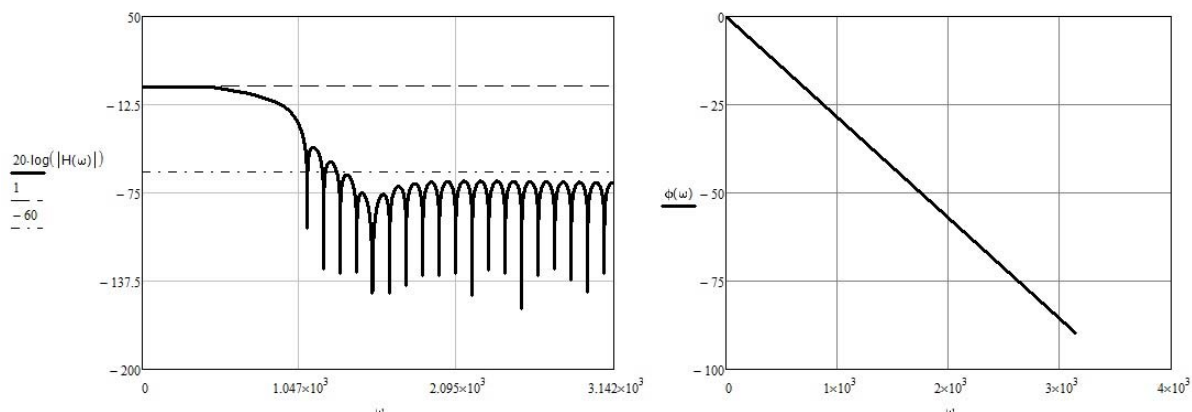


Рис. 3. ЛАЧХ и ФЧХ проектируемого фильтра низких частот

По результатам расчетов (рис. 3), пульсация в полосе пропускания не более 1 дБ и подавление на частоте 250 Гц не менее 60 дБ. Для аппаратной реализации рассчитанного фильтра необходимы  $N-1$  элемент памяти,  $N$  умножителей и сумматор  $N$  входов. Для программной реализации объем вычислений составляет  $N$  операций умножения и  $(N-1)$  операций сложения на каждый отсчет выходного сигнала.

КИХ фильтр реализованный с помощью прямой свертки (3), всегда устойчив и из формулы (5) следует что, возможно получить строго линейную ФЧХ или постоянное групповое время запаздывания при условии симметрии импульсной характеристики. Наличие линейной ФЧХ позволяет применять такие фильтры для решения задач синхронного детектирования [4–5]. К недостатку такого фильтра следует отнести то, что при его исполнении необходимо большое число вычислений и большое число цифровых элементов, особенно при большой крутизне срезов АЧХ. Такой фильтр целесообразно синтезировать для решения задач, где требуется получение фильтров, имеющих линейную фазу, например в синхронных усилителях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровая обработка сигналов. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: курс лекций / А. С. Глинченко. – Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.
2. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.: ил.
3. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация: пер. с англ. / Г. Лэм. – М.: Мир, 1982. – 592 с.
4. Баранов П.Ф., Бориков В.Н. Синхронный усилитель с дифференциальным входом для метрологического обеспечения масштабных измерительных преобразователей // Приборы. – 2013. – № 4. – С. 8–11.
5. Цимбалист Э.И., Баранов П.Ф., Бориков В.Н. Устройство сравнения двух напряжений одной частоты // Датчики и системы. – 2012. – № 2. – С. 34–36.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ  
ДЛЯ ПИТАНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКИ**

Ивандаев С.Э.<sup>1</sup>, Бардамов А.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Ярославцев Е.В. доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: sei2@tpu.ru

**SIMULATION OF HIGH-FREQUENCY VOLTAGE INVERTER  
BASED ON INDUCTIVE-CAPACITIVE CONVERTER FOR SUPPLY NONLINEAR LOAD**

Ivandaev S.E.<sup>1</sup>, Bardamov A.V.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Yaroslavtsev E.V.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: sei2@tpu.ru

*При разработке устройства очень важное место имеет имитационное моделирование. Моделирование позволяет произвести анализ работы, получить наглядное изображение основных процессов, возникающих в рабочем режиме функционирования устройства. Результаты моделирования сравниваются с аналитическими расчетами, и производится анализ. В данной статье было рассмотрено моделирование схемы высокочастотного инвертора на основе индуктивно-емкостного преобразователя для питания нелинейной нагрузки в пакете программ OrCAD. Основными элементами разрабатываемой схемы являются двухтактный инвертор, к выходам которого подключен повышающий трансформатор и индуктивно-емкостной преобразователь.*

*Simulation has a very important place in designing of device. Simulation allows you to analyze the work, to get a visual image of the basic processes which occurring in the working mode of the device. The simulation results are compared with analytical calculations and analyzed. This article is a review of simulation of the high-frequency inverter circuit based on inductive-capacitive converter for non-linear load in OrCAD program. The main elements of scheme are push-pull inverter which connected to step-up transformer and an inductive-capacitive converter.*

В электротехнике широкое практическое применение находят устройства неизменного тока, то есть устройства потребления и распределения электрической энергии, обеспечивающие независимость тока нагрузки от величины ее сопротивления. Использование устройств неизменного тока для питания дуговых разрядов в различных технологиях производства обосновано наличием падающего участка на вольт-амперной характеристике, а именно отрицательным динамическим сопротивлением. На практике такие устройства применяются для питания газоразрядных ламп, в качестве зарядных устройств стабилизированного тока и для сварки.

Для стабилизации широко применяются системы неизменного тока на основе индуктивно-емкостных преобразователей (ИЕП) из-за своей простоты, надежности и экономичности [1]. Применение систем стабилизированного тока для питания дуговых разрядов на основе ИЕП в различных технологиях производства повышает статическую и динамическую устойчивость дуги, а также улучшает ее воспроизводимость, условия иницирования, регулирование и износостойкость электродов.

Имитационное моделирование позволяет произвести исследование работы схемы в разных режимах и сэкономить время при разработке устройства.

Целью работы является создание модели устройства неизменного тока на основе индуктивно-емкостного преобразователя, анализ его работы и сравнение результатов моделирования с расчетными значениями.

Преобразователь имеет следующие технические характеристики: напряжение питания – постоянное, меняющееся в диапазоне от 11,7 до 12,7 В; максимальный входной ток – 9 А; частота преобразователя – 20–25 кГц; номинальный ток нагрузки – 0,43 А, действующее значение выходного напряжения при номинальном токе – 104 В.

Преобразователь должен выполнить две основные функции: преобразование постоянного напряжения в переменное и стабилизацию выходного тока, который не должен зависеть от величины сопротивления нагрузки.

В качестве преобразователя напряжения используется двухтактный инвертор, а для стабилизации тока через нагрузку применяется схема индуктивно-ёмкостного преобразователя (ИЕП) [2].

Моделирование устройства производилось в пакете OrCAD Pspice с использованием схемы, приведенной на рис. 1.

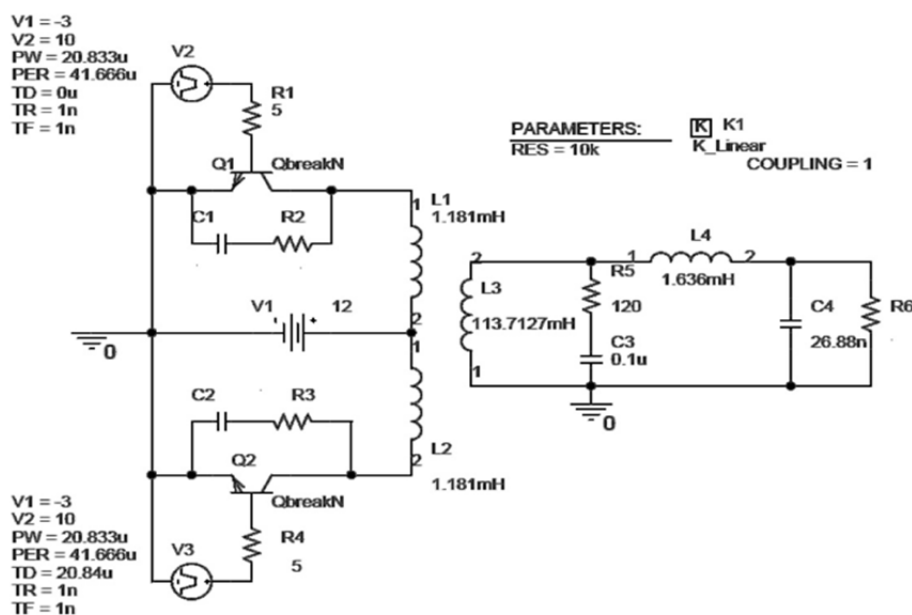


Рис. 1. Схема исследуемой модели в программе PSpice

Все элементы модели являются стандартными компонентами программы Pspice. Инвертор построен по двухтактной схеме, к выходу которого подключен повышающий трансформатор с коэффициентом трансформации, равным 9,8. Ключевыми элементами были выбраны идеализированные биполярные транзисторы (Q1, Q2). Управление транзисторами осуществляется импульсными генераторами (V1, V2), работающими в противофазе с частотой 24 кГц, подключенные через токоограничивающие резисторы (R1, R4). Для защиты транзисторов от выбросов напряжения используются демпферные цепи, подключенные параллельно к транзисторам. Резистор R5 и конденсатор C3 служат для уменьшения выбросов, возникающих в колебательном контуре, образованном паразитными емкостями и индуктивностями. Для стабилизации выходного тока используется «Г-образная» схема индуктивно-ёмкостного преобразователя, состоящая из последовательно подключенных индуктивности L4 и конденсатора C4. Нагрузка R6, величина которой меняется во время моделирования от 0,01 Ом до 2 кОм, подключается параллельно к конденсатору C4.

Диаграммы на рис. 2, подтверждающие работоспособность модели, были сняты при сопротивлении нагрузки, равным 1000 Ом.

Параметры разработанного устройства, полученные в результате моделирования и предварительных расчетов, приведены в табл. 1.

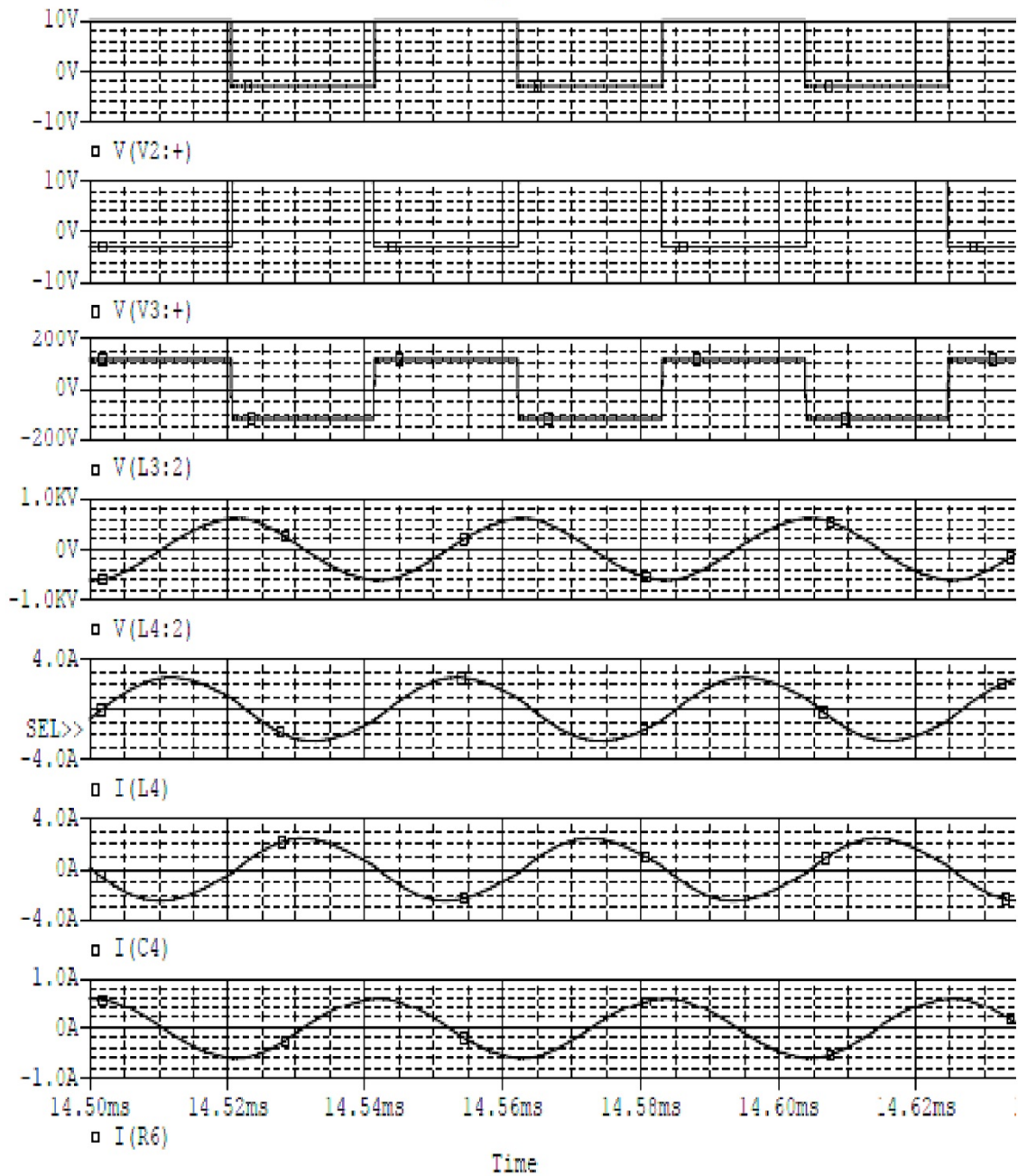


Рис. 2. Диаграммы токов и напряжений на элементах модели

Таблица 1. Зависимость максимального значения тока нагрузки от величины сопротивления нагрузки

	Сопротивление нагрузки, Ом	0,01	100	500	1000	1500	2000
Максимальное значение тока нагрузки в установившемся режиме, мА	Расчетное значение	608	608	608	608	608	608
	Результат моделирования	725,70	658,62	613,35	609,37	606,91	604,55
	Погрешность, %	19,35	8,32	0,89	0,23	0,18	0,56
Амплитудное значение напряжения на нагрузке, В		0,007	65,86	306,74	609,37	910,365	1209,1
Мощность, Вт		0,003	21,68	94,09	185,66	276,26	365,48

В ходе работы был проведен расчет и получены основные числовые данные компонентов, диаграммы напряжений и токов схемы. Разработанная модель адекватно отражает все процессы, протекающие в исследуемой схеме. При сравнении максимального тока нагрузки при величине нагрузки 0,01 Ом с результатом моделирования величина погрешности составляет 19,35 %. Данная погрешность объясняется тем, что при проведении расчетов были не рассмотрены паразитные параметры схемы (сопротивления, емкости и т. д.).

Разработанная модель с достаточной точностью отражает процессы, протекающие в схеме, и может быть использована при разработке реального устройства. Данное устройство можно использовать в качестве источника питания люминесцентных ламп для освещения небольших помещений в условиях ограниченного энергопотребления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков И.В., Губаревич В.Н., Исаков В.Н., Кабан В.П. Принципы построения и оптимизации схем индуктивно-емкостных преобразователей. – Киев: Наук. думка, 1981. – С. 40–42.
2. Зиновьев Г.С. Силовая электроника: учеб. пособие для бакалавров / Г.С. Зиновьев. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 667 с. – Серия: Бакалавр. Углубленный курс.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Чиеу Дык Куан<sup>1</sup>

Научный руководитель: Огородников Д.Н., к.т.н., доцент

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

#### STUDY OF LED LAMP POWER SUPPLY

Chieu Dyk Kuan<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Ogorodnikov D.N.

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

*В данной статье исследуется источник питания светодиодного светильника с высоким коэффициентом мощности. Использована микросхема корректора коэффициента мощности компании STMicroelectronics L6561 в обратноходовой топологии. С помощью этой микросхемы упрощается построение источника питания, учитывая стандарты энергосбережения и требования к уровню вносимых в питающую сеть искажений.*

*In this article, we investigate the LED lamp power supply with a high power factor. To implement this, the power factor corrector of STMicroelectronics L6561 is used in the fly-back topology. With the help of this IC simplifies the construction of the power supply, considering energy-efficiency standards and requirements for the level introduced into the mains distortion.*

На сегодняшний день на большинстве осветительных приборов используются светодиоды, которые связаны с эффективным энергосбережением для источника питания. По всем параметрам светодиодные светильники опережают как стандартные лампы накаливания, так и люминесцентные лампы. Для многих устройств на основе светодиодов должны быть использованы источники питания, преобразующие переменный входной ток в постоянный выходной. Для более эффективного использования энергоресурсов необходимо применять коррекцию коэффициента мощности [1].

На рынке существует множество микросхем с различными показателями, позволяющее нам реализовать источник питания с управлением коэффициентом мощности. Среди них такие известные фирмы – производители электронной аппаратуры как Texas Instruments, STMicroelectronics и другие.

Компанией STMicroelectronics выпускается целый ряд интегральных микросхем для построения корректоров мощности: L6561, L6562 и L6563. Эти и подобные им микросхемы предназначены для реализации систем управления с функцией коррекции потребляемой мощности, работающих в переходном режиме. Мощность преобразования не превышает 300 Вт.

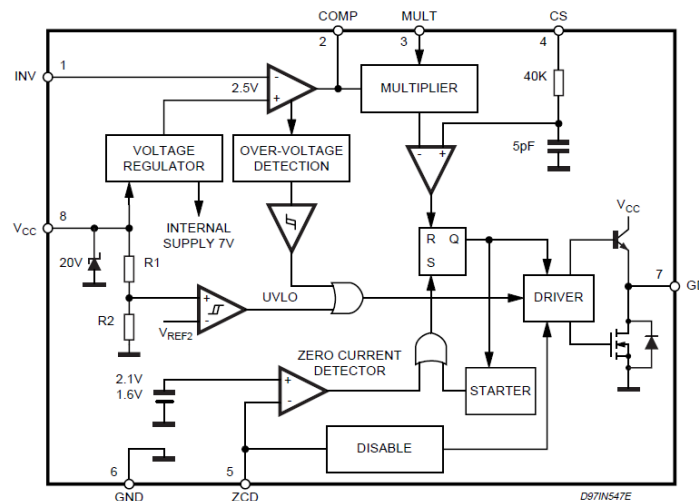


Рис. 1. Внутренний блок схемы L6561

Внутренний блок схемы корректора L6561 приведен на рис. 1.

Описание функции выводов микросхемы L6561 [2]:

- VCC и GND подключаются соответственно к напряжению сети и общему заземлению.
- INV относится к инвертирующей входной шине усилителя ошибок. Выходное напряжение подключается к шине INV через делитель сопротивления для обеспечения напряжения обратной связи.
- COMP относится к выходу усилителя ошибок, подключенному к внешней цепи компенсации RC.
- MULT относится к входной шине внутреннего умножителя. Выходное напряжение мостового выпрямителя подключается к шине MULT через делитель сопротивления, чтобы сигнал напряжения на этой шине был пропорционален выходному напряжению мостового выпрямителя.
- CS относится к шине обнаружения пикового тока внешнего МОП-транзистора.
- ZCD относится к цепи датчика нулевого тока.
- GD относится к выводу затвора внешнего МОП-транзистора.

Исследования проведем на примере источника питания для светодиодных светильников со следующими данными: входное напряжение  $U_{вх}=230В\pm 10\%$ ; частота входного напряжения  $f=50\pm 0,2$  Гц; номинальная мощность нагрузки  $P_n=150$  Вт; ток нагрузки  $I_n=1,4$  А и используем микросхему L6561. На рис. 2 показана принципиальная схема источника питания, промоделированная в программе Simetrix/SIMPLIS.

Входное напряжение V1 синусоидальное. Выходное напряжение выпрямителя через делитель напряжения R1 и R2 подключается в шине MULT. Вывод 3 (на рис. 2 он обозначен буквой E) оптрона PC817 соединен с входом усилителя рассогласования INV, в то время как на элементах, включенных между входом

и выходом операционного усилителя, реализована цепь коррекции обратной связи. Делитель, соединенный с входом MULT микросхемы, задает максимальное значение тока, проходящего через силовой транзистор (ключ S1) а, по существу, он задает падение напряжения на резисторе R7 (соединенном с входом CS), при котором срабатывает внутренний компаратор, ограничивающий ток в первичной цепи. Таким образом, ток через силовой ключ (вернее его среднее значение) соответствует форме входного напряжения, т. е. синусоидальной форме, и совпадает по фазе с этим напряжением. С дополнительной обмотки, подключенной через резистор R8 к выводу ZCD микросхемы, контроллер получает информацию о завершении очередного цикла передачи энергии из индуктивности TX1 в нагрузку. Как только напряжение на выводе ZCD становится равным нулю (то есть ток вторичной обмотки упал до нуля), внутренний компаратор микросхемы дает команду на отпирание ключа S1 и, соответственно, начало очередного цикла накопления энергии. Таким образом, в одной микросхеме реализуются два устройства: силовой преобразователь и корректор коэффициента мощности.

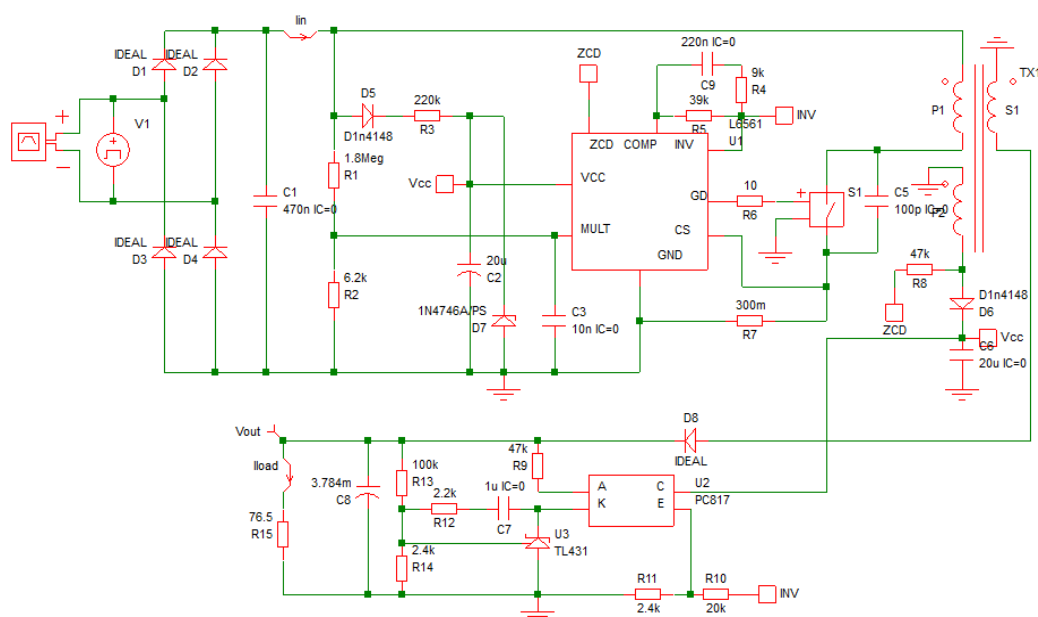


Рис. 2. Источник питания светодиодных светильников на основе L6561

Ниже показаны диаграммы токов и напряжений на входе и выходе модели источника питания в установившемся режиме.

Выводы по результатам моделирования: Из рис.4. видно, что значение выходного тока  $I_{\text{вых}} = 1,396 \text{ A}$ , значение выходного напряжения  $U_{\text{вых}} = 106,8 \text{ A}$ , удовлетворяющие требованию технического задания.

С помощью микросхемы L6561 преобразователь получил следующие преимущества [3, 4]:

- при заданной номинальной мощности входная емкость может быть в сотни раз меньше, по сравнению со схемой без корректора. Таким образом, громоздкий и дорогостоящий высоковольтный электролитический конденсатор после диодного моста будет заменен на малогабаритный, дешевый пленочный конденсатор.
- низкий ток потребления L6561 минимизирует мощность, рассеиваемую как пусковым резистором, так и в цепи питания.
- микросхема L6561 обеспечивает защиту от перенапряжения в нагрузке, а также возможность включения/выключения преобразователя при помощи шины ZCD.



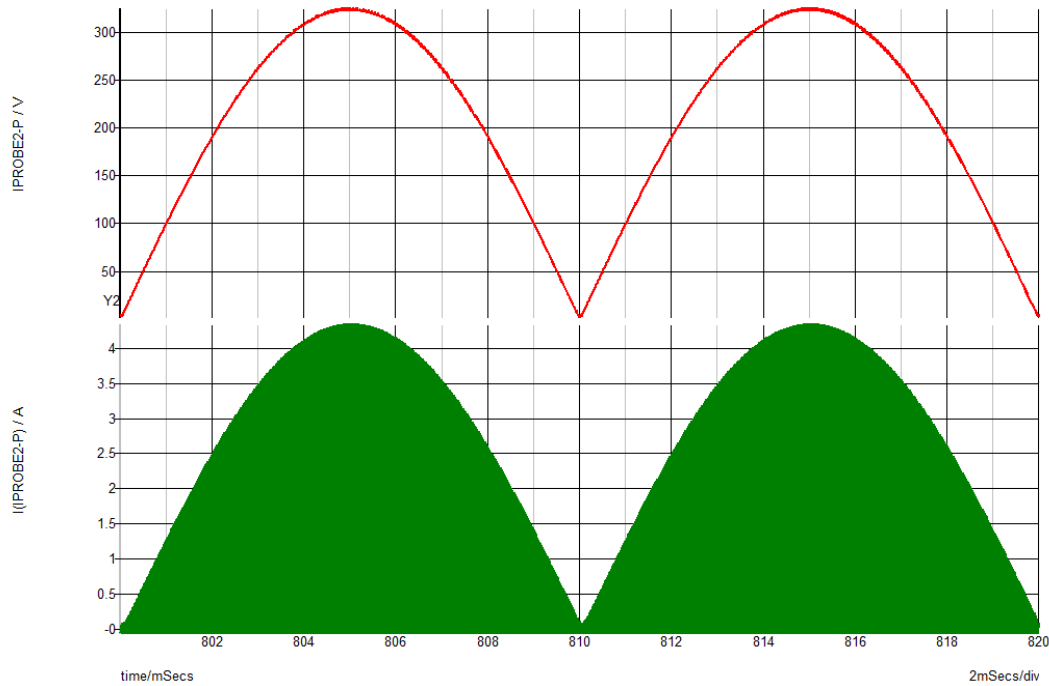


Рис. 3. Диаграммы: выпрямленное входное напряжение, выпрямленный входной ток

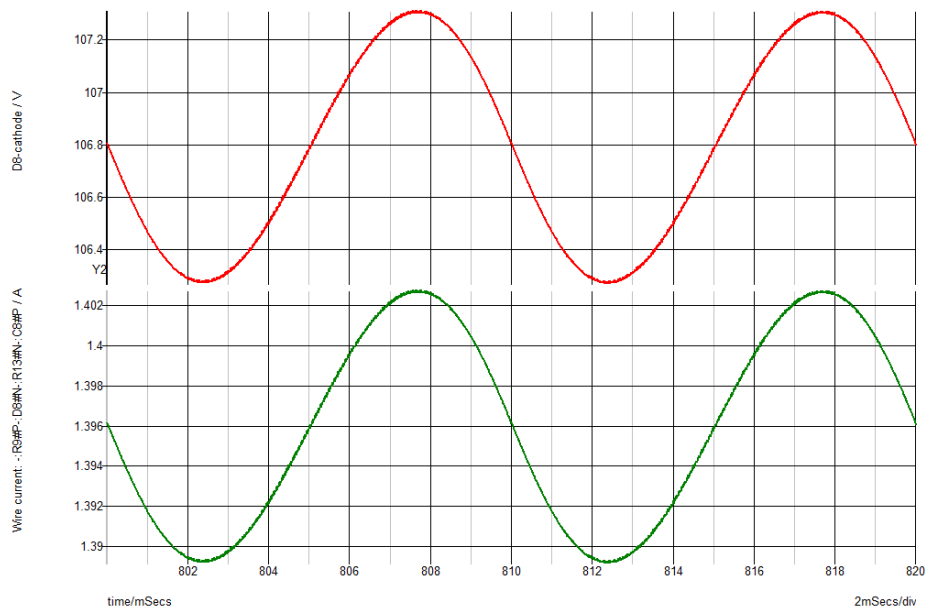


Рис. 4. Диаграммы: выходное напряжение (пульсации), выходной ток

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королёв А.В. Источник питания светодиодного светильника // I Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2011. – Т. 1. – С. 66–69.
2. L6561 Power factor corrector – STMicroelectronics – (Электронный ресурс: [www.st.com/resource/en/datasheet/l6561.pdf](http://www.st.com/resource/en/datasheet/l6561.pdf)). Дата обращения 20.02.2017.
3. Adragna C., Gattavari G. Flyback converters with the L6561 PFC controller – STMicroelectron – (Электронный ресурс: [www.st.com/resource/en/application\\_note/cd00004041.pdf](http://www.st.com/resource/en/application_note/cd00004041.pdf)). Дата обращения 20.02.2017
4. Hunter P. Solve Switcher Problems with Power-Factor Correction // Electronic Design, Febr. 6, 1992.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТАЙМЕРОВ,  
ВЫПОЛНЕННЫХ ПО БИПОЛЯРНОЙ И КМОП ТЕХНОЛОГИЯМ**

Нагуслаев Н.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Огородников Д.Н., доцент, к.т.н.

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

**EXPERIMENTAL STUDY OF TIMERS IMPLEMENTED IN BIPOLAR AND CMOS TECHNOLOGIES**

Naguslaev N.A.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Ogorodnikov D.N.

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

*В данной статье исследуются микросхемы таймеров, выполненных по биполярной и КМОП технологиям. Приводятся расчеты, а также практическая реализация и результаты эксперимента. Делается вывод о том, какой из генераторов, в основе которых лежат таймеры, более долговечен и экономичен в отношении к потреблению электроэнергии.*

*In this article, we study the timer ICs implemented in bipolar and CMOS technologies. Calculations of the circuit components are given, as well as practical implementation and experimental results. We determine which of the timers based generators is better with respect to energy consumption.*

Расход электроэнергии является одним из актуальных проблем на сегодняшний день. Потребление энергии является обязательным условием существования человечества. Наличие доступной для потребления энергии всегда было необходимо для удовлетворения потребностей человека, увеличения продолжительности и улучшения условий его жизни. К примеру, на освещение дорог, метро, туннелей, а также пешеходных переходов тратится большое количество электроэнергии. Соответственно, такая проблема приводит к большим затратам денежных средств.

Уменьшение энергопотребления на 30–50 % важно не только в экономическом плане – это реальный вклад в решение проблемы эффективного использования ресурсов.

Разрабатываемая схема может быть использована для визуального обозначения границ пешеходных переходов в темное время суток, либо в условиях недостаточной видимости. Для этого используем белый светодиод в импульсном режиме. Такой режим работы обеспечит прибору длительное использование при питании от автономного источника (батарея, аккумулятор).

Эксперимент будет заключаться в следующем: обеспечим мигание светодиода с частотой 1 вспышка в секунду, длительность которой составляет  $t_{всп} = 1$  мс, и на основе полученных данных сделаем выводы об энергопотреблении схемы. В качестве источника питания будет использован гальванический элемент GB1 с напряжением  $U_{бат} = 9$  В.

Таймер типа 555 может работать в режиме генератора импульсов (автоколебательный режим) и в ждущем режиме как одновибратор (генератор одиночных импульсов) [1].

Для реализации поставленной задачи воспользуемся схемой генератора импульсов. Принципиальная схема генератора показана на рис. 1.

В данной схеме время импульса определяется зарядом конденсатора по цепи: +GB1, R1, R2 (или R3+R2), C1, «земля», а время паузы определяется разрядом конденсатора по цепи: C1, R2 (R3+R2), вывод 7 таймера, вывод 1 таймера, «земля». Для расчета потребуются номограммы, которые приведены на рис. 2 – для таймера, выполненного по биполярной технологии и на рис. 3 – для таймера, выполненного по КМОП технологии [2, 3].

Из номограмм видно, что при частоте равной 1 Гц с ростом емкости конденсатора уменьшается суммарное сопротивление для резисторов R1 и R2, соответственно, на них будет выделяться большая

мощность, что нецелесообразно. Поэтому выберем  $C1 = 1 \text{ мкФ}$ , тогда суммарное сопротивление должно быть около 1,5 МОм.

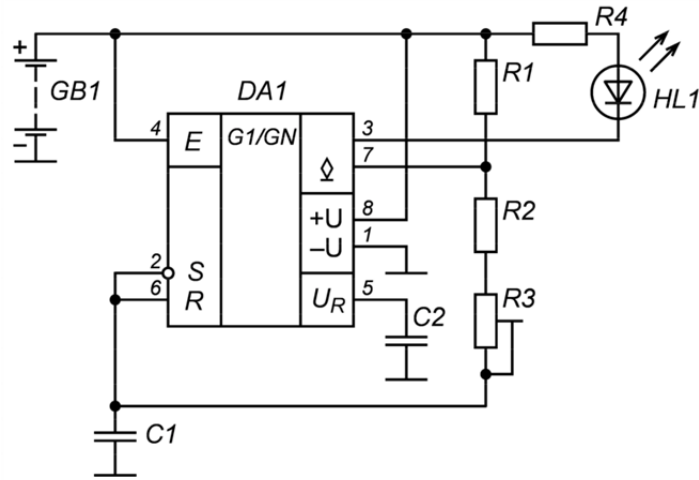


Рис. 1. Генератор импульсов на таймере 555

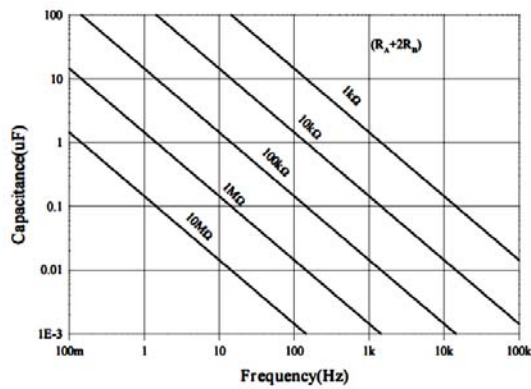


Рис. 2. Номограмма таймера 555, выполненного на биполярных транзисторах

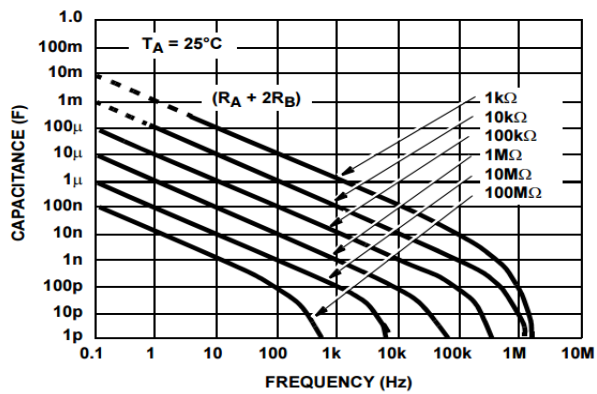


Рис. 3. Номограмма таймера 555, выполненного на полевых транзисторах

Произведем необходимые расчеты. Время паузы между импульсами рассчитывается по формуле  $t_n = 0.693C \cdot R2$ , следовательно, сопротивление  $R2 = 1443 \text{ Ом}$  (выбираем 1,5 кОм). Зная  $R2$ , можно определить сопротивление резистора  $R1$  из формулы:  $t_n = 0.693C(R1 + R2)$ , отсюда следует, что  $R1 = 1,4 \text{ МОм}$ . Резистор

$R3$  является подстроечным и нужен для точной настройки времени импульса и паузы. Для его определения разделим сопротивление резистора  $R1$  на две составляющие в процентном соотношении 90 и 20 % от расчетного значения. Тогда получим  $R1 = 1,3$  МОм, а  $R3 = 200$  кОм.

Для расчета резистора  $R4$  зададимся прямым током светодиода:  $I_F = 10$  мА. Тогда сопротивление резистора  $R4$  определяем как  $R4 = (U_{\text{бат}} - U_F) / I_F$ , где  $U_F$  – прямое падение напряжения на светодиоде. Таким образом, сопротивление  $R4$  равно 1,3 кОм. Так как вывод 5 таймера не используется, то его рекомендуют подключить к общему выводу через конденсатор  $C2 = 0,01$  мкФ для уменьшения уровня помех.

Так как время включенного состояния светодиода должно быть  $t_{\text{и}} = 1$  мс и  $t_{\text{п}} = 0,999$  с, а в расчете получили  $t_{\text{и}} = 0,999$  с и  $t_{\text{п}} = 1$  мс, то схема, фактически, генерирует импульс низкого активного уровня. Этим объясняется направление подключения светодиода (см. рис. 1).

Максимально возможную мощность, выделяющуюся на резисторах, рассчитаем по формуле:

$$P = \frac{U^2}{R} = I^2 R. \text{ Тогда } P_{R1} = 62 \text{ мВт}, P_{R2} = \frac{\left(\frac{2}{3} U_{\text{бат}}\right)^2}{R2} = 24 \text{ мВт}, P_{R3} = 0,4 \text{ мВт}, P_{R4} = \frac{(U_{\text{бат}} - U_F)^2}{R4} = 55,5 \text{ мВт}.$$

Элементы выбираем из справочника [4]:

$R1$ : C2-33H-0.125-1.3 МОм $\pm 5$ %	$C1$ : K10-Y5-H90-1 мкФ $\pm 5$ %
$R2$ : C2-33H-0.125-1.5 кОм $\pm 5$ %	$C2$ : K10-Y5-H90-0.01 мкФ $\pm 5$ %
$R3$ : СП-II-0.125-200 кОм $\pm 20$ %	$R4$ : C2-33H-0.125-1.3 кОм $\pm 5$ %
$VD1$ : BL-L513UWC	$DA1$ : NE555 (или ICM7555 IPA)

Все расчеты подходят для обоих типов таймера, это можно видеть по номограммам (рис. 2, 3).

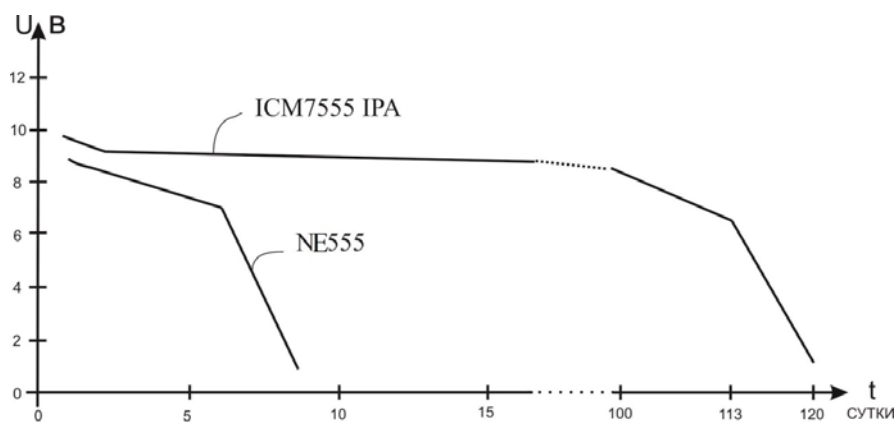


Рис. 4. Результаты эксперимента: зависимость напряжения на гальваническом элементе питания от времени работы генератора

После макетной сборки и настройки схемы производился мониторинг напряжения гальванического элемента до его полного разряда (работа генератора прекращалась при снижении входного напряжения до уровня примерно 4В). После реализации автогенераторов на таймерах с биполярной и полевой технологиях мы получили зависимости напряжения источника питания от времени работы схемы (рис. 4).

Следует отметить, что эксперименты проводились на разных источниках питания. Для генератора, выполненного на таймере с биполярной технологией, источником питания являлся гальванический элемент – батарея типа «Крона» – 6F22 фирмы «MINAMOTO», 9В, солевая, номинальная емкость которого составляет 170 мАч, а для генератора, выполненного на таймере с полевой технологией, источником

питания являлся гальванический элемент – батарея типа «Крона» – 6F22 фирмы «Camelion», 9В, солевая, номинальная емкость которого составляет 200 мАч. Проанализировав зависимость (рис. 4), можно сказать, что наиболее экономичным и долговечным является генератор на таймере КМОП-технологии. Это объясняется тем, что ток потребления этой схемы на 2 порядка меньше чем у генератора, выполненного на таймере с биполярной технологией. Схемы, которые были реализованы в ходе исследований, оказались работоспособными, а требования к частоте и длительности импульса были выполнены. В ходе эксперимента мы столкнулись с проблемой: так, увеличив сопротивление  $R1$  на порядок, и, соответственно, уменьшив емкость конденсатора  $C1$  на порядок для сохранения частоты работы, выяснилось, что при этом схема не работает. Скорее всего, это было связано с тем, что ток заряда конденсатора, который протекал через резистор  $R1$ , уменьшился до значения, сравнимого с током утечки внутреннего транзистора (его коллектор подключен к выводу 7) таймера, и напряжение на конденсаторе не поднималось до порога срабатывания таймера. С другой стороны, увеличение сопротивлений резисторов могло бы уменьшить потери мощности в цепи заряда времязадающего конденсатора, и, следовательно, увеличить время работы генератора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств: учебное пособие / Г.И. Волович. – 3-е изд. – М.: Додэка-XXI, 2011. – 528 с.: ил.
2. xx555 Precision Timers – Texas Instruments. – (Электронный ресурс: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf>).
2. ICM7555IPA – Philips Semiconductors Linear Products. – (Электронный ресурс: <https://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/icm7/icm7555-56.pdf>).
3. Резисторы и конденсаторы: справочник / И.И. Четвертков, М.Н. Дьяков, В.И. Присняков и др.; под ред. И.И. Четверткова и В.М. Терехова – М.: Радио и связь, 1993 – 392 с.: ил.

#### **СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ С АКСЕЛЕРОМЕТРОВ НА ОСНОВЕ NI MYRIO**

**Рустембек у А.<sup>1</sup>**

Научный руководитель: Баранов П.Ф., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: abdinazar1@tpu.ru

#### **DATA ACQUISITION SYSTEM WITH ACCELEROMETERS BASED ON NI MYRIO**

**Rustembek u A.<sup>1</sup>**

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Baranov P.F.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: abdinazar1@tpu.ru

*В работе предствалена распределенная система сбора данных с сети акселерометров, которая обеспечивает сбор и обработку данных для своевременного предупреждения опасностей и оповещение служб МЧС. Разработано программное обеспечение для сбора и обработки данных с акселерометра в среде графического программирования LabVIEW и проведены первые экспериментальные исследования.*

*Data acquisition system for collection and processing measurement information from an accelerometers network and for timely warning of hazards and notification of emergency services are presented in the paper. Software for data acquisition and processing with an accelerometers in the LabVIEW graphical programming environment was developed and the first experimental studies were carried out.*

## Введение

Известно, что в процессе эксплуатации здания и сооружения изнашиваются и теряют свою несущую способность. Наибольший износ здания и сооружения получают при воздействии сейсмических и вибрационных нагрузок. Понятно, что источниками сейсмических нагрузок могут быть не только землетрясения, но и промышленные взрывы, например при добыче железной руды. Источниками вибрационных нагрузок являются крупные промышленные установки, наземные и подземные транспортные средства. От постоянного или периодического воздействия таких нагрузок в зданиях и сооружениях могут накапливаться и в некоторый момент времени лавинообразно образовываться сильные, тяжелые и катастрофические разрушения конструктивных элементов. Эксплуатация зданий с поврежденными конструктивными элементами может привести к катастрофическим обрушениям зданий и сооружений в том числе, и с большими человеческими жертвами. Для своевременного предупреждения опасностей такого рода в настоящей работе предлагается распределенная система сбора данных с сети акселерометров, которая обеспечивает сбор и обработку данных и оповещение служб МЧС о надвигающейся опасности.

### 1. Концепция системы сбора

Приборы, предназначенные для измерения ускорений называются акселерометрами. Сигналы акселерометров используются для определения сил и напряжений в подвижных частях машин и сооружений, а также в инерциальных системах навигации подвижных объектов для определения скоростей и координат [1]. При проектировании системы был выбран акселерометр типа LIS331DLH [2], который представляет собой миниатюрный датчик ускорения выполненный по технологии MEMS компании STMicroelectronics в корпусе LGA 16 (3x3x1 мм). Общение акселерометра с управляющей электроникой осуществляется по протоколу I<sup>2</sup>C. Последовательный протокол обмена данными IIC (также называемый I2C – Inter-Integrated Circuits, межмикросхемное соединение) использует для передачи данных по двум двунаправленным линиям связи, которые называются шина последовательных данных SDA (Serial Data) и шина тактирования SCL (Serial Clock). Также имеются две линии для питания. Шины SDA и SCL подтягиваются к шине питания через резисторы [3].

На рис. 1 представлена структурная схема системы сбора данных с акселерометров LIS331DLH на основе NI MyRIO 1900.

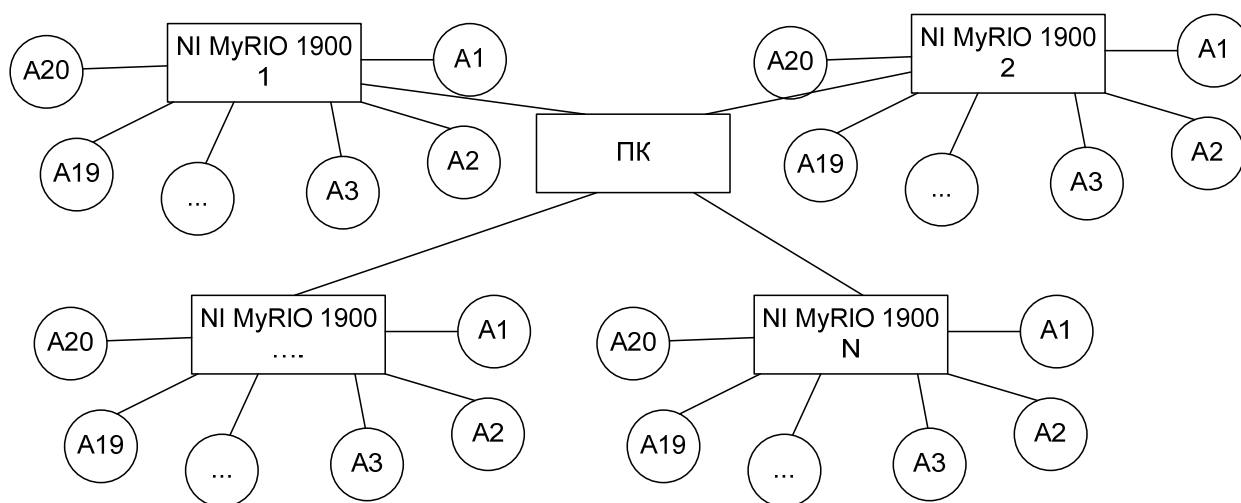


Рис. 1. Концепция системы сбора акселерометров

Внешний вид системы с подключенным акселерометром представлен на рис. 2.

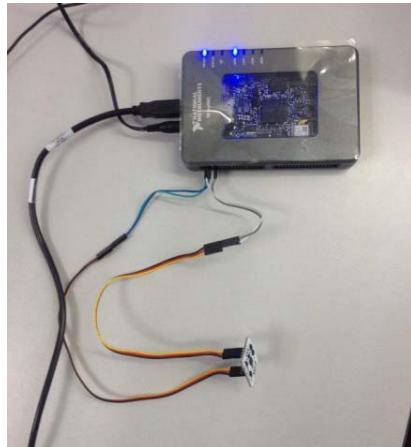


Рис. 2. Подключение IMU-сенсора (акселерометр LIS331DLH) на MyRIO 1900

## 2. Программное обеспечение системы сбора

Программное обеспечение для создаваемой системы сбора было написано на языке графического программирования инженерных приложений LabVIEW [4–5]. На рис. 3 представлена лицевая панель, которая предназначена для создания интерфейса пользователя системы сбора данных. Эта панель может содержать различные циферблаты, отображающие исследуемые или вводимые показания, графики всевозможных зависимостей, переключатели, регуляторы сигналов, цветовые решения для внешнего вида интерфейса.

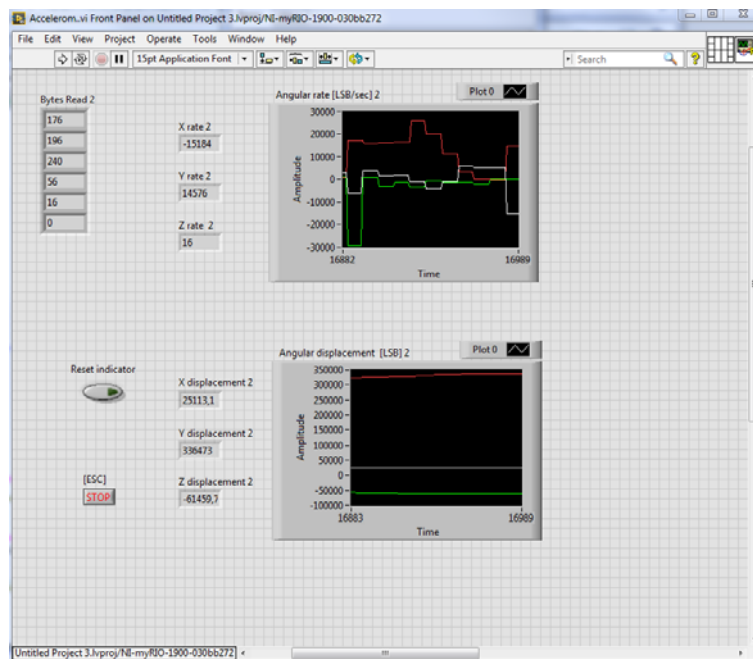


Рис. 3. Лицевая панель системы сбора данных с акселерометров

На рис. 4 показаны результаты измерения ускорения спомощью разработанной системы, на рис. 5 показаны результаты обработки измеренных значений ускорения ввиде результатов вычисления скорости.



Рис. 4. Результаты измерения ускорения

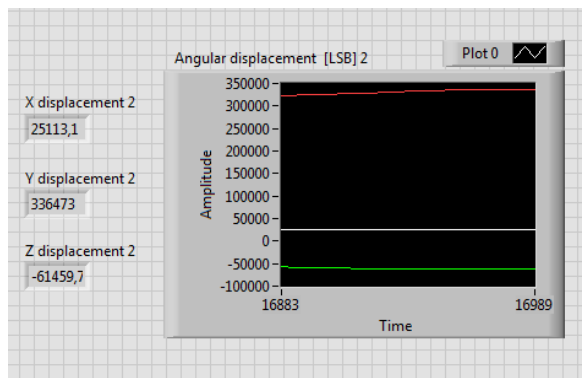


Рис. 5. Результаты вычисления скорости

### Заключение

В ходе работы была спроектирована распределенная система сбора данных с сети акселерометров, которая обеспечивает сбор и обработку данных для своевременного предупреждения опасностей и оповещение служб МЧС. Выбран первичный измерительный преобразователь акселерометр по техническим характеристикам. Разработано программное обеспечение для сбора и обработки данных с акселерометра в среде графического программирования LabVIEW и проведены первые экспериментальные исследования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрухин В.В., Петрухин С.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2010. – 176 с.
2. Акселерометр на основе LIS331DLH // Технический документ. – (Электронный ресурс: <http://z.compel.ru/item-pdf/8988c9b70dd89ea03dd4af1c68c5e2e8/pn/st~lis331dlh.pdf>). Дата обращения 05.03.2017.
3. Интерфейс I<sup>2</sup>C. – (Электронный ресурс: [https://ru.wikipedia.org/wiki/I %C2 %B2C](https://ru.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C)).
4. Баранов П.Ф., Бориков В.Н. Дистанционная поверка и калибровка средств измерений // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 11. – С. 13–16.
5. Бориков В.Н., Баранов П.Ф., Мамаев А.И. Программно-аппаратный комплекс для исследования микроплазменных процессов в растворах // Приборы. – 2011. – № 12. – С. 53–58.



## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

Лач С.Ю.<sup>1</sup>, Рысин А.В.<sup>1</sup>, Шевцов В.В.<sup>1</sup>

Научные руководители: Шишлаков В.Ф., проф., д.т.н.; Солёный С.В., доц., к.т.н.; Солёная О.Я., доц., к.т.н.

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский Государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67

E-mail: ssv555ssv@yandex.ru

## CONTROL SYSTEM ELECTRIC POWER COMPLEX

Lach S.Yu.<sup>1</sup>, Rysin, A.V.<sup>1</sup>, Shevtsov V.V.<sup>1</sup>

Scientific Supervisors: Prof., Dr. Shishlakov V.F.; Associate Prof., Ph.D. Solyonyj S.V.;

Associate Prof., Ph.D. Solenaya O.Ya.

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Russia, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaia str., 67, 190000

E-mail: ssv555ssv@yandex.ru

*В статье рассмотрен принцип разработки и создания системы автоматического управления электроэнергетическим комплексом открытой архитектуры, в который входит сверхпроводниковый генератор, солнечная панель и аккумуляторные батареи. Раскрыты этапы разработки аппаратной части контроллера и разработка программной части контроллера, а также разработка пользовательской программы для мониторинга состояния и управления электроэнергетическим комплексом. Все разработки выполнены в рамках научно-исследовательской работы в Институте инновационных технологий в электромеханике и робототехнике ГУАП.*

*The article considers the principle of development and creation of automatic control system of electric power complex of open architecture, which includes the superconducting generator, solar panel and rechargeable battery. The stages of development of the hardware of the controller and programming of the controller, as well as developing custom programs for monitoring and management of electric power complex. All developments performed in the framework of research work at the Institute of innovative technologies in electromechanics and robotics, SUAI.*

Электроэнергетический комплекс – комбинированная солнечно-ветроэнергетическая установка, которая представляет собой сложную, многорежимную систему, содержащую электромеханические и электротехнические устройства, работающие на основе эффекта высокотемпературной сверхпроводимости [1], что еще больше усложняет решение задач управления в динамических режимах. Закон управления комплексом реализуется регулятором, построенном на контроллере, который является основным элементом управления, поскольку на него возлагается выполнение широкого спектра задач: переключение батарей солнечной панели [2] и ветрогенератора [3], в зависимости от погодных условий, времени суток и т. п.; контроль состояния батарей, уровня заряда и, при необходимости, защита батарей от перезаряда/глубокого разряда; переключение нагрузки на работу от наиболее подходящей в данный момент батареи; решение задач ориентации солнечной панели относительно текущего положения солнца, при условии наличия привода панели; индикация текущего состояния всего комплекса, в форме, удобной для восприятия конечным пользователем; возможность сопряжения с другими системами управления промышленного назначения посредством стандартных интерфейсов обмена информацией.

Исходя из столь обширного круга решаемых задач, наиболее целесообразно реализовывать контроллер в виде отдельного, независимого устройства на базе современного высокопроизводительного микроконтроллера. В таком случае, разработка системы управления разделяется на несколько этапов: разработка аппаратной части контроллера, разработка программной части контроллера и разработка пользовательской программы для мониторинга состояния и управления комплексом.

Структурная схема электроэнергетического комплекса представлена на рис. 1, где приняты следующие обозначения: К1-К4 – коммутаторы; U1-4 – измерители напряжения; Bat1, Bat2 – аккумуляторные батареи; контроллер батареи 1,2 – электрические преобразователи, осуществляющие контроль тока заряда батарей.

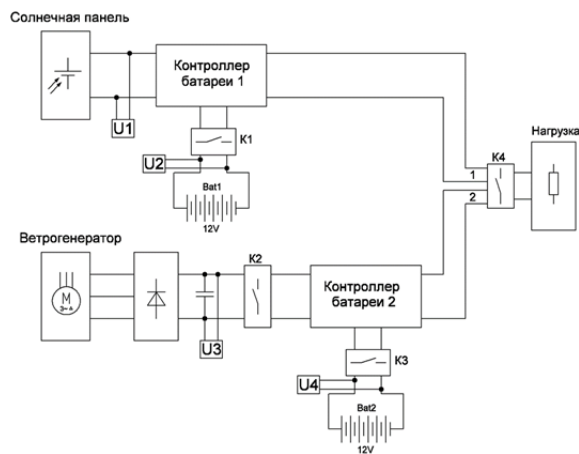


Рис. 1. Структурная схема электроэнергетического комплекса

Основываясь на структурной схеме (рис. 1) и на требованиях, предъявляемых к системе управления электроэнергетическим комплексом, необходимо чтобы микроконтроллер имел в своем составе следующий набор периферии: часы реального времени; четыре канала АЦП; ШИМ-контроллер для управления приводом солнечной панели [4]; минимум 16 линий ввода-вывода; последовательный порт для сопряжения с внешними устройствами. Всем перечисленным требованиям удовлетворяет микроконтроллер STM32F100C8T6, ядро данного микроконтроллера является 32-битным, с набором инструкций ARM cortex-M3. Изготовленный макетный образец разработанного регулятора системы управления электроэнергетическим комплексом представлен на рис. 2.

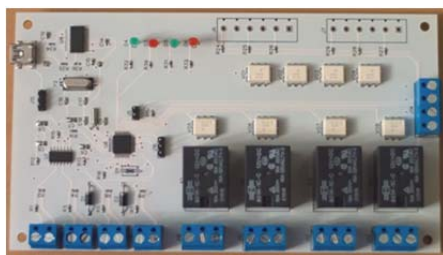


Рис. 2. Макетный образец регулятора системы управления электроэнергетическим комплексом

Алгоритм управления, реализован в виде программы работы контроллера системы управления электроэнергетическим комплексом, он позволяет решать задачи управления установкой в автоматическом режиме, исходя из текущих параметров освещенности, скорости вращения ветрогенератора, напряжений на аккумуляторных батареях и текущего времени суток. С точки зрения практической реализации, управляющую программу контроллера можно представить, как конечный автомат, в котором в качестве входных символов выступают значения напряжений U1-4 (рис. 1), в таком случае внутренние состояния и функции перехода можно описать так, как представлено в табл. 1.

Пользовательская программа служит для индикации текущего состояния электроэнергетического комплекса, а именно: состояний заряда батарей, наличия/отсутствия ветра, режима работы нагрузки. Помимо режима индикации, программа обеспечивает возможность ручного управления. Программа разрабатывалась с учетом следующих требований: наличие развитого, интуитивно понятного пользовательского интерфейса; кросс-платформенность – возможность использования на разных аппаратных платформах (IBM PC, промышленные компьютеры, карманные устройства и т. п.); малое потребление ресурсов.

Таблица 1. События и переходы управляющей программы

Событие	Доп. условия	Действие	Описание
$U1 > 11 \text{ В}$	нет	Замкнуть К1	Увеличилась освещенность, включается заряд батареи 1
$U3 > 11 \text{ В}$	нет	Замкнуть К2, К3	Ветер, включается заряд батареи 2
$U1 < 11 \text{ В}$	К3 замкнут	Разомкнуть К1, переключить К4 на 2	Экономия заряда батареи 1
	К3 разомкнут	Не производить действий	
$U3 < 11 \text{ В}$	К1 замкнут	Разомкнуть К3, переключить К4 на 1	Экономия заряда батареи 2
	К1 разомкнут	Не производить действий	
$U3 > 24 \text{ В}$	нет	Разомкнуть К2	Слишком сильный ветер
$U2 \leq 10,8 \text{ В}$	$U4 > 10,8 \text{ В}$	Замкнуть К3, К4 в положение 2	Защита батареи 1
	$U4 \leq 10,8 \text{ В}$	Авария	
$U4 \leq 10,8 \text{ В}$	$U2 > 10,8 \text{ В}$	Замкнуть К1, К4 в положение 1	Защита батареи 2
	$U2 \leq 10,8 \text{ В}$	Авария	

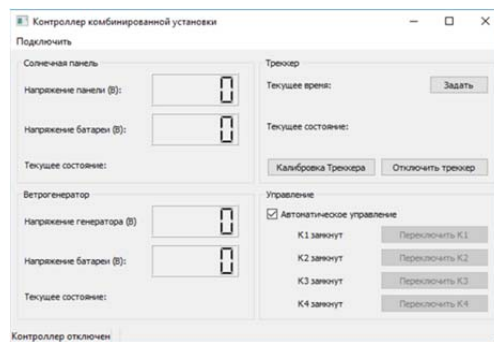


Рис. 3. Главное окно пользовательской программы

Для написания программы был выбран интерпретируемый язык программирования Python, интерпретатор данного языка уже перенесен на множество программных и аппаратных платформ: x86, ARM, MIPS, MS Windows, Linux, Android и др. По этой причине, в случае необходимости, переход на другую платформу не потребует больших усилий. Для разработки графического интерфейса была выбрана библиотека Qt версии 5.6, на рис. 3 представлен вид главного окна программы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишлаков В.Ф., Шишлаков Д.В., Цветков С.А. Синтез и моделирование автономной электроэнергетической установки // Информационно-управляющие системы. – 2008. – № 4 (35). – С. 14–17.
2. Солёная О.Я., Комендантов Н.Ю., Кудрин В.Д., Никулин П.С. Испытания солнечной батареи // Материалы Республиканской научно-практической конференции Электроэнергетика, гидроэнергетика, надёжность и безопасность / Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. – Душанбе: Промэкспо, 2016. – С. 246–249.
3. Chubraeva L., Evseev E., Timofeyev S., Turubanov M., Volkov D., Soleniy S. Brushless Exciter Based on Nanomaterials for 1 MVA HTSC Wind Power Alternator // Applied Electromagnetic Engineering for Advanced Materials from Macro- to Nanoscale / Material science forum 2016. Trans Tech Publications, Switzerland. – ISSN: 0255-5476, Vol. 856, pp 38–43.
4. Солёный С.В., Овчинников А.Ю., Белай В.Е., Николаенко В.А. Система привода солнечной батареи // Материалы Республиканской научно-практической конференции Электроэнергетика, гидроэнергетика, надёжность и безопасность / Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. – Душанбе: «Промэкспо», 2016. – С. 241–245.

## ИНТЕГРАЦИЯ СТАБИЛОМЕТРИИ С БЕЗМАРКЕРНЫМ ЗАХВАТОМ ДВИЖЕНИЯ

Ханахмедова Г.Б.<sup>1</sup>, Чжен Н.В.<sup>1</sup>, Корольюк Е.С.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Фокин А.В., к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: hanahmedov95@mail.ru

## INTEGRATION STABILOMETRY WITH A MARKERLESS MOTION CAPTURE

Khanakhmedova G.B.<sup>1</sup>, Chzhen N.V.<sup>1</sup>, Korolyuk.E.S.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: PhD, Fokin A.V.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: hanahmedov95@mail.ru

*Стабилометрия позволяет оценить: работу двигательной и нервной системы пациента, координационные способности, различные нарушения опоры и баланса, тремор конечностей, а также выявить нарушенные нервные связи, патологии вестибулярного аппарата и т. д. В ходе работы будет проведена интерпретация полученных данных с помощью стабилметрических методов, что позволит поставить точный диагноз на ранней стадии развития отклонений. Также в дополнении с данным методом будет использоваться устройство видеозахвата, в итоге сумма качество диагностики возрастет.*

*Stabilometry allows to evaluate: the muscle and the nervous system of the patient, coordination ability, various disorders of support and balance, tremor of the extremities, and to identify disrupted neural pathways, pathology of the vestibular apparatus, etc. In the course of scientific work will be carried out the interpretation of the obtained data with the help of stabilometric methods that allow an accurate diagnosis at an early stage of development deviations. Also, in addition with this method, you will use the device videozakhvat, in the end, the sum of the quality of diagnosis will increase.*

На протяжении долгого времени объектом исследований являются координационные способности человека. Диагностика движения человека позволяет оценить работу нервной системы, вестибулярного аппарата, состояние психики, пространственную ориентацию, а результаты исследований в дальнейшем могут быть применены для разработки программы лечения, восстановительных упражнений.

Специализированный прибор для регистрации колебаний общего центра масс тела получил название стабилметрическая платформа или стабилومتر. Стабилметрическая платформа состоит из основной плиты, на которую и встает обследуемый, и фиксированных к ней силоизмерительных датчиков, которые являются одновременно и элементами опоры. Усилие, приходящееся на каждый датчик, позволяет вычислять проекцию общего центра масс тела на плоскость опоры [3].

Стабилометрия в клинической практике используется около 30 лет. Данный метод позволяет диагностировать отклонения на ранних этапах заболеваний, так как обладают высокой чувствительностью. Основными достоинствами метода стабилometрии являются:

- 1) малое время исследований;
- 2) отсутствие крепления датчиков на тело человека;
- 3) высокая чувствительность;
- 4) высокоинформативность полученных параметров;
- 5) неинвазивность метода.

Положение платформы задается с компьютера, управление двигателями и датчиками системы осуществляется при помощи микроконтроллера, который проводит опрос датчиков, анализирует текущее состояние платформы, отдает команды на управление углом наклона и передает данные на компьютер.

Такой метод управления платформой обеспечивает независимость определения положения платформы от узла управления платформой, т. е. это позволит заменять механические части без изменения программной или аппаратной частей системы определения положения платформы, также это позволяет

независимо друг от друга изменять и модернизировать узел определения положения платформы и узел управления платформой. Для разработки системы управления стабилметрической платформой используется микроконтроллер (микропроцессорная система), датчик положения (акселерометр).



Рис. 1. Функциональная схема

Таким образом, в работе была разработана система управления платформой, которая обеспечивает возможность интеграции с другими компонентами комплекса по оценке качества движения и возможность модернизации узлов системы управления платформой независимо друг от друга. Система управления стабилплатформой позволяет контролировать положение стабилплатформы, передавать данные о ее положении на компьютер, также система включает в себя систему определению положения платформы.

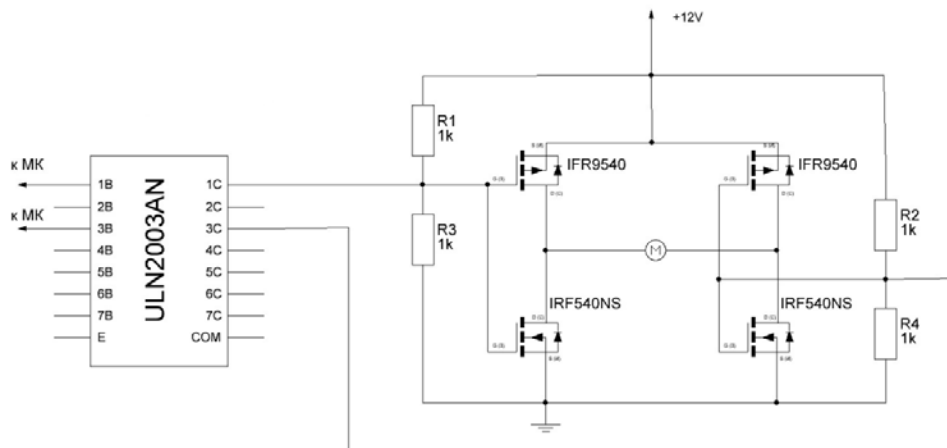


Рис. 2. Принципиальная схема управления платформой

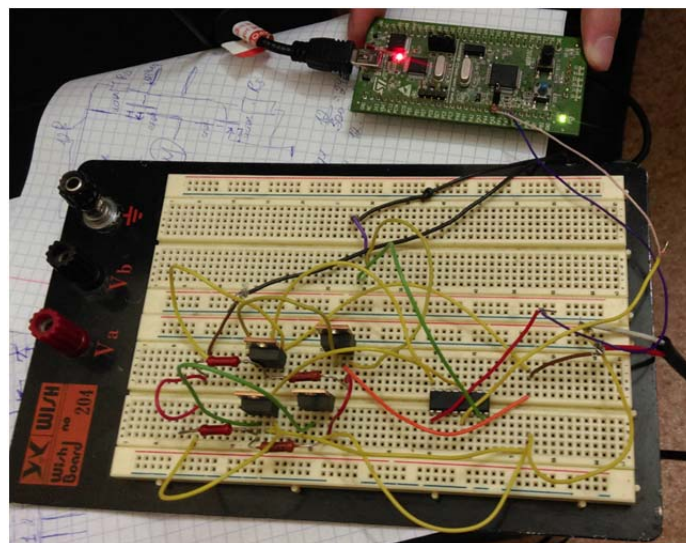


Рис. 3. Макет схемы управления платформой

Принципиальная схема управления платформой была собрана на технологической панели. Также были проведены отладочные работы над схемой управления.

После тестирования схемы на технологической плате, с помощью программы P-CAD была сделана разводка печатной платы. Далее плата была протравлена и использовалась в ходе исследований.

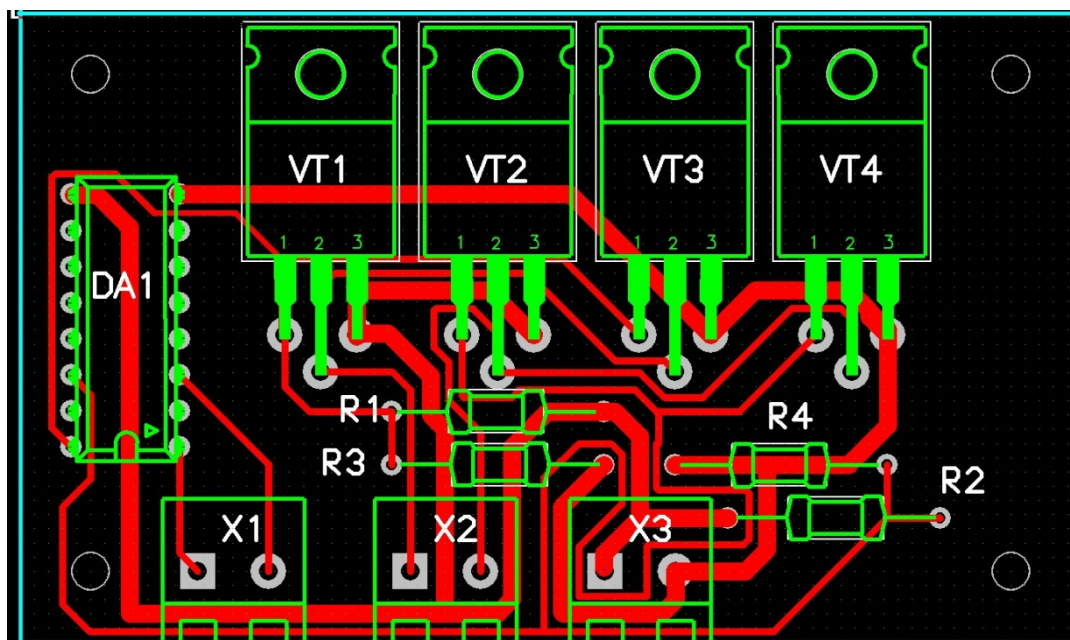


Рис. 4. Трассировка печатной платы

В ходе работы была разработана система управления платформой, что позволяет оценивать качества движения. Система управления стабилплатформой позволяет контролировать положение стабилплатформы, передавать данные о ее положении на компьютер.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вейн А.М. Вегетативные расстройства: клиника, диагностика, лечение. – М.: МИА, 2002. – 752 с.
2. Хиллов К.Л. Функция органа равновесия и болезнь передвижения. – Л.: ВМА, 1969. – 279 с.
3. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений, стабилметрия – М.: Антидор, 2000. – 189 с.
4. Покровский В.М. Физиология человека: учебник. Т.1 / под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротко, В.И. Кобрин. – М.: Медицина, 1997. – 448 с.
5. Скворцов Д.В. Стабилметрическое исследование: краткое руководство / Д.В. Скворцов. – М.: Мера-ТСП, 2010. – 171 с.
6. Ромашин О.В. Оздоровительная физкультура в восстановительной медицине. – М.: РАСМИРБИ, 2007. – 264 с.

---

## СЕКЦИЯ № 5

# ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТРЕНДЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

---

### ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Александрова А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: aleksandrova@tpu.ru

### PRACTICE-ORIENTED SPECIALISTS TRAINING FOR THE SPACE INDUSTRY. ESTIMATING FUNDS

Aleksandrova M.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: aleksandrova@tpu.ru

*В статье рассмотрены особенности организации практико-ориентированной подготовки для предприятий космической отрасли. Проведен анализ фондов оценочных средств, определяющих практико-ориентированную подготовку специалистов для космической отрасли российскими вузами. Приведены документы на уровне государственной политики, по которым ведется подготовка специалистов.*

*The peculiarities of the practice-oriented training for the aerospace industry are shown. The analysis of the funds of assessment tools that determine practice-oriented training of specialists for the space industry of the Russian universities was done. The documents at the level of state policy, which are the base for the training, are discussed.*

Основами государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года определены задачи в интересах развития социально-экономической сферы и науки, в том числе в области подготовки высококвалифицированных кадров [1].

В Госкорпорации «Роскосмос» подписано Соглашение о сотрудничестве и совместной деятельности по организации современной эффективной системы подготовки квалифицированных кадров через создание Космического научно-образовательного инновационного консорциума, в который войдут 38 университетов, в числе которых – МГУ им. М.В. Ломоносова, МГТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ МИФИ, МАТИ, МИРЭА и др., 3 академии – Российская академия космонавтики им. К.Э. Циолковского, Международная академия системных исследований, ФГБУ науки «Институт космических исследований РАН», 16 организаций ракетно-космической промышленности и 6 других образовательных организаций. [2] Создание консорциума направлено на решение задач, связанных с подготовкой и переподготовкой специалистов космической отрасли, способных в интересах повышения обороноспособности страны создавать конкурентоспособную ракетно-космическую технику, использовать результаты космической деятельности с целью достижения мировых приоритетов в данной профессиональной области. Другим приоритетом создания консорциума является организация и проведения на базе организаций, вошедших в его состав, фундаментальных и прикладных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в интересах предприятий Госкорпорации «Роскосмос».

С целью подготовки высококвалифицированных кадров для космической отрасли применяется система целевого приема. Постановлением Правительства РФ от 5 марта 2015 г. № 192 утвержден государственный план подготовки кадров со средним профессиональным и высшим образованием для организаций оборонно-промышленного комплекса на 2016–2020 годы, в соответствии с которым ежегодно

объем задания государственного плана подготовки кадров составляет более 15 000 человек по образовательным программам высшего образования, 15 % от данного плана – подготовка кадров для Роскосмоса по образовательным программам различных укрупненных групп направлений подготовки и специальностей входящих в состав области образования «Инженерное дело» [3]. Но, в настоящее время система целевого приема работает недостаточно эффективно и план набора кадров в интересах оборонно-промышленного комплекса не выполняется в полном объеме. Отраслевые предприятия подают заявки в ГК «Роскосмос» для работы с университетами, в план целевого набора которых включены контрольные цифры приема подготовки кадров для оборонно-промышленного комплекса, но, зачастую, целевые абитуриенты не прибывают в университеты.

С введением нового федерального закона «Об образовании» в Российской Федерации и федеральных государственных образовательных стандартов третьего поколения университеты получили гораздо больше свобод в проектировании и реализации основных образовательных программ, введены практико-ориентированные программы [4].

Реализация практико-ориентированных программ позволяет увеличить объем практической подготовки обучающихся. При разработке программ, университеты предусматривают соответствующие виды учебной деятельности и требования к результатам освоения образовательной программы в соответствии с практико-ориентированной направленностью программы. В концепции федеральных государственных образовательных стандартов третьего поколения произошло смещение приоритета от обычной трансляции знаний преподавателем студентам к самостоятельной работе обучающегося – к приобретению необходимых знаний и применению их на практике. Для повышения эффективности процесса формирования профессиональных и общепрофессиональных компетенций при проектировании практико-ориентированных программ уделяется особое внимание формированию у студентов мотивации к профессиональной деятельности: учебным планом основной образовательной программы предусматриваются такие дисциплины, как «Введение в специальность», рабочими программами дисциплин определяются занятия в форме экскурсий на профильные предприятия, к обеспечению образовательного процесса по программе привлекаются профильные специалисты с предприятий и др. Необходимо обеспечить взаимосвязь университета и предприятий при разработке междисциплинарных и профессиональных модулей, поскольку практико-ориентированную направленность следует базировать на определенных проблемных ситуациях, позволяющих обучающемуся приобрести определенные навыки и умения. При разработке основной образовательной программы предусматривается прохождение учебной, производственной и преддипломной практик по профилю специальности, выполнение курсовых и дипломных проектов непосредственно на предприятиях космической отрасли. Организация самостоятельной работы студентов должна быть направлена на решение практических профессиональных задач, изучение соответствующих материалов по тематике профильной деятельности предприятий.

Практико-ориентированная подготовка сокращает дистанцию между реальными потребностями производства и образовательной деятельностью в университете. Очень важно дать студенту качественную фундаментальную подготовку, а федеральные государственные стандарты третьего поколения дают возможность в рамках практико-ориентированных программ готовить специалистов под конкретные потребности предприятий.

Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации» [4] расширены рамки взаимодействия вузов и рынка труда, что имеет определяющее значение в организации подготовки специалистов по практико-ориентированным программам по созданию базовых кафедр на предприятиях и



организациях, повышению значимости профессионально-общественной аккредитации образовательных программ, сетевой формы реализации образовательных программ, дуальное образование и др.

Применяя все имеющиеся инструменты, университеты, реализующие подготовку кадров для предприятий космической отрасли, при проектировании своих образовательных программ, согласуют планируемые результаты обучения с представителями работодателей и совместно реализуют образовательный процесс в рамках практико – ориентированной среды в университете [5].

Среди опорных университетов, вошедших в состав консорциума, немало университетов, имеющих категорию «Национальный исследовательский университет», которые получили право разрабатывать самостоятельно устанавливаемые образовательные стандарты совместно с заинтересованными в подготовке специалистов предприятиями, опираясь на профессиональные стандарты, что дает дополнительные преимущества в подготовке кадров в интересах космической отрасли. Работодатели получили возможность сформулировать необходимый набор профессиональных компетенций будущего специалиста, определить требования к квалификации выпускника.

Особое значение при проектировании практико-ориентированных образовательных программ уделяется привлечению работодателей к составлению фондов оценочных средств для промежуточной и государственной итоговой аттестации обучающихся, поскольку фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю или практике) включает в себя перечень формируемых в процессе обучения компетенций. Прежде всего – необходимо грамотно описать этапы их формирования в процессе освоения образовательной программы – определить показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, сформировать шкалы оценивания. При участии работодателей определяются типовые контрольные задания для оценки результатов освоения образовательной программы и методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения.

В России насчитывается 9 образовательных организаций высшего образования, реализующих подготовку кадров для космической отрасли: МГТУ, ЮУрГУ, МАИ, Самарский университет имени академика ВолГТУ, ОмГТУ, ОГУ, СибГАУ, БГТУ, РГТУ. Кроме того, отдельные программы разработаны и реализуются в ряде других вузов [6].

Анализ фондов оценочных средств данных образовательных организаций направлены на реализацию требований федеральных государственных образовательных стандартов, самостоятельно устанавливаемых образовательных стандартов (для национальных исследовательских университетов) и основных образовательных программ, разработанных организациями и обеспечивают оценку достижения запланированных общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций, приобретаемых выпускниками образовательных программ соответствующего уровня высшего образования.

Фонды оценочных МГТУ им. Н.Э. Баумана обеспечивают оценку способности обучающихся к творческой деятельности, готовность вести поиск решений новых задач в условиях неопределенности, входных условий, при отсутствии известных решений. Фонды оценочных средств по практикам учитывают междисциплинарные связи результатов обучения [7].

Фонды оценочных средств МАИ проходят экспертизу со стороны внешних экспертов – работодателей из числа действующих руководителей и работников профильных организаций, а также преподавателей смежных профессиональных областей [8].

Космический научно-образовательный инновационный консорциум (совместно с Координационными советами по областям образования и Федеральными учебно-методическим

объединениями при Министерстве образования и науки Российской Федерации) принимает участие в разработке профессиональных стандартов работников ракетно-космической промышленности, а также федеральных государственных образовательных стандартов профессионального образования с учетом положений соответствующих профессиональных стандартов и требований к уровню квалификации работников.

Проектируемые федеральные государственные стандарты следующего поколения становятся более рамочными: области и сферы профессиональной деятельности интегрируются из профессионального стандарта, унифицированные универсальные и общепрофессиональные компетенции становятся едиными для укрупненной группы направлений подготовки и специальностей в целом, вводятся общие требования к условиям реализации программы, к финансовым условиям реализации программы, к применяемым механизмам оценки качества. Перечень профессиональных стандартов вводится в федеральный государственный образовательный стандарт (на сегодняшний день утверждено более 800 профессиональных стандартов, из которых более 50 – для космической отрасли).

Полноценная интеграция профессиональных стандартов и федеральных государственных образовательных стандартов обеспечивается примерной основной образовательной программой – в части определения области профессиональной деятельности, типов, задач и объектов профессиональной деятельности, профессиональных компетенций. Кроме того, примерная программа содержит конкретные рекомендации по методическому, материально-техническому и финансовому обеспечению программы. На основе примерных программ и профессиональных стандартов каждый университет будет разрабатывать свои основные образовательные по определенным направлениям (профилям), включая фонды оценочных средств.

Развитие действующей системы федеральных государственных стандартов высшего образования и профессиональных стандартов обеспечит гармонизацию процессов разработки и проектирования практико-ориентированных образовательных программ в интересах предприятий определенной промышленной отрасли (в данном случае – космической) и позволит обеспечить сопряжение квалификаций выпускников университетов и профессиональных квалификаций инженерно-технических работников предприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные положения Основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу (утв. Президентом РФ 19 апреля 2013 г. N Пр-906).
2. Доброва К. Б. Развитие инновационных процессов в корпорациях ракетно-космической отрасли // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2016. – Т. 7. – № 2 (26).
3. Постановление Правительства РФ от 5 марта 2015 г. № 192 «О государственном плане подготовки кадров со средним профессиональным и высшим образованием для организаций оборонно-промышленного комплекса на 2016–2020 годы».
4. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. N 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями).
5. Soloviev M.A., Abrashkina I.A., Kan D. University educational environment in forming practice-oriented specialist training approach // MATEC Web of Conferences. – Les Ulis: 2016. – Vol. 48: Space Engineering. – [06001, 7 p.].

6. Mertins K.V. Aerospace engineering training: universities experience // MATEC Web of Conferences. – Les Ulis: 2016. – Vol. 48: Space Engineering. – [06002, 6 p.].
7. Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования МГТУ им. Н.Э.Баумана по направлению 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика». (Электронный ресурс: (<http://www.bmstu.ru/content/opop/bac/24.03.01.pdf>). Дата обращения 01.04.2017.
8. Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования Московского авиационного института по направлению 24.04.01 «Ракетные комплексы и космонавтика». (Электронный ресурс: (<https://www.mai.ru/>). Дата обращения 01.04.2017.

#### **ВИРТУАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО**

Коломейцев А.А.<sup>1</sup>, Стасевский В.И.<sup>1</sup>, Смолянский В.А.<sup>1</sup>

Научные руководители: Бориков В.Н., профессор, д.т.н.; Костюченко Т.Г., доцент, к.т.н.;  
Дмитриев В.С., профессор, д.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: aak65@tpu.ru

#### **VIRTUAL DESIGN BUREAU**

Kolomeytsev A.A.<sup>1</sup>, Stasevskiy V.I.<sup>1</sup>, Smolyanskiy V.A.<sup>1</sup>

Scientific Supervisors: Prof., Dr., Borikov V.N.; Associate Prof., PhD, Kostuchenko T.G.; Prof., Dr., Dmitriev V.S.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: aak65@tpu.ru

*В статье описывается краткая история Виртуального конструкторского бюро космического приборостроения за 5 лет его существования. В статье можно прочитать об основных, но при этом наиболее важных событиях в жизни ВКБ и кафедры точного приборостроения за этот период. ВКБ сыграло значительную роль в определении направления развития кафедры. Самыми значимыми проектами являются создание студенческого Центра управления полетами космическими аппаратами и участие в запуске спутника «Томск-ТПУ-120»*

*The article describes a brief 5-year history of the Virtual Design Bureau. In the article you can read about the most important events in the life of the VDB and the Department of Precision Instrument Making for this period. VDB played a significant role in determining the department development direction. The most significant projects are the creation of a student space flight control center and participation in the launch of the Tomsk-TPU-120 satellite.*

Испокон веков, взоры человека направлены в космос. Древние люди считали, что звезды и небесные тела – это боги. Одни верили, что движение звезд по небосводу определяет судьбу, другие видели в нем знамения богов. Позже, люди стали замечать некоторые закономерности в их движении. По положению звезд моряки определяли своё положение в пространстве, а агрономы составляли свои календари. Шли годы, ученые выдвигали различные теории о роли нашей планеты во Вселенной. Длительные наблюдения давали понять, что устройство мира несколько сложнее, чем считалось ранее. Сначала стало очевидно, что Земля вовсе не плоская. И более того, не является центром Вселенной! Позже стало ясно, что не все объекты на небе – звезды. Наблюдения показали, что помимо Луны (которая, очевидно, не является звездой), движение некоторых небесных тел отличается от других. Длительные наблюдения показали, что они, так же как и наша Земля, вращаются вокруг Солнца. Многие из них, подобно Земле, имеют свои спутники. Подобные открытия привлекали новых энтузиастов и вдохновляли людей на изучение космоса. Много позже, Хаббл замечает, что некоторые небесные объекты, которые ранее считались звездами, по ряду

признаков являются целыми скоплениями звезд – галактиками – и используя эффект Доплера обнаружил зависимость между красным смещением галактик и расстоянием до них (также известный как закон Хаббла). Так научный мир осознал, что исследования лишь ничтожная часть всего сущего, а вопросы и ответы нового тысячелетия надо искать в космосе.

Благодаря работам Циолковского по теории механики тел переменного состава сформировались наука, называемая ракетодинамикой. Стали появляться первые проекты ракет дальнего действия. Позже появились крылатые и баллистические ракеты. Ускоряющимся шагом, человечество достигло сначала запуск первого рукотворного объекта на орбиту Земли, через месяц – первого живого существа, а еще через 3,5 года и первого человека. С тех пор, миллионы людей живут мечтой о космосе. Каждый из них желает приобщить себя к безграничному и неизвестному. Десятки лет назад, разрабатывать космические аппараты имели возможность единицы из тысяч. Однако, сейчас, с развитием науки и техники, распространением технологий и удешевлением высокотехнологичной продукции, космос стал как никогда близок к каждому, кто желает к нему прикоснуться.

Таковыми же энтузиастами 5 лет назад были и мы – группа студентов и преподавателей. Первое собрание состоялось в начале ноября 2012 года. Собрание не имело определенной цели. Заведующим кафедрой ТПС Валерием Николаевичем Бориковым был кинут клич, и пришли те, кто хотел бы что-то сделать. В ходе собрания, впервые прозвучала фраза «студенческий малый космический аппарат». Этот момент можно считать отправной точкой в истории Виртуального конструкторского бюро (ВКБ).



*Рис. 1. Первое собрание ВКБ в ноябре 2012 года*

Далее, в ходе плодотворной синергичной работы студентов и преподавателей стали появляться первые эскизы предполагаемых проектов. Для широкого представления и обсуждения этих проектов была необходима площадка соответствующего уровня. Такой площадкой стал форум «Космическое приборостроение». Первый Форум был проведен в апреле 2013 года. На нём ученые, инженеры, студенты и школьники со всей России и ближнего зарубежья смогли представить свои научные работы. В мае того же года ТПУ посетил на тот момент Заместитель генерального конструктора ОАО «РКК «Энергия» Александр Григорьевич Чернявский. Ему были представлены наши наработки, и он дал им следующую оценку [1].

«Работы сделаны хорошо и по всем правилам, разработаны толково. Единственное, студентам в обязательном порядке нужны консультанты с предприятий, тогда преобразуется и объем, и задачи, студент набирает квалификацию и опыт. Мы готовы с вами сотрудничать, брать студентов на практику, вести стажировки по написанию дипломов».



Рис. 2. Встреча А.Г. Чернявского с сотрудниками и студентами ТПУ

Так было положено начало сотрудничества кафедры и ОАО РКК «Энергия» – ведущей российской космической корпорацией. В тот год студенты кафедры были направлены на производственную практику в Москву, Санкт-Петербург и Железногорск. Набравшись опыта, вернувшиеся с новыми силами продолжили работу над проектом Студенческого малого спутника и его элементами. В апреле 2014 года результаты работ были представлены на Форуме малых спутников Ассоциации технических университетов России и Китая. На этом Форуме проект ТПУ занял почетное третье место [2].



Рис. 3. Доклад ТПУ на Форуме малых спутников

В это же время, в Томске проходило решение специального совета по так называемым проектам ВИУ. Среди рассматриваемых был проект Виртуального конструкторского бюро космического приборостроения для школьников, студентов и аспирантов Томского политехнического университета. Целью данного проекта было создание проектов космической тематики и вовлечение в них школьников и студентов. Утром 11 апреля 2014 года стало известно, что проект утвержден. Так ВКБ появилось официально. Теперь ВКБ начала заниматься не только созданием проектов, но и работой со школьниками.

Среди примеров такой работы элективный курс «3D-моделирование элементов космической техники с применением средств автоматизированного проектирования» в Томском Физико-техническом лицее. Занятия со школьниками проводятся исключительно силами студентов кафедры. Результатом работы со школьниками ТФТЛ являются проекты, представленные на Форум «Космическое приборостроение» в 2015 г. и форум «Инженерия для освоения космоса» в 2016 г. (рис. 4).

Для школьников Назарбаев интеллектуальной школы г. Семей, Казахстан элективный курс организуется и проводится во время каникул (рис. 5). Курс «3D моделирование элементов космической

техники с применением средств автоматизированного проектирования» предлагается и школьникам города Зеленогорска Красноярского края в рамках «Школы инженерных проектов» в 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 [3, 4].



*Рис. 4. Закрытие форума «Космическое приборостроение»*



*Рис. 5. Фотография с летних курсов по 3D моделированию в Назарбаев интеллектуальной школе физико-математического направления г. Семей, Р.Казахстан, проведенных с 17 по 22 августа 2015 г*

Ребята знакомятся с преподавателями и студентами кафедры, оборудованием, лабораторными установками, которые используются в учебном процессе. 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.

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

За время плодотворной работы, проект Студенческого малого космического аппарата получил законченный вид. Под руководством профессора Дмитриева Виктора Степановича были решены десятки технических вопросов и на данном этапе можно смело сказать, что спутник готов к производству и запуску [5].



Рис. 6. Операторы ЦУПа на рабочем месте

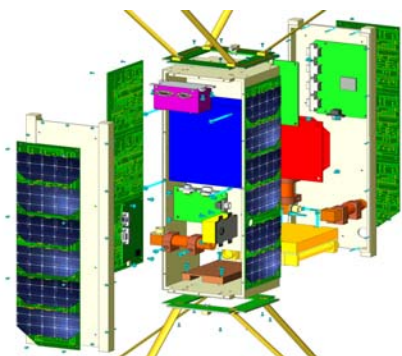


Рис. 7. Проект студенческого малого космического аппарата

В июне 2015 года эксперты Всероссийского съезда молодежных научных и конструкторских объединений назвали Виртуальное конструкторское бюро космического приборостроения Томского политехнического университета (ТПУ) лучшим в стране [6].

В апреле 2016 года был осуществлен первый запуск исследовательской платформы для изучения ближнего космоса StratoSat (от англ. Stratosphere Satellite – Стратосферный спутник). StratoSat является основой для установки оборудования, предназначенного для проведения научных опытов на высоте до 50 км. Роль бортовой вычислительной машины выполняет NI myRIO. Благодаря успешному сочетанию технологий National Instruments и точных малогабаритных измерительных датчиков, StratoSat получился доступным, в техническом и денежном плане, для широкого круга исследовательских групп. Запуск аппарата осуществляется на гелиевом шаре. Подъем может осуществляться в диапазоне от 18 до 50 км, что определяется типом шара. На протяжении всего полета StratoSat способен проводить необходимые эксперименты. Для безопасного возвращения на землю к аппарату прикреплен парашют, который раскрывается после взрыва гелиевого шара. В зависимости от погодных условий, место падения может находиться в 30–200 км от места запуска. В течение полета, GPS-модуль фиксирует текущие координаты платформы. Если аппарат находится в зоне покрытия мобильной сети, посредством GPRS-модуля генерируется SMS-сообщение с координатами аппарата. Экспериментальные данные записываются на Flash-диск [7].

Этот проект приблизил многих к возможности поучаствовать в космическом эксперименте. Теперь такие аппараты проектируют школьники под руководством студентов и преподавателей кафедры в детском технопарке «Кванториум». Помимо этого, ВКБ участвовало в разработке Массового открытого образовательного курса «Инженерия будущего», который уже признан лучшим в России.

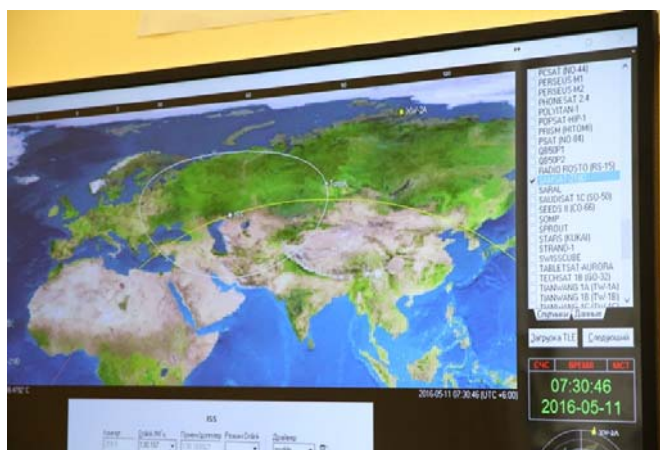


*Рис. 8. Запуск StratoSat'a в полях под Томском*

31 марта 2016 года, в 19:24 по московскому времени, ракета-носитель «Союз-2.1а» с транспортным грузовым кораблем «Прогресс МС-02» стартовала с космодрома Байконур. На следующий день, в 21:01 по московскому времени, корабль пристыкуется к Международной космической станции. На этом корабле на борт МКС отправился спутник «Томск-ТПУ-120» – первый российский космический аппарат, созданный с использованием 3D-технологий студентами и сотрудниками Томского политехнического университета. Студенты и преподаватели кафедры принимали участие в разработке спутника. Запуск собственного спутника является одним из наиболее важных достижений в истории Томского политехнического университета. [8]



*Рис. 9. Спутника Томск-ТПУ-120*



*Рис. 10. Отображение пролета МКС над Томском*



11-го мая 2016 года в 7:30 утра по томскому времени студенческий центр управления полетами Томского политехнического университета получил и записал поздравление со 120-летием вуза со спутника «Томск-ТПУ-120», находящегося на Международной космической станции (МКС). Связь со спутником длилась десять минут, в течение этого времени политехники успели услышать поздравления вузу с юбилеем от его студентов на четырех языках мира и самые первые слова прозвучали на русском [9].

Действующий космонавт-испытатель Александр Мисуркин 7 декабря 2016 года встретился со студентами-политехниками в молодежном Центре управления полетами (ЦУП), организованном в Томском политехническом университете. Студенты вместе с космонавтом вышли на радиосвязь с российским экипажем Международной космической станции (МКС) и задали несколько вопросов космонавтам.



*Рис. 11. Встреча с героем России, действующим космонавтом-испытателем А.А. Мисуркиным*

Студенческий Центр управления полетами организован на базе виртуального конструкторского бюро космического приборостроения в Томском политехе. Здесь занимаются студенты. Оборудование в ЦУПе позволяет им принимать сигналы с МКС, со спутников, в том числе погодных спутников, получать с них телеметрию – информацию о параметрах работы систем спутника. У политехников есть свой позывной – R9HP, где R означает Россию, 9H – Томскую область, P – университет.

В 18:40 начался сеанс связи с МКС. На связь вышел капитан российского экипажа Олег Новицкий. Первым капитана поприветствовал Александр Мисуркин.

Студенты интересовались, как космонавты связываются с Землей, сколько раз празднуют Новый год, сколько весит скафандр и из чего он сделан, каким бы космонавты хотели видеть новый модуль российского сегмента МКС.

«Хотелось бы, чтобы он был не один. Чтобы было разграничение: рабочей зоны, зоны отдыха, зоны спорта, зоны приема пищи. Он должен быть просторным, светлым, радовать глаз, чтобы в нем было очень комфортно работать», – ответил на вопрос студентов капитан экипажа. [10]

Все эти памятные моменты случились благодаря упорной самоотверженной работе всех преподавателей и студентов кафедры. Встречая на своем пути десятки трудностей, сбиваясь с пути, мы все находили верную дорогу. В самые сложные моменты выручали взаимная поддержка и опыт наших коллег и наставников. Не смотря ни на что, ТПУ уже в космосе и впереди нас ждут новые открытия, а значит мы будем продолжать нашу работу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Служба новостей ТПУ // Александр Чернявский: «Ваших выпускников я уже видел в бою» – ТПУ. – (Электронный ресурс: <http://news.tpu.ru/news/2013/05/05/19604/>). Дата обращения 01.04.2017.
2. Амур. Инфо // Российские и китайские студенты обсудят создание малых космических спутников – Благовещенск. – (Электронный ресурс: <http://www.amur.info/news/2014/04/03/78288>). Дата обращения 01.04.2017.
3. Доржиева С.Б., Кухарев А.С., Стасевский В.И. // Организация работы со школьниками – 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.
4. 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.
5. Костюченко Т.Г., Коломейцев А.А. Виртуальное конструкторское бюро ТПУ, Структура МКА – электрон. текстовые дан., Томск: 2015 г. – (Электронный ресурс: <http://vdb.tpu.ru/mka/struktura.html>).
6. Служба новостей ТПУ // Виртуальное конструкторское бюро ТПУ, разрабатывающее студенческий спутник, признано лучшим в России – ТПУ – (Электронный ресурс: <http://news.tpu.ru/news/2015/07/07/23540/>). Дата обращения 01.04.2017.
7. Виртуальное конструкторское бюро // Политехники запустили учебный студенческий спутник в стратосферу – ТПУ – (Электронный ресурс: <http://vdb.tpu.ru/news/politexniki-zapustili-uchebnyij-studencheskij-sputnik-v-stratosferu.html>). Дата обращения 01.04.2017.
8. Служба новостей ТПУ // Спутник Томского политеха отправился с Байконура на МКС – ТПУ – (Электронный ресурс: <http://news.tpu.ru/news/2016/04/04/24987>). Дата обращения 01.04.2017.
9. Виртуальное конструкторское бюро // Принят сигнал спутника «ТОМСК-ТПУ-120» – ТПУ. – (Электронный ресурс: <http://vdb.tpu.ru/news/prinyat-signal-sputnika-tomsk-tpu-120.html>). Дата обращения 01.04.2017.
10. Виртуальное конструкторское бюро // Космонавт Александр Мисуркин встретился с политехниками в студенческом Центре управления полетами – ТПУ. – (Электронный ресурс: <http://vdb.tpu.ru/news/kosmonavt-aleksandr-misurkin-vstretilsya-s-politexnikami-v-studencheskom-czentre-upravleniya-poletami.html>). Дата обращения 01.04.2017.

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ КАК СПОСОБ РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ**

Мантыкова М.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Скачкова Л.А., старший преподаватель

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: [mantykova.marina@gmail.com](mailto:mantykova.marina@gmail.com)

**LABORATORY WORK AS A WAY TO DEVELOP COMPETENCIES**

Mantykova M.V.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Senior Lecturer, Skachkova L.A.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: [mantykova.marina@gmail.com](mailto:mantykova.marina@gmail.com)

*В данной научной работе лабораторные работы рассматриваются как метод освоения учебного материала студентами и развития у них необходимых профессиональных компетенций. Также статья содержит результаты интервью студентов, в которых рассмотрен и проанализирован вопрос об актуальности и роли лабораторных работ для развития компетенций, необходимых для соответствия профессиональным стандартам.*

*The laboratory work is considered as a method of learning the material, which develops the necessary professional competencies. The article contains the results of the student interviews, which reviewed and analyzed the relevance and role of laboratory work for the development of the competencies required to meet professional standards.*

В современное время очень остро стоит вопрос о подготовке высококвалифицированных кадров, которые будут проектировать, открывать новые изобретения в российской космической отрасли. Ведь данная область науки играет большую роль как в науке, так и в политической области. Каждая страна стремится повысить свою роль в научном – техническом прогрессе; будь то развитая страна или развивающаяся, все желают вырваться вперед в освоении космоса. Это положительно влияет на статус и престиж государства. Но для новых открытий и освоения космоса требуются новые разработки, высококвалифицированный персонал и сильная техническая поддержка. В связи с этим много ресурсов тратится на подготовку будущих инженеров, проектировщиков, электронщиков и других представителей технических специальностей, которые будут решать актуальные вопросы в космической отрасли.

Для подготовки детей в школах, специалистов, бакалавров и магистров, в высших учебных заведениях существуют определенные стандарты, соответствие которым, необходимо соблюдать всем образовательным организациям. Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) представляют собой совокупность требований, обязательных при реализации основных образовательных программ начального общего, основного общего, среднего (полного) общего, среднего профессионального и высшего образования образовательными организациями, имеющими государственную аккредитацию [1]. Именно данные стандарты выставляют требования к основным образовательным программам, по которым обучаются студенты, а также требования к качеству условий для их реализации. Важной частью содержания ФГОС является то, что он содержит определенные, подробно описанные правила для подготовки того или иного направления, перечень компетенций, которые необходимо развить у выпускника: общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции. К примеру, во ФГОС, для выпускников освоивших подготовку по направлению 12.03.01 «Приборостроение», виды профессиональной деятельности, к которым необходимо быть готовым: проектно – конструкторская, производственно – технологическая, монтажно – наладочная и т. д. [2]. И нетрудно предположить, что только теоретическими основами для работы по специальности тут не обойтись. И именно в этом случае – большую роль в получении практических навыков и развития профессиональных, являются лабораторные работы, в результате выполнения которых обучающийся может понять принцип действия выполнения того или иного прибора, работы механизма, получить опыт в работе с различным программным обеспечением, необходимым при трудоустройстве.

Чтобы определить, как лабораторные работы влияют на развитие и усвоение профессиональных компетенций, было проведено интервью у двух респондентов. Первый участник – это студент четвертого курса бакалавриата, который в 2017 году заканчивает вуз, второй участник – это студент второго курса магистратуры, который также заканчивает обучение в 2017 году. Основные вопросы касались непосредственно качества подготовки по специальности, как теоретической, так и практической базы. Вопросы, заданные респондентам:

- 1) Вы учитесь или работаете? Если Вы не работаете, переходите к вопросу 3.
- 2) Вы работаете по специальности или нет? Если нет, то почему.
- 3) Как вы считаете, получили ли вы необходимую теоретическую базу для профессиональной деятельности? Если нет, то почему?
- 4) Как вы считаете, получили ли вы необходимую практическую базу знаний для работы по специальности? Если нет, то почему?
- 5) Удовлетворены ли Вы практическими навыками, которые получили на лабораторных работах?
- 6) Почему Вы удовлетворены / не удовлетворены полученными практическими навыками?

*Таблица 1. Результат опроса респондентов*

Респондент № 1	Респондент № 2
1) Да, работаю	1) Да, работаю
2) Да, работаю по специальности	2) Да, работаю инженером – электронщиком. Это достаточно близко к моей специальности
3) Нет, т. к. в вузе присутствует много непрофильных дисциплин, которые отнимают время от изучения профильных предметов	3) Не в полной мере, много времени уходит на самостоятельное изучение, того материала, который не успели рассмотреть во время занятия
4) Нет, не удовлетворен	4) Полученная практическая база знаний не дотягивает до хорошей. Но зато получена крепкая элементарная практическая база
5) При проведении некоторых лабораторных работ не хватало либо материальной базы, для полноценного проведения занятия, либо было слишком мало часов выделено на ту или иную работу	5) Не в полной мере
6) Не могу ответить точно	6) Мало практики, касающейся именно с дальнейшей работой
7) Нет	7) Частично помогло, а именно анализировать полученные экспериментальным путем данные
8) Некоторые лабораторные работы были полезны, для развития моих проектно-конструкторских компетенций, а некоторые нет	8) Да, лабораторные работы помогли развитию моих профессиональных компетенций для проектно – конструкторской деятельности
9) Абсолютно не помогли	9) Нет
10) Нет, не хватает. Потому что отсутствует прозрачность образования, необходимо четко ставить цели, что и зачем мы изучаем	10) Не достаточно, потому что никакой ВУЗ не может дать 100 % компетенций. Студенты слишком ленивые
11) Не могу ответить точно	11) Навыки монтажных работ, побольше электроники, а так же дополнительное образование, с получением сертификатов, свидетельств
12) Diptrace, Coreldraw, Solidworks	12) Altium designer, P-CAD, C++ более углубленно, Compas

- 7) Как вы считаете, помогло ли выполнение лабораторных работ развитию ваших профессиональных для проведения исследований?
- 8) Как вы считаете, помогло ли выполнение лабораторных работ развитию ваших профессиональных для проектно-конструкторской деятельности?
- 9) Как вы считаете, помогло ли выполнение лабораторных работ развитию ваших профессиональных для монтажно-наладочных работ?
- 10) Достаточно ли компетенций, полученных в университете? Если нет, то почему?
- 11) Какие компетенции Вы бы получили дополнительно к основной образовательной программе?
- 12) Какое бы программное обеспечение Вы бы освоили для совершенствования полученных навыков?

Из полученных ответов можно выделить некоторые сходства: оба опрашиваемых работают по своей специальности, оба респондента не достаточно удовлетворены полученными компетенциями в университете. Однако стоит отметить, что расхождения во взглядах имеют ярко выраженные отличия, респондент № 2, который оканчивает магистерскую программу, имеет другой взгляд на удовлетворенность полученных навыков. Также потребность в получении навыков работы с программными обеспечениями у участников опроса разные, но это, скорее всего, связано с разными сферами деятельности.

В результате полученных данных можно сделать некоторые выводы. Во-первых, студенты во время обучения получают не в полной мере теоретическую и практическую базу знаний, необходимых для развития профессиональных компетенций. Зачастую это связано с человеческими факторами, такими как: недостаточность школьной подготовки по физике, математике, черчению, не позволяющие давать объяснения тем или физическим явлениям, процессам, выстраивать междисциплинарные связи, делать необходимые расчеты, разрабатывать математические и физические модели, предлагать выводы об использовании явлений в той или иной области. Кроме того, низкая мотивация (незаинтересованность самого обучающегося), отсутствие у преподавателей практического опыта. Низкая эффективность от выполнения лабораторных работ связана с недостатком учебных часов и материально – техническим оснащением лабораторий. Но при этом лабораторные работы помогают усваивать необходимый материал и развивать на среднем уровне профессиональные компетенции, т. е. выполнять минимум, заданный профессиональными и самостоятельно устанавливаемыми образовательными стандартами. Пути решения для данных проблем реализуемы, например, при реструктуризации (апгрейде) учебных планов, обновления лабораторий, а также использования в учебном процессе нового программного обеспечения. Конечно, это требует временных ресурсов, но потребность в высококвалифицированном персонале на производстве, в т. ч. в космической отрасли высока, поэтому это будет одним из решений для подготовки компетентных кадров, при участии будущих работодателей в учебном процессе путем предоставления лабораторной базы для проведения занятий, чтения лекций сотрудниками предприятий, включения в проведение реальных лабораторных исследований в процессе изучения дисциплин и т. д.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные государственные образовательные стандарты // Министерство образования и науки Российской Федерации (Электронный ресурс: <http://минобрнауки.рф/документы/336>). Дата обращения: 22.03.2017.
2. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (Электронный ресурс: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgosvob/120301.pdf>). Дата обращения: 22.03.2017.

**ФОРМИРОВАНИЕ ВОЕННО-ПРИКЛАДНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ  
У БУДУЩИХ ОФИЦЕРОВ ВОЕННО-КОСМИЧЕСКИХ СИЛ**

**Федюк Р.С.<sup>1</sup>, Смоляков А.К.<sup>1</sup>, Тимохин Р.А.<sup>1</sup>, Евдокимова Ю.Г.<sup>1</sup>**

Научный руководитель: Мочалов А.В., полковник

<sup>1</sup>Учебный военный центр при Дальневосточном федеральном университете

Россия, г. Владивосток, ул. Экипажная, 18, 690001

E-mail: roman44@yandex.ru

**FORMATION OF MILITARY APPLIED COMPETENCE AMONG THE FUTURE OFFICERS  
OF THE MILITARY SPACE FORCES**

**Fediuk R.S.<sup>1</sup>, Smoliakov A.K.<sup>1</sup>, Timokhin R.A.<sup>1</sup>, Evdokimova Yu.G.<sup>1</sup>**

Scientific Supervisor: Mochalov A.V., Colonel

<sup>1</sup>Military Training Center of Far Eastern Federal University

Russia, Vladivostok, Ekipazhnaya str., 18, 690001

E-mail: roman44@yandex.ru

*В статье рассмотрена связь военно-профессиональной компетентности с коммуникативными и общекультурными качествами личности. Владение навыками коммуникации позволяет молодому выпускнику военного вуза быстро и без особых проблем адаптироваться в воинском коллективе. В ходе исследования психолого-педагогической поддержки развития коммуникативной компетентности курсантов училищ военно-космических сил обозначены и раскрыты их основные задачи.*

*The article discusses the connection of professional military competence with communication and general cultural characteristics of the individual. Spoken communication skills allowing young graduates of military high school quickly and without any problems to adapt to the military collective. The study of psychological and pedagogical support of development of communicative competence of students of schools of military space forces identified and disclosed their main tasks.*

Вопрос формирования военно-специальной грамотности у военнослужащих, проходящих военную службу в офицерских должностях, в наше нестабильное время стоит как никогда остро. В последние годы акцент делается на базовые методы и приемы использования психологической и социальной адаптации курсантов к будущей военной службе, внедряются различные варианты данного вида адаптации для совершенствования специальной направленности курсантов училищ и академий, подведомственных Министерству обороны [1–2].

Догмат современных гуманистических тенденций образования однозначно призывает использовать педагогические практики в освоении и внедрении развивающих и поддерживающих технологий, в связи с тем, что охранительное отношение к личности обучающегося (несмотря на то, что он живет в казарме), ее всесторонняя поддержка – главное условие целостности этого человека, его различных эмоций и чувств. В педагогической науке наглядно очевиден переход от стандартной парадигмы образования в сторону личностно-ориентированной.

Поддержка подразумевает приоритет гуманистической позиции офицера-воспитателя по отношению к учащимся. Данное обстоятельство служит ответом на естественное доверие курсантов, психическое здоровье, эмоциональное самоощущение и благополучие, способность усваивать необходимые военно-прикладные знания и формироваться как специалист космической отрасли.

Широко известны кризисные периоды развития индивида и индивидуальности, в которые необходимость в данного рода поддержке просто бросается в глаза. Помимо типично кризисов в разные возрастные промежутки развития личности, к ним можно отнести и кризисы, которые предопределяются широкомасштабными трансформациями в социальном статусе курсанта. Именно поэтому этап обучения в военном училище (академии), а в последующем также и, адаптация молодого офицера-специалиста в военно-космической части.

В ходе изучения психологической и социальной адаптации за счет тренировки различных видов компетентностных характеристик курсантов училищ военно-космических сил педагоги обозначают

2 основные задачи. Их можно с какой-то долей условности разбить на теоретическую и практическую. Важнейшей *теоретической задачей* служит *подтверждение актуальности внедрения коммуникативной компетентности у обучающихся для развития и закрепления у этой категории должностных лиц возможностей и ресурсов для выполнения специальных задач командного состава военнослужащих высокого класса*, коммуникативная компетентность которого в наши дни изучается как модель формирования компетенций [3].

*Практическая задача гласит: развитие компетентности коммуникативного плана у курсантов, формирование у них военно-специальных умений, которые определяют стадию развития их военно-прикладной компетентности.* К ним можно отнести:

– степень изучения и качество наработанных знаний, учений и навыков по прикладной военно-космической специальности;

– умение контактировать в различных иерархических цепях в воинском коллективе (коммуникативность, выполнение боевых задач в составе подразделения);

– ряд конфликтологических знаний, умений, навыков (компетенций) (способность принципы единоначалия, закрепленные в Уставе Вооруженных Сил, мотивировать подчиненных, доводить до личного состава и обосновывать свою позицию, способность к конструктивному диалогу);

– очень ценное качество – способность к конструктивной критике, а также к самокритичности;

– лидерские качества, столь необходимые офицеру (способность планировать, кратко и по существу формулировать задачу перед подчинёнными, умение контролировать выполнение поставленных задач);

– способность использовать различные средства и способы монологической речи, умение аргументированно и по существу доносить свои замыслы и идеи до подчинённых, способность отстаивать свою позицию);

– использование основ деловой коммуникации (общение по техническим средствам связи, ведение делопроизводства, подготовка и оформление отчетов, личной и служебной корреспонденции, проведение планерок совещаний, навыки штабной культуры и др.).

Основой в развитии военно-специальных умений слушателей военно-космических училищ (академий) является гуманитарный курс (психология, педагогика и другие дисциплины). Впоследствии это способствует:

– эффективному применению личностно-ориентированных технологий, например, приемов активного обучения;

– конструированию образа мышления военного специалиста, направленного на развитие общепрофессиональной компетентности, и основной ее составляющей – коммуникативной;

– развитию и закреплению у курсантов соответствующего новейшей общественно-политической обстановке, а также перспектив последующей службе в космических силах, и, кроме того, о востребованности коммуникативных и общекультурных компетенций в ходе постоянного саморазвития, как личности и военного высокочлассного офицера.

В ходе изучения и внедрения различных вариантов социально-психологического и педагогического элемента компетентностных характеристик коммуникативного плана у обучающихся военных училищ и академий дал возможность обозначить нижеприведенные *показатели ее готовности*.

#### I. Воспитательные:

1. *Умение будущего офицера общаться на военно-специальные темы в воинском коллективе.* В его базе, четко виден уровень сформированности познавательного элемента способности к коммуникативным действиям, дающего возможность специалисту вести на должном уровне военно-специальную деятельность.

Развитие способностей адекватного военно-специального общения является осознание важности формирования и использования коммуникативно-компетентных качеств личности в военной службе в руководящих должностях в военно-космических силах, осознание неотъемлемости формирования личностных характеристик своего различного поведения в условиях военной службы, значимых для принятия командных решений, широкий тезаурус средств общения, то есть готовность к оптимальному уровню профессиональной деятельности.

*2. Наличие знаний для коммуникативной деятельности в воинском подразделении.*

Навыки общения в военно-прикладной деятельности курсанта военно-космического вуза подразумевают под собой проверку наличия ряда умений и навыков о видах военно-специального поведения в различных определенных ситуациях, в том числе, и в боевых условиях.

Перенос в плоскость коммуникативных взаимоотношений мероприятий различного генезиса, владение навыками этого вида взаимоотношений, непосредственный опыт каждой из взаимодействующих сторон, и, кроме того, основополагающий комплекс навыков по службе в воинском подразделении, дает возможность утверждать, что вышеизложенные компетенции служат важнейшими критериями готовности в сфере коммуникативной компетентности в качестве инструмента профессионально-личностного развития [4–6].

II. Социальные:

- удовлетворенность потребности в саморазвитии;
- социальный комфорт в войсковом подразделении;
- достаточный уровень коммуникативного контроля;
- способность применять техники социальной поддержки коммуникативного партнера;
- обширная система приемов самоактуализации.

Все вышеперечисленное служит базовым набором коммуникативных и общекультурных компетенций, которые способны определять социальную самоактуализацию курсантов военно-космических сил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов П.Г., Федюк Р.С., Мочалов А.В., Тимохин А.М., Муталибов З.А. Исследование психологических аспектов достижения военно-профессиональной готовности студентами военных специальностей // Гуманитарные научные исследования. – 2016. – № 4 (56). – С. 243–246.
2. Федюк Р.С., Евдокимова Ю.Г., Козлов П.Г., Мочалов А.В., Тимохин А.М., Муталибов З.А. Педагогические аспекты изучения военной топографии // Гуманитарные научные исследования. – 2016. – № 4 (56). – С. 183–185.
3. Зотова И.Н. Психолого-педагогическая поддержка развития коммуникативной компетентности студентов технического вуза / Автореф. дисс. к.п.н. – Ставрополь, 2006.
4. Козлов П.Г., Федюк Р.С., Евдокимова Ю.Г. Влияние образовательного процесса на формирование готовности к военно-профессиональной деятельности у студентов технических вузов // Гуманитарные научные исследования. – 2016. – № 6 (58). – С. 128–130.
5. Зенкин И.С., Тимохин Р.А., Козлов П.Г., Федюк Р.С. Развитие ведущей репрезентативной системы восприятия информации в процессе обучения // Психология, социология и педагогика. – 2016. – № 11 (62). – С. 21–24.
6. Козлов П.Г., Федюк Р.С., Мочалов А.В., Тимохин А.М., Муталибов З.А. Самостоятельная работа студентов (курсантов) в военных вузах // Современная педагогика. – 2016. – № 3 (40). – С. 31–34.



## НУЖНЫ ЛИ УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ В КОСМОСЕ

Шемякин А.Н.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Иванова В.С., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: ans20@tpu.ru

## DO WE NEED UNIVERSAL COMPETENCE IN SPACE

Shemyakin A.N.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Assistant Prof., PhD, Ivanova V.S.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: ans20@tpu.ru

*В данной статье рассматривается вопрос влияния личностных качеств на профессиональную деятельность. К чему может привести отсутствие компетенций? Какими качествами должен обладать космонавт – испытатель? Проведен анализ трудовых функций космонавта – испытателя, и по этим данным подобраны универсальные компетенции космонавта, находящегося в космосе. Универсальные компетенции – это качества личности, от которых зависит ее успех практически во всех областях профессиональной деятельности.[1]*

*This article discusses the question of the impact of personal qualities on professional activities. What can be due to lack of competencies? What are the qualities of a test cosmonaut? The analysis of the job functions of test – cosmonaut on this data selected generic competence astronaut is in space. Universal jurisdiction is the quality of the person depends on its success in almost all areas of professional activity.*

В настоящее время чтобы стать успешным бизнесменом, экспертом в своей области или мастером своего дела, недостаточно иметь диплом об образовании и желаниа работать. Нужно обладать рядом определенных навыков, личностных качеств – универсальными компетенциями. К примеру, хороший юрист должен не только знать свод законов страны, в которой он работает, но также обладать гибким аналитическим умом и огромной стрессоустойчивостью [2].

К сожалению, школы и вузы не всегда способны развить в человеке универсальные компетенции. А порой, некоторые личностные качества очень важны для той или иной профессии. Встречаются ситуации, когда компетенции, приобретаемые в период обучения в вузе не совпадают с требованиями работодателя.

Масштабные исследования, проведенные американскими аналитическими центрами, позволяют нам уверенно ответить на вопрос: какие качества больше всего ценят работодатели. Крупные международные корпорации отмечают, что их сотрудникам не хватает следующих компетенций:

1. **Лидерство.** Лидера не боятся, но он умеет внушать страх, и умеет вдохновлять. Более 70 % руководителей в крупных компаниях не уверены в собственных лидерских качествах.

2. **Технические навыки.** Как бы не старались университеты выпустить высококвалифицированных специалистов, большая часть компаний жалуется на недостаток хороших технических специалистов.

3. **Критическое мышление.** Данным навыком обладают люди, которые имеют свое независимое мнение, а также не боятся высказывать его. Критическое мышление подразумевает здоровую критику, а значит оно нужно как руководителям, так и специалистам, находящимся в самом начале карьерной лестницы.

4. **Коммуникативные навыки.** Умение общаться нужно не только людям, чья работа общаться с клиентами. В любой, даже самой индивидуальной, работе присутствует компонент общения. Инженер-проектировщик, в одиночестве работающий с чертежами, в итоге должен будет показать его руководителю или заказчику. Конфликты на работе, которые мешают эффективной деятельности предприятия, происходят из-за недостатка коммуникативных навыков.

5. Умение адаптироваться. Мир меняется, и мы меняемся вместе с ним. Это умение бесценно, так как человек может приспосабливаться к изменениям, не теряя эффективности и даже находя новые пути решения [2].

А нужны ли универсальные компетенции в космосе?

Человек, находящийся в космосе, имеет широкий спектр трудовых функций: от теоретической подготовки выполнения космического полета до управления полетами в процессе испытаний пилотируемого космического комплекса (ПКК). В статье рассмотрены некоторые из них.

Эксплуатация пилотируемого космического аппарата (ПКА) и ПКК в космическом полете [3]. Данная трудовая функция подразумевает взаимодействие с членами экипажа на борту ПКА и ПКК, ведение связи с центром управления полетами (ЦУП), согласование работ по координации и планированию деятельности экипажа ПКА и ПКК с наземными центрами управления полетами. Данные трудовые функции подразумевают умение общаться с людьми, умение избегать конфликтов, что на борту космических станций очень важно. В этой ситуации нужно обладать коммуникативными навыками, для общения с членами экипажа и ЦУП. Нет ничего глупее, чем два ругающихся космонавта на космической станции. Лидерские качества (при достаточном наборе знаний и умений) помогут скоординировать бесперебойную работу в космосе.

Действие в аварийных и нештатных ситуациях в космическом полете. Функция подразумевает, как видно из названия, умение действовать в нештатных ситуациях: осуществление взаимодействия членов экипажа при возникновении аварийных и нештатных ситуаций в космическом полете, оказание помощи травмированным и больным членам экипажа в космическом полете, доклад в ЦУП о принятых мерах, а также принятие решения в аварийных и нештатных ситуациях вне сеансов связи с Землей. Умение адаптироваться в экстренных ситуациях является одним из наиболее важных качеств в нештатных ситуациях. Космонавт должен правильно отреагировать на аварию, не поддаваться панике, т. е. адаптироваться к этой ситуации. Коммуникативные навыки помогут правильно организовать действия экипажа, а лидерство позволит космонавту расположить к себе членов экипажа, и повысить эффективность. Можно выделить стрессоустойчивость, которым должен обладать каждый человек, находящийся в космосе, чтобы избежать паники в аварийной ситуации.

В космосе, особенно в нештатных ситуациях, необходимо быстро анализировать, принимать решение. Данный навык называется системным мышлением, и он не упоминается работодателями, как ценный навык. Как правило, этот навык сформирован не теорией, а практикой. Это практический подход к восприятию мира и умение выявлять определенные закономерности в ряду событий, что дает возможность оказывать на них влияние.

Таким образом, космонавт – испытатель должен обладать не только теми качествами, которых не хватает сотрудникам, по мнению работодателей, но и другими навыками, такими как системное мышление. Лидерство, которое необходимо всем руководителям, лучше всего подойдет космонавту, которому нужно в определенные моменты времени скоординировать работу и взять управление ситуацией в свои руки. Техническими навыками должны, априори, обладать все люди, чья работа связана с космосом. Эти навыки, как правило, приобретаются еще до выхода в космос. Коммуникативные навыки, как было сказано, необходимы для взаимодействия с членами экипажа, а также с ЦУП, и от успешности этого общения зависит результат поставленной задачи. Коммуникация помогает избежать конфликтов. Мы постоянно подстраиваемся под изменяющийся мир, адаптируемся к нему, что делают и космонавты, находясь в космосе. Подстроится под ситуацию и не потеряет при этом эффективность, очень ценный навык.

Если обратиться к приказу об утверждении положения о проведении открытого конкурса по отбору кандидатов в космонавты Российской Федерации [4], то можно увидеть, что помимо общих требований, еще рассматриваются психологические. К психологическим требованиям относятся биологически устойчивые психофизиологические параметры (психомоторные качества, надежность операторской деятельности), а также особенности индивидуальных психических процессов (эмоциональных, познавательных, волевых). Также присутствуют социально-психологические характеристики, включающие в себя направленность личности, склонность к лидерству, коммуникабельность, которые также были рассмотрены выше. Чтобы пройти отбор, нужно, чтобы кандидат не обладал неблагоприятными индивидуально-психологическими особенностями.

Проведя анализ трудовых функций космонавта-испытателя, можно ответить на вопрос: нужны ли универсальные компетенции в космосе. Да, безусловно, личностные качества космонавта играют большую роль в организации работы в космосе. Космонавт должен обладать широким спектром навыков, умений, компетенций. А отсутствие универсальных компетенций могло бы привести к конфликтам между членами экипажа, что повлияло бы на успешность выполнения поставленной задачи в космосе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Московский государственный гуманитарный университет имени М.А. Шолохова. Универсальные компетенции. – (Электронный ресурс: <http://mggu-sh.ru/universalnye-kompetentsii>). Дата обращения 17.03.2017.
2. Центр тестирования и развития. Гуманитарных технологии / Булатов Ф.В. // Универсальные компетенции. – (Электронный ресурс: [http://www.proforientator.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2446:2015-09-14-14-26-09&catid=12:2009-10-08-07-49-57](http://www.proforientator.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=2446:2015-09-14-14-26-09&catid=12:2009-10-08-07-49-57)). Дата обращения 17.03.2017.
3. Реестр профессиональных стандартов. Космонавт-испытатель. – (Электронный ресурс: [http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT\\_ID=58242](http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT_ID=58242)). Дата обращения 17.03.2017.
4. Государственная корпорация «РОСКОСМОС» / Приказ об утверждении положения о проведении открытого конкурса по отбору кандидатов в космонавты Российской Федерации в 2017 году. – (Электронный ресурс: <https://www.roscosmos.ru/media/files/docs/2017/prikaz.244.pdf>). Дата обращения 17.03.2017

Научное издание

## **ИНЖЕНЕРИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА**

Сборник научных трудов  
V Международного молодежного форума

**Издано в авторской редакции**

Компьютерная верстка  
*Е.А. Иванова, А.Г. Долгих, В.С. Иванова, О.Ю. Аршинова*  
Дизайн обложки *И.Н. Самодуров*


Подписано к печати 31.05.2017. Формат 60х84/8. Бумага «Снегурочка».  
Печать CANON. Усл. печ. л. 18,03. Уч.-изд. л. 16,31.  
Заказ 101-17. Тираж 100 экз.

---



**Издательство**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



**V Международный молодежный Форум  
"Инженерия для освоения космоса"**

**ТОМСК - 2017**