№ 2 [56]
2020
+0

научно-технический журнал

Известия

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

27 апреля

День основания Института инженерной физики

Межрегиональное общественное учреждение
“Институт инженерной физики”
(научное, образовательное и производственное учреждение)

В НОМЕРЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

2 **Захаров В.Л., Смирнов Д.В., Шаймарданов А.М.**
Математические модели широтно-импульсного стабилизатора напряжения системы электроснабжения космического аппарата

5 **Спирягин В.В.**
Применение метода конечных элементов для оценки надежности вальцовочных соединений

10 **Гордеев Г.А., Попов В.В., Пономарёва А.С., Смирнов Н.В.**
Методы прогнозирования надежности радиоэлектронной аппаратуры, подвергающейся вибрации

16 **Котов Н.И., Костюков А.В., Фельдшеров А.Н., Чернышев С.Е., Яшин А.В.**
Метрологическое обеспечение средств измерений азимута

20 **Кабаков В.В.**
Исследование нулевого сигнала лазерного гироскопа

25 **Редькин В.В., Смородин А.И., Сергеев С.С., Кулик М.В., Коробков А.А.**
Математическая модель и методика расчёта теплообменного оборудования базового варианта структурно-технологической схемы адсорбционно-криогенной установки

33 **Коломбет В.А., Лесных В.Н., Бондарь А.Т.**
Проявление универсальной системы утраивающихся периодов в многосуточных биоритмах

39 **Прохорцов А.В., Соловьев А.Э., Минина О.В.**
Аппаратно-программный комплекс, моделирующий работу навигационных систем на борту высокоточных боеприпасов

42 **Смуров С.В., Салько А.Е., Загарских В.И., Кузин Е.Н.**
Альтернатива повышения помехозащищенности бортовой пироавтоматики летательных аппаратов

46 **Бутранов А.С.**
Реализация средств индивидуальной защиты военнослужащего от холода с активной системой электрообогрева

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

51 **Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Зеленевский А.В., Шмырин Е.В., Дурнов А.С.**
Статистический и корреляционный анализ адресных последовательностей в каналах передачи с кодовым уплотнением данных

56 **Батенков К.А., Илюшин М.В., Катков О.Н., Коркин А.Г., Мясин Н.И.**
Обнаружение сигналов двухтональной многочастотной сигнализации при их передаче по сети с коммутацией пакетов

61 **Донцов Д.В., Косяк А.И., Шиманов С.Н.**
Передача запросов в режиме двойного использования запросного канала по алгоритму тактированного случайного множественного доступа

65 **Цимбал В.А., Парфентьев А.А.**
Математическое моделирование обработки ШПС-ФМ как сигналов кадровой синхронизации аналоговым и дискретным согласованными фильтрами

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

70 **Тимошенко А.В., Мурашов А.А., Кочкаров А.А., Бадоев В.А., Буханец Д.И.**
Вероятностный подход к оценке структурной живучести многоуровневых систем мониторинга с учетом форс-мажорных обстоятельств

74 **Царьков А.Н., Смуров С.В., Волков Г.Г.**
Тернарные неабелевы симметрии о запутывании многомерных пространств

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

82 **Царьков А.Н., Царькова Е.А., Краснова Ю.В.**
Технология производства иммунотропного инновационного препарата «ТАМЕРОН»

НАУКОМЕТРИЯ

87 **Артамонов Ю.Н.**
Методический подход к выявлению дублирующей тематики проектов

90 **Емелин Н.М., Рябов П.А.**
Наукограды Южного Подмосковья: динамика развития и перспективы

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ

95 **Медведев В.В., Поспехов Д.В., Сытняк Ю.А.**
Роль государственных научных центров Российской Федерации в реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации

101 **AUTHORS**

103 **ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ**

104 **ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ**

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ Института инженерной физики

№2 (56) 2020

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

ISSN 2073-8110

Включен в «Перечень ВАК» по научным специальностям:
05.11.16. Информационно-измерительные и управляющие системы
05.12.13. Системы, сети и устройства телекоммуникаций
05.13.01. Системный анализ, управление и обработка информации
05.13.19. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

Главный редактор, председатель редакционного совета и редакционной коллегии

Алексей Николаевич Царьков
Президент – Председатель Правления МОУ «ИИФ», заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Редакционный совет

Геннадий Иванович Азаров
главный научный сотрудник ФГУП «16 ЦНИИИ МО РФ» заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ, лауреат Государственной премии РФ, лауреат премии Правительства РФ, доктор технических наук, профессор

Сергей Владимирович Дворянкин
начальник департамента Государственной корпорации «РОСТЕХ» ОАО КРЭТ, доктор технических наук, профессор

Николай Михайлович Емелин
главный научный сотрудник ФГБНУ «Госметодцентр», заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор

Валерий Иванович Николаев
научный референт ОАО «Концерн «Созвездие», лауреат Государственной премии СССР, лауреат премии Правительства РФ, доктор технических наук, профессор

Владимир Георгиевич Редько
заместитель руководителя Центра оптико-нейронных технологий НИИ системных исследований РАН, доктор физико-математических наук

Юрий Александрович Романенко
старший научный сотрудник филиала ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов) заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Александр Викторович Синьговский
старший научный сотрудник Европейского центра ядерных исследований (CERN), Adjunct Assistant Professor Университета Миннесоты (США), кандидат физико-математических наук

Анатолий Васильевич Тодосийчук
главный советник аппарата Комитета ГД ФС РФ по образованию и науке, почетный работник науки и техники РФ, доктор экономических наук, профессор

Александр Павлович Царёв
заведующий кафедрой компьютерных архитектур и телекоммуникаций Западно-поморского технологического университета (Польша), доктор технических наук, профессор

Игорь Анатольевич Шеремет
заместитель директора Российского фонда фундаментальных исследований по науке, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор

научно-технический журнал
Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
№ 2 2020
56

Редакционная коллегия

Олег Николаевич Андрух
почетный работник науки и техники РФ, кандидат технических наук, доцент

Борис Фёдорович Безродный
доктор технических наук, профессор

Сергей Борисович Беркович
почетный геодезист РФ доктор технических наук, профессор

Владимир Эрнестович Бородай
лауреат Государственной премии СССР, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Игорь Александрович Бугаков
заслуженный изобретатель РФ, почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Вадим Геннадьевич Грибунин
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук

Сергей Григорьевич Данилюк
доктор технических наук, профессор

Владимир Владимирович Зеленевский
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Николай Николаевич Казаков
член Союза писателей России
выпускающий редактор

Олег Павлович Кузнецов
кандидат технических наук, доцент

Александр Ильич Куприянов
доктор технических наук, профессор

Анатолий Викторович Мазин
доктор технических наук, доцент

Алексей Сергеевич Марков
доктор технических наук, старший научный сотрудник

Дмитрий Геннадьевич Митрофанов
заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор

Роман Леонидович Мусатов
кандидат технических наук
заместитель главного редактора

Игорь Николаевич Оков
доктор технических наук, профессор

Владимир Петрович Пашинцев
заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор

Дмитрий Вячеславович Смирнов
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, доцент

Сергей Владимирович Смуров
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Валерий Николаевич Умников
доктор технических наук, профессор

Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Сергей Николаевич Шиманов
почетный работник высшего профессионального образования РФ, почетный радист РФ, доктор технических наук, профессор

Сергей Владимирович Смуров

Первый Вице-президент Института – Главный конструктор, почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Уважаемые коллеги! Дорогие друзья!

27 апреля Межрегиональному общественному учреждению «Институт инженерной физики» исполняется 27 лет. От души поздравляю создателей, руководителей, ветеранов, каждого сотрудника Института!

За более чем четверть века своего существования Институт внес уникальный вклад в разработку и внедрение новейших образцов оборудования, высокоточных приборов, систем связи, информационных технологий, медицинских препаратов и военной экипировки.

Мы идем в ногу со временем, постоянно наращиваем и модернизируем материально-техническую базу, обучаем научные кадры, осваиваем новые направления работы и научных исследований. Активно развивается в Институте медико-биологическое направление. Уникальная лаборатория для исследования квантовых информационных технологий позволят выйти на принципиально новые технологии обработки и передачи информации на основе квантово-механических эффектов. Учеными Института разработаны такие уникальные, не имеющие мировых аналогов, приборы и системы как: стенд моделирования радиолиний спутниковой и тропосферной связи, модем декаметровой связи, комплекс астрономо-геодезического, навигационного и геоинформационного обеспечения, квантовый регистр памяти, автономные установки пожаротушения «Огнеборец», система локального электрообогрева и многие другие.

О наших разработках мы систематически докладываем и получаем положительные отзывы от Президента России, Председателя Правительства, Министра обороны, руководителей силовых структур и гражданских ведомств, что способствует продвижению наших инновационных технологий для дальнейшего использования для военных и гражданских нужд страны. Институт постоянно расширяет кооперационные связи и приобретает новых деловых партнеров и заказчиков, участвует в крупнейших международных выставках и конференциях, в реализации федеральных целевых программ.

Оглядываясь на пройденный путь, на сделанное нашим коллективом за эти годы, испытываешь гордость и удовлетворение и вместе с тем желание и стремление двигаться дальше, расширять наши горизонты, приумножать достижения, укреплять авторитет, с тем, чтобы Институт становился все более конкурентоспособным, чтобы наши изобретения были востребованы, и результаты нашего труда приносили пользу России.

От всей души желаю всему нашему профессиональному, сплоченному коллективу дальнейшей реализации научного и творческого потенциала, воплощения в жизнь всех задуманных планов и проектов, здоровья, благополучия, счастья, успехов и уверенности в завтрашнем дне!

УДК 629.7

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

MATHEMATICAL MODELS OF A PULSE-WIDTH VOLTAGE STABILIZER FOR A SPACECRAFT'S POWER SUPPLY SYSTEM

Владимир Леонидович Захаров
доктор военных наук, профессор
действительный член АВН
профессор кафедры
ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: +7 (905) 566-17-94
E-mail: varahas@yandex.ru

Альберт Миргасимович Шаймарданов
кандидат технических наук
преподаватель кафедры
ВКА имени А.Ф.Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7 (921) 945-61-97
E-mail: petrova.e.a@inbox.ru

Дмитрий Вячеславович Смирнов
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, доцент
действительный член АИН
профессор кафедры
ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Первый Вице-президент Института
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: dv_smr@iifmail.ru

Аннотация
Актуальной является задача исследования широтно-импульсного стабилизатора напряжения с постоянной непрерывной частью в условиях функционирования системы электроснабжения, т.е. при значимых изменениях нагрузки и величины входного напряжения. Показаны математические модели широтно-импульсного стабилизатора напряжения системы электроснабжения космического аппарата (ШИСН СЭС КА).
Ключевые слова: широтно-импульсная модуляция, математическая модель, стабилизатор напряжения.

Summary
The urgent task is to study the pulse-width voltage regulator with a constant continuous part in the conditions of functioning of the power supply system, i.e. with significant changes in the load and the magnitude of the input voltage. Shown are mathematical models of a pulse-width pulse voltage stabilizer for a spacecraft's power supply system.
Keywords: pulse-width modulation, mathematical model, voltage stabilizer.

На практике в СЭС КА и во вторичных источниках питания отдельных бортовых приборов применяются широтно-импульсные стабилизаторы понижающего типа с управлением импульсным элементом посредством сравнения выходного напряжения и синхронизирующего сигнала пилообразной формы [1,3,6,8,9]. Принципиальная электрическая схема такого ШИСН показала на *рисунке 1*.

Питание нагрузки R осуществляется первичным источником энергии с ЭДС E через входной фильтр L_1, C_1. Величиной r_u учтено внутреннее сопротивление источника и активное сопротивление дросселя входного фильтра. Транзистор VT работает в ключевом режиме и обеспечивает поступление на вход сглаживающего фильтра, включающего фильтра, включающего элементы VD, r, L и C, последовательность импульсов. Изменение со-

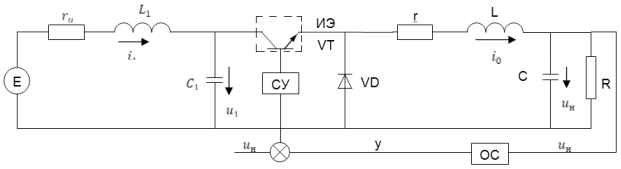


Рис.1. Принципиальная электрическая схема ШИСН

стояния электронного ключа VT производится схемой управления (СУ) так, что при $u(t) \geq y(t)$ транзистор открыт, а при $u_{\eta}(t) < y(t)$ – закрыт.

Для обеспечения требуемых динамических характеристик широтно-импульсный стабилизатор напряжения снабжен звеном обратной связи (ОС), имеющим передаточную функцию $W_{oc}(p)$.

Синхронизирующее пилообразное напряжение изменяется по закону

$$U_n(t) = U_{on} + U_m - U_m T^{-1}(t - iT), \qquad (1)$$

где T – период дискретности;
U_{on} – постоянная составляющая;
U_m – амплитуда переменной составляющей пилообразного напряжения.

Формирование передних фронтов импульсов управления на выходе ИЭ происходит в моменты времени $t = iT$, а задних – при выполнении условия

$$U_{o\eta} + U_m - y(t) - U_m T^{-1}(t - iT) = 0 \qquad (2)$$

Учитывая, что при открытом транзисторе выполняется условие

$$U_{o\eta} + U_m > y(t),$$

можно записать в несколько ином виде:

$$|U_{o\eta} + U_m - y(t)| - U_m T^{-1}(t - iT) = 0 \qquad (3)$$

Отсюда видно, что в рассматриваемом стабилизаторе напряжения осуществляется широтно-импульсная модуляция второго рода и его структуру можно представить в виде замкнутой системы управления с ШИМ, изображенной на *рисунке 2*.

При условии $f = 0$ соответствие параметров электрической и структурной схем устанавливается соотношениями

$$g = U_{o\eta} + U_m \qquad (4)$$

$$\beta = U \qquad (5)$$

$$W_o(p) = W_н(p) \cdot W_{oc}(p) \qquad (6)$$

где $W_н(p)$ – передаточная функция входного фильтра совместно с нагрузкой;
$u(t)$ – напряжение на выходе электронного ключа.

В теории широтно-импульсных систем обычно рассматривается управляющее воздействие в виде последовательности прямоугольных импульсов с постоянной амплитудой. При использовании ШИСН наиболее часто также полагают справедливым это предположение, для чего схему стабилизатора представляют как показано на *рисунке 3*.

Такое упрощение связано с недостаточной разработанностью методов исследования систем с ШИМ, соответствующих схеме стабилизатора, изображенного на *рисунке 1*. Наличие элементов входного фильтра делает стабилизатор напряжения широтно-импульсной системой с синхронным скачкообразным изменением параметров [6,8,9].

Учет элементов $r_и$, L_1 и C_1 следует проводить при анализе влияния входных цепей и свойств первичного источника питания, т.е. при исследовании широтно-импульсного стабилизатора напряжения совместно с другими элементами системы электроснабжения. По схеме (*рисунок 3*) могут быть проведены первоначальные исследования характеристик собственно стабилизатора напряжения.

Передаточная функция непрерывной части ШИСН для *рисунка 3* известна [1,2,3]:

$$w_H(p) = \frac{k_2}{T^2 p^2 + 2\xi_2 T_2 p + 1}, \qquad (7)$$

$$k_2 = \frac{R}{R + r}, \quad T_2 = \sqrt{k_2 LC}, \; \xi_2 = \frac{1}{2}\sqrt{k_2}\left(r\sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}\right). \qquad (8)$$

В качестве элемента обратной связи обычно рассматривается инерционно-формирующее звено [4-6,8]:

$$W_{oc}(p) = k_{oc}\frac{\tau_{oc} p + 1}{\tau_{oc} p + 1} \qquad (9)$$

Иногда при анализе считают, что для *рисунка 3* сумма сопротивлений источника питания и транзистора в открытом состоянии равны сопротивлению диода в прямом направлении [7]. Однако на практике это предположение обычно не выполняется. Тогда стабилизатор напряжения можно представить схемой, показанной на *рисунке 4*.

Величина r равна следующему значению:

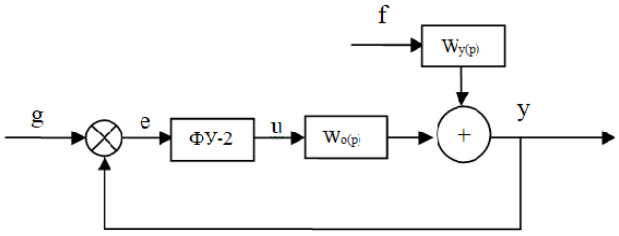


Рис. 2. Структурная схема широтно-импульсной системы

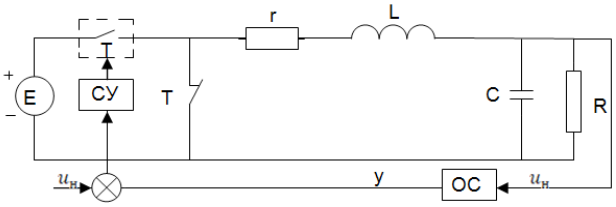


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема ШИСН без учета элементов входной цепи

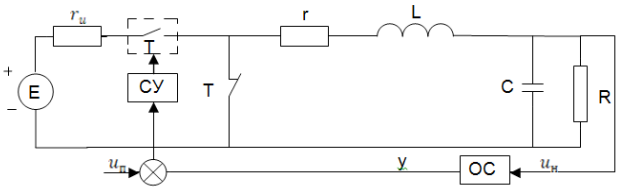


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема ШИСН без учета реактивных элементов входной цепи

$$r=r_д+r_к, \qquad (10)$$

где $r_д$ – сопротивление открытого диода;
$r_к$ – активное сопротивление дросселя.

Эквивалентное сопротивление $r_и$ определяется согласно соотношению:

$$r_и=r_{ип}+r_т-r_д, \qquad (11)$$

$r_{ип}$ – внутреннее сопротивление источника питания;
$r_т$ – сопротивление транзистора в открытом состоянии.

Из сравнения *рисунков 3 и 4* следует, что синхронно с изменением состояний транзистора и диода изменяется передаточная функция непрерывной части:

$$W_{H(p)}=\begin{cases}\dfrac{k_1}{T_1^2p^2+2\xi_1T_1p+1}=\mathbf{W1(p)}\\[2ex]\dfrac{k_2}{T_2^2p^2+2\xi_2T_2p+1}=\mathbf{W2(p)}\end{cases}$$

при $iT\le t<(i+\gamma_i)T,$ (12)
при $(i+\gamma_i)T\le t<(i+1)T.$

При этом $W_2(p)$ совпадает с (6), а для $W_1(p)$ вместо (7) нужно записать следующие значения параметров:

$$k_1=\frac{R}{R+r_n+r},\quad T_1=\sqrt{k_1\cdot LC},\quad \xi_1=\frac{1}{2}\sqrt{k_1}\left[(r+r_n)\sqrt{\frac{C}{L}}+\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}\right] \qquad (13)$$

Элементы входной цепи ШИСН и внутреннее сопротивление источника энергии СЭС показаны на схеме (*рисунок 1*), в которой дополнительно изображенным параметрам можно учитывать сопротивление диода $r_д$ и транзистора $r_т$. Уравнения баланса токов и напряжений в этом случае при

$$iT\le t<(i+\gamma_i)T \text{ и } (i+\gamma_i)T\le t<(i+1)T$$

имеют различный вид. Соответственно меняются и уравнения состояния:

$$\dot{x}(t)=\begin{cases}A_1x(t)+b\varepsilon & \text{при } iT\le t<(i+\gamma i)T\\ A_2x(t)+b\varepsilon & \text{при } (i+\gamma i)T\le t<(i+1)T\end{cases} \qquad (14)$$

$$y(t)=c^Tx(t),$$

где

$b^T=(0\ 0\ 0\ ),\ c^m=(1\ 0\ 0\ 0),\quad x^m=(x_1,x_2,x_3,x_4).$

$$A_1=\begin{bmatrix}-\frac{1}{RC} & \frac{1}{C} & 0 & 0\\ \frac{1}{L} & -\frac{r+r_д}{L} & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{C_1}\\ 0 & 0 & -\frac{1}{L_1} & -\frac{r_1}{L_1}\end{bmatrix},$$

$$A_2=\begin{bmatrix}-\frac{1}{RC} & \frac{1}{C} & 0 & 0\\ -\frac{1}{L} & -\frac{r+r_т}{L} & \frac{1}{L} & 0\\ 0 & -\frac{1}{C_1} & 0 & \frac{1}{C_1}\\ 0 & 0 & -\frac{1}{L_1} & -\frac{r_1}{L_1}\end{bmatrix} \qquad (15)$$

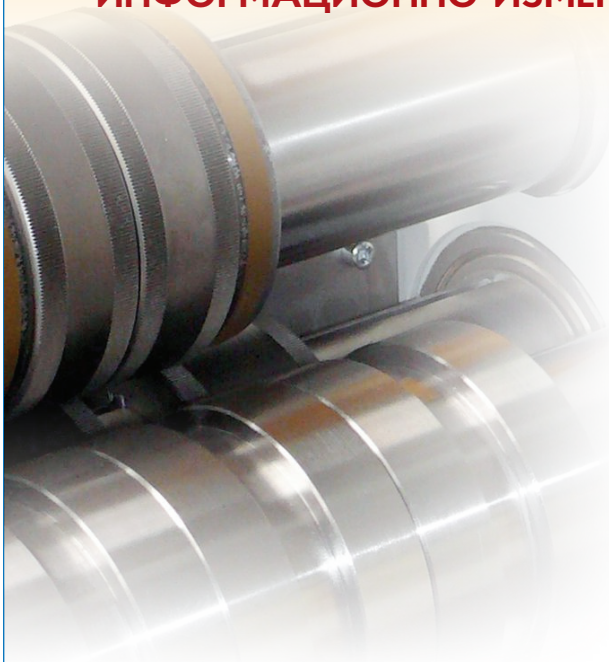
В качестве переменных состояния выбраны:
$x_1=u_н$, $x_3=u_1$ – напряжения конденсаторов;
$x_2=i_0$, $x_4=i_1$ – токи дросселей соответственно выходного и входного фильтров.

Традиционное в теории систем управления широтно-импульсной модуляцией предположение о постоянстве непрерывной части нашло отражение и в известных работах по исследования ШИСН.

Проявилась это в том, что большинство результатов получено применительно к структуре (см. *рисунок 3)* [6,8,9]. Однако даже в этом случае в указанных работах отсутствует обоснование области применимости получаемых результатов [9], поскольку анализ проводится только по линии линеаризованным «в малом» моделям. Поэтому остается актуальной задача исследования ШИСН с постоянной непрерывной частью в условиях функционирования системы электроснабжения, т.е. при значимых изменениях нагрузки и величины входного напряжения.

Литература

1. Александров Ф.И., Сиваков А.Р. Импульсные полупроводниковые преобразователи и стабилизаторы постоянного напряжения. Л.: Энергия, 2017. 188 с.
2. Ковальков В.К. Влияние входного фильтра на устойчивость процессов в импульсном стабилизаторе напряжения // Изв. вузов. Приборостроение, 2016. №11. С.48-51.
3. Ковальков В.К., Соболев Л.Б. Расчет пульсаций в сглаживающих фильтрах импульсных преобразователей на ЦВМ // Сов. радио, 1977. №9. С.131-137.
4. Львов Е.Л. Импульсные передаточные функции электрических цепей // Изв. вузов. Электродинамика. №2. С.1361-1368.
5. Цыпкин Я.З. Частотные критерии абсолютной устойчивости нелинейных импульсных автоматических систем // Автоматика и телемеханика, 2016. №3(25). С.281-289.
6. Львов Е.Л. Импульсные передаточные функции электрической цепей с полностью управляемыми ключами при питании от источников постоянного напряжения // Изв. вузов. Электромеханика, 1982. №2. С.1361-1368.
7. Львов Е.Л. Импульсные передаточные функции электрической цепи с частично-управляемым ключами при питании от источников постоянного напряжения // Изв. вузов. Электроника, 1982. С.939-946.
8. Лучко С.В. Расчет импульсных и цифровых автоматических систем. Л., 2016. 146 с.
9. Лучко С.В., Крыжановский В.И. Математические модели автоматических систем с широтно-импульсной модуляцией // Изв. вузов. Приборостроение, 2015. №8. С.31.



УДК 539.3+519.6

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ВАЛЬЦОВОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

APPLICATION OF THE FINITE ELEMENT METHOD FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF ROLLER COMPOUNDS

Валерий Викторович Спирягин
преподаватель кафедры РВСН
Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский
университет)
Адрес: 125993, г. Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: 8 (977) 700-40-45
E-mail: V.V.Spiryagin@yandex.ru

Аннотация

В статье представлены результаты численного моделирования процесса развальцовки теплообменных труб в отверстия трубных решеток с применением метода конечных элементов, реализованного в комплекте прикладного CAD-программного обеспечения ABAQUS. Показано, что проведение численного моделирования на этапе разработки конструкторской документации является целесообразным, так как позволяет проводить предварительную оценку напряженно-деформированного состояния материала труб при различных скоростях перемещения и крутящем моменте вальцовочного инструмента, что в целом позволяет провести выбор оптимальных параметров развальцовки без проведения (или существенно сократив) натурные экспериментальные исследования.

Ключевые слова: метод конечных элементов, теплообменные аппараты, деформация, прочность, надежность

Summary

The article presents the results of a numerical simulation of the process of expander of the heat-exchange pipes into the holes of the tube plates using the finite element method implemented in the ABAQUS CAD - software package. It is shown that the numerical simulation at the stage of development of design documentation is advisable, as it allows a preliminary assessment of the stress-strain state of the pipe material at various speeds and torque of the rolling tool, which generally allows the selection of optimal rolling parameters without (reducing) field experimental studies.

Keywords: finite element method, heat exchangers, deformation, strength, reliability.

При производстве теплообменных аппаратов (ТА) используется способ крепления труб при помощи развальцовки в отверстия трубных решеток, который обеспечивает герметизацию ТА и защиту труб от вырывания. Однако нарушение технологии вальцовки (недовальцовка или перевальцовка) может привести к возникновению дефектов, в том числе скрытых, развивающихся в процессе эксплуатации.

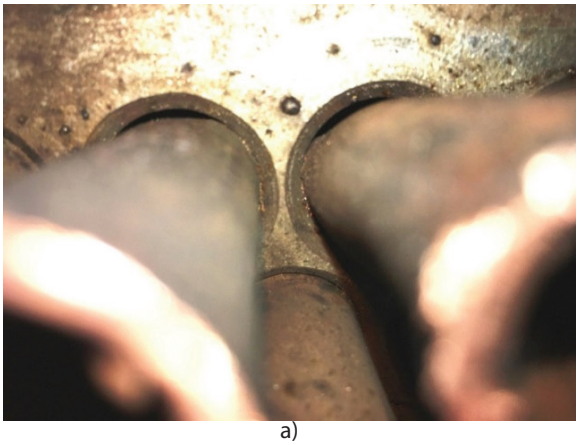
В действующей нормативно-технической документации [1] приводятся данные об оптимальном крутящем моменте развальцовки разных типов труб при различном сочетании материалов. Однако следует отметить, что такие сведения не охватывают весь спектр применяемых материалов. Так, при изготовлении трубных пучков теплообменного оборудования для холодильной и криогенной техники, а также ТА, контактирующих с морской водой (испарители холодильных машин морских судов и подводных лодок) применяются такие материалы как медь и медные сплавы.

В связи с этим, данные об оптимальном крутящем моменте для труб, выполненных из меди и ее сплавов в ГОСТ Р55601-2013 [1] не приводятся, а минимальные и максимальные усилия вальцовочного инструмента определяются экспериментально. При выборе неоптимального крутящего момента при развальцовке труб может быть не обеспечено требуемое значение остаточного давления прижатия трубы к стенке отверстия (контактного давления), способствующее образованию зазора между стенкой трубки и трубной решеткой, что в процессе эксплуата-

ции ТА может привести к нарушению герметичности соединения «труба – трубная решетка».

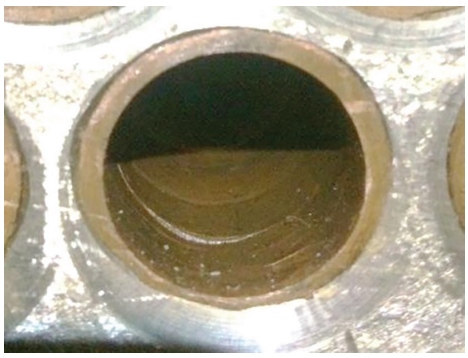
При анализе дефектов испарителей холодильных машин (ХМ) [2], трубные пучки которых выполнены из меди М3р, был выявлен ряд дефектов, представленных на *рисунке 1*.

Увеличение диаметрального зазора (см. *рисунок 1а*), предположительно вызванное недостаточной степенью развальцовки труб, привело к застаиванию теплоносителя в образованной щели, что в дальнейшем спровоцировало возникновение специфического дефекта в виде локальной деформации труб (*рисунок 1б*). В то же время установление большего усилия при развальцовке (перевальцовка) привело к подрезу теплообменной трубы на участке сопряжения материала трубы с кольцевой уплотнительной канавкой.



а)

б)



в)

Рис. 1. Примеры выявленных дефектов трубного пучка испарителя:
а) увеличение диаметрального зазора;
б) локальная деформация труб; в) подрез трубы по первой кольцевой уплотнительной канавке

Таким образом, нарушение технологии изготовления в совокупности с эксплуатационными факторами может способствовать накоплению повреждений, приводящих к деформации и разрушению теплообменных труб и отказу ТА.

Решением данной проблемы может являться применение современных расчетно-аналитических методов на этапе разработки конструкторской документации на вновь изготавливаемые ТА.

В настоящее время, в связи с увеличением вычислительных мощностей ПЭВМ, широкое распространение, при решении различных инженерных задач, в том числе в области механики деформируемого твердого тела, получил метод конечных элементов (МКЭ).

Область применения МКЭ весьма обширна и охватывает все физические процессы и задачи, которые могут быть описаны дифференциальными уравнениями. Суть МКЭ основана на аппроксимации исследуемого непрерывного объекта (деталь, материал) или непрерывной величины (температура, напряжение, перемещение), дискретной моделью, разбитой на некоторое число подобластей конечных размеров – конечных элементов (КЭ), связанных между собой в узловых точках. Вид аппроксимирующей функции для каждого из КЭ задается отдельно (в простейшем случае это полином первого порядка), а значение неизвестной непрерывной величины находится как совокупность значений аппроксимирующих функций в узлах КЭ.

В настоящее время для повышения эффективности конечно-элементного моделирования разработан целый комплекс специализированного программного обеспечения для расчета, анализа и симуляции физических процессов (CAE), наиболее известными из которых являются ANSYS, CompositePro, ABAQUS, Nastran, DEFORM-3D.

В данной статье рассмотрена возможность применения прикладных CAE-программ с целью получения данных об изменении свойств материалов при проведении развальцовки теплообменных труб выполненных из меди в отверстия трубных решеток ТА.

Постановка задачи исследования

Целью исследования является:

1) анализ напряженно-деформированного состояния материала трубы после проведения развальцовки;

2) определение оптимального усилия вальцовочного инструмента, обеспечивающего требу-

емое контактное давление соединения трубы с трубной решеткой.

В соответствии с поставленной целью было проведено численное моделирование в программном комплексе с использованием решателей ABAQUS/EXPLICIT и ABAQUS/STANDARD, включавшее 2 этапа:

На 1 этапе проводилось исследование закономерностей распределения напряжений в материале трубы, выполненной из меди марки М3р. С этой целью было проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния теплообменной трубы при ее развальцовке в отверстие трубной решетки ТА с тремя кольцевыми уплотнительными канавками. Подобное исследование, однако, с учетом 2-х уплотнительных канавок, было ранее описано в работе [3].

На втором этапе проведена оценка распределения контактного давления соприкасания трубы и решетки по глубине вальцевания, которая позволила определить оптимальное значение крутящего момента роликовой вальцовки.

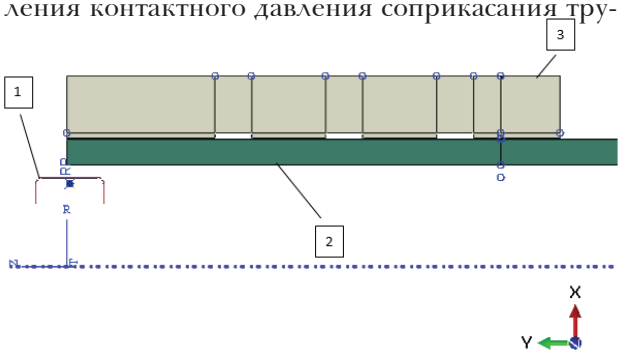


Рис. 2. Конечно-элементная модель соединения труба-трубная решетка:

1 – ролик вальцовки, 2 – медная труба,

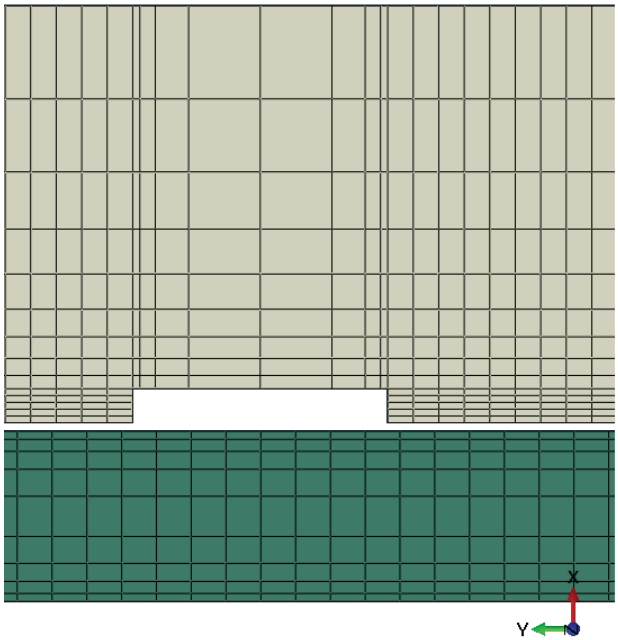


Рис. 3. Качество сетки на деформируемых телах.

Результаты исследований и их обсуждение

Конечно-элементная модель соединения трубы с трубной решеткой (*рисунок 2*) была построена с учетом следующих исходных данных:

- длина ролика вальцовки l=5,5 мм;
- ширина ролика b=2 мм;
- наружный диаметр трубки d=20 мм;
- толщина стенки трубки s=2 мм;
- длина трубки L=65 мм;
- внутренний диаметр отверстия трубной решетки D=20,2 мм;
- толщина трубной решетки S=40 мм.

Расположение кольцевых уплотнительных канавок в соответствии со схемой, представленной на *рисунке 2*.

Развальцовка проводилась на глубину $L_в$=35 мм. Материал ролика – сталь ШХ15 с пределом текучести $\sigma_{0,2}$=1670 МПа, материал трубной решетки – сталь 12Х18Н10Т с $\sigma_{0,2}$=210 МПа, труба выполнена из меди марки М3р с $\sigma_{0,2}$=65 МПа. Модули упругости E материалов были приняты равными $2{,}1\cdot10^5$, $1{,}98\cdot10^5$ и $1{,}1\cdot10^5$ МПа, соответственно. За начало оси координат принята торцевая левая сторона трубной решетки.

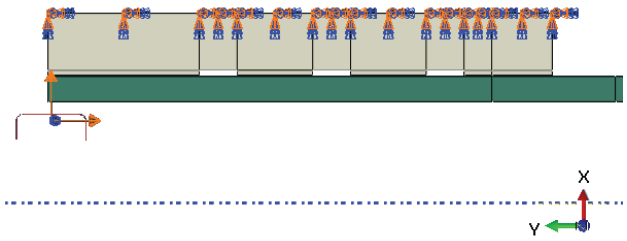


Рис. 4. Граничные условия

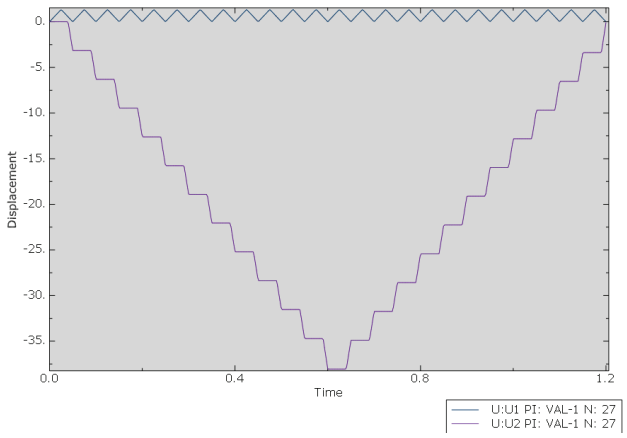


Рис. 5. Движение ролика вальцовки при проведении развальцовки:
перемещения по оси X, мм;
перемещения по оси Y, мм

Разбиение деформируемых тел было подобрано таким образом, чтобы минимизировать количество элементов в не рабочей зоне и увеличить их в зоне максимальных деформаций. Качество сетки конечных элементов представлено на *рисунке 3*.

К трубной решетке были приложены следующие граничные условия по внешней поверхности (*рисунок 4*): запрет на перемещение по оси X и Y. Медная трубка закреплена по оси Y с внутренней стороны теплообменника. К ролику вальцовки приложен график (*рисунок 5*), определяющий его перемещения по осям X и Y.

После дискретизации модели было проведено моделирование процесса вальцевания с крутящим моментом 1 Н•м и параметрами движения ролика, представленными на *рисунке 5*.

Анализ напряженно-деформированного состояния трубы после последнего шага вальцовки (см. *рисунок 6*) показал, что наибольшие остаточные напряжения в материале трубы распределены в зоне остановки ролика вальцовки, где происходит переход от деформированного участка к недеформированному.

Аналогичные результаты были получены в работах [3,4], что еще раз подтверждает предположение о том, что концентрация наибольших эквивалентных напряжений в конечной части переходной зоны связана с остановкой ролика вальцовки и переключения на реверс при извлечении из трубной решетки, в результате чего материал в переходной зоне испытывает дополнительные окружные напряжения [3]. Полученные результаты целесообразно учитывать при дальнейшей эксплуатации ТА, в трубных пучках которых возможно возникновение дополнительных растягивающих напряжений, так как это может ускорить разрушение на данном участке.

На втором этапе было определено контактное давление (P_0) по глубине вальцевания. Анализ показал, что среднее значение контактного давления составило 21 МПа, что в целом удовлетворяет требованию ГОСТ Р55601-2013. Однако, как видно из графика, представленного на *рисунке 7*, распределение P_0 характеризуется существенной неоднородностью, что предположительно связано с тем, что перемещение ролика

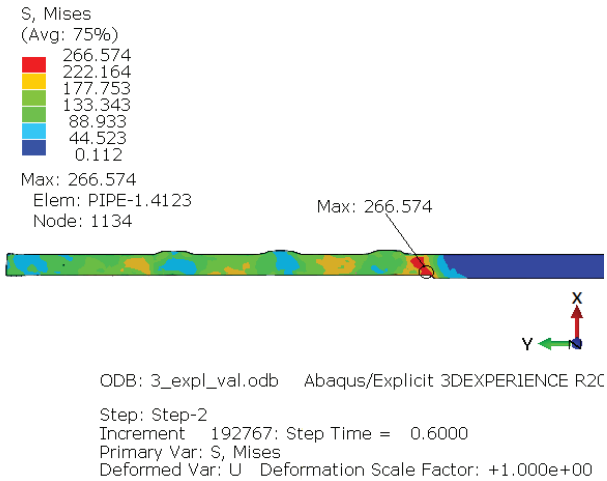


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений в материале трубы после последнего шага вальцовки

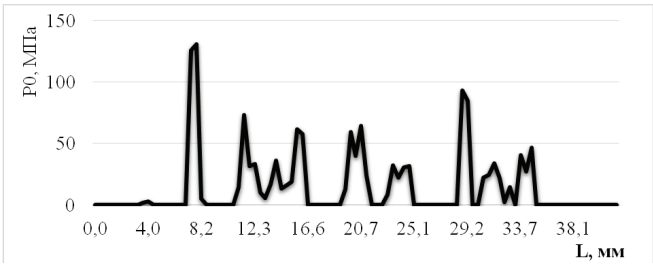


Рис. 7. График распределения контактного давления соприкасания трубы и решетки по глубине вальцевания

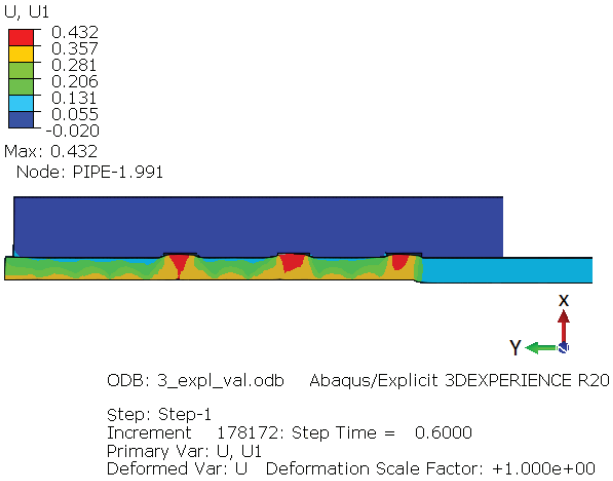


Рис. 8. Магнитуда перемещения по оси X

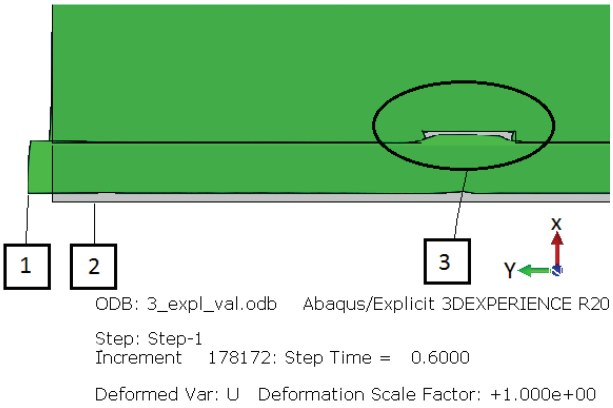


Рис. 9. Укрупненный участок первой кольцевой уплотнительной канавки: 1 – материал трубы после развальцовки; 2 – материал трубы до развальцовки; 3 – «затекание» материала трубы в канавку трубной решетки

вальцовки по поверхности деформируемой трубы было задано принудительно, что не совсем адекватно реальным условиям.

Тем не менее, анализ полученных магнитуд перемещения материала деформируемой трубы по X и детальное рассмотрение участков кольцевых уплотнительных канавок (см. *рисунки 8,9*) позволяет сделать вывод о том, что при выборе крутящего момента равного 1 Н•м достигается требуемая степень развальцовки, о чем свидетельствует «затекание» материала трубы в кольцевые уплотнительные канавки.

Заключение

По результатам проведенного численного моделирования целесообразно сделать вывод о том, что применение МКЭ для оценки надежности вальцовочных соединений, позволяет проводить предварительную оценку напряженно-деформированного состояния материала труб при различных скоростях перемещения и крутящем моменте вальцовочного инструмента, что в целом способствует осуществлению выбора оптимальных параметров развальцовки без проведения (или существенно сократив) натурные экспериментальные исследования.

Полученные результаты предложено учитывать на этапе разработки конструкторской и технологической документации на вновь изготавливаемые теплообменные аппараты.

Литература

1. ГОСТ Р 55601-2013 Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2014. 49 с.
2. Спирягин В.В. Анализ технического состояния металлоконструкций систем охлаждения ракетной техники, способов оценки и продления сроков их службы / Материалы VII Международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов», 2017. С.743-745.
3. Меделяев И.А., Спирягин В.В., Кончаков Н.И., Кобзев И.В. Исследование напряженно-деформированного состояния медных труб при их развальцовке в отверстия трубных решеток теплообменных аппаратов и воздействии эксплуатационных нагрузок // Сборка в машиностроении, приборостроении, 2019. Т.20. № 3. С.134-141.
4. Меделяев И.А., Спирягин В.В., Кончаков Н.И., Кобзев И.В. Численное моделирование процесса деформации теплообменных труб под действием внешней распределенной нагрузки // Сборка в машиностроении, приборостроении, 2019. Т.20. № 5. С. 231-235.
5. Газитуллин А.А. Численное моделирование процесса развальцовки трубы в трубной решетке теплообменника / А.А. Газитуллин, Р.Г. Ризванов, Г.Ф. Хабирова // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2006. №2. С.78.

УДК 621.3

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ, ПОДВЕРГАЮЩЕЙСЯ ВИБРАЦИИ

RELIABILITY ANALYSIS METHODS OF ELECTRONIC EQUIPMENT SUBJECTED TO VIBRATION

Геннадий Алексеевич Гордеев
начальник управления
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8(4967)35-31-93
E-mail: sng@iifmail.ru

Алина Сергеевна Пономарёва
кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: sng@iifmail.ru

Василий Викторович Попов
начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: sng@iifmail.ru

Николай Владимирович Смирнов
начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: sng@iifmail.ru

Аннотация

В статье обсуждаются методы анализа надежности, применяемые к радиоэлектронной аппаратуре, подвергающейся вибрации. При оценке надежности электронного изделия предполагается построение математической модели надежности, анализ вариантов размещения компонентов на плате, проведение тестовых и эксплуатационных испытаний. Для прогнозирования надежности используется комплексный подход. В статье приводятся примеры компьютерного анализа собственных частот отдельных печатных плат с разными вариантами закрепления внутри аппаратуры.

Ключевые слова: печатная плата, радиоэлектронная аппаратура, анализ надежности, собственная частота, деформация платы, математическая модель надежности, анализ на собственные частоты.

Summary

This article discusses reliability analysis methods applied to electronic equipment subject to vibration. The process of reliability prediction is proposed to build a mathematical model of reliability, analyze components location on the board, conduct laboratory simulation and operational tests. An integrated approach is used to predict reliability. The article provides examples of computer analysis of natural frequencies for the given PCB design.

Keywords: Printed Circuit Board (PCB), electronic equipment, reliability analysis, natural frequency, PCB deformation, mathematical model of reliability, natural frequency computer analysis.

Существующие методы прогнозирования надежности РЭА

При проектировании радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) важное значение имеет процесс прогнозирования надежности. Известно, что большинство отказов в электронном оборудовании связано с тепловыми нагрузками на элементы. В данной статье основное внимание уделяется отказам элементов РЭА, происходящим в процессе эксплуатации оборудования или при транспортировке под действием вибрации или ударов.

Фоновые ударные и вибрационные нагрузки, накладываемые на печатные платы в процессе эксплуатации, вызывают возникновение напряжения на подложке, электронных элементах, выводах компонентов и паяных соединениях. Напряжения являются реакцией печатной платы на приложенные к ней изгибающие моменты и силы инерции массы электронных компонентов. В процессе эксплуатации подобные напряжения могут вызывать, в частности, следующие повреждения: расслоение печатной платы, разрушение паяного соединения или выводов проводников компонентов.

Характер повреждения зависит от физических свойств печатной платы, частоты и амплитуды изгибающих моментов, жесткости и массы припаянных к плате компонентов и других факторов. Известно, что расположение элементов на печатной плате, имеющих разную массу и геометрические размеры, изменяет локальную вибрационную нагрузку. На надежность электронного изделия также влияет человеческий фактор. Учесть все многообразие входных данных и их сложные комбинации практически невозможно, поэтому универсальный метод прогнозирования надежности РЭА еще не создан.

В настоящее время в литературе выделяют четыре метода прогнозирования надежности РЭА[1]: метод справочных данных, метод тестовых данных, метод эксплуатационных данных и метод, основанный на анализе физических причин отказа, или метод компьютерного моделирования. Кратко опишем сущность каждого из них.

Метод справочных данных

Самым ранним методом прогнозирования надежности, разработанным еще в 1960-х годах, является так называемый справочный метод на основе математических моделей интенсивностей отказов. В этом методе применяется база данных интенсивностей отказов электронных компонентов, разделенных на типы: интегральные микросхемы, полупроводниковые приборы, изделия квантовой электроники и другие. Интенсивности отказов используются в математической модели, в результате чего определяются показатели надежности: среднее время службы, наработка на отказ, вероятность безотказной работы и другие. Способы построения математических моделей изложены, например, в [2]. Кратко опишем построение математической модели надежности.

Математическая модель надежности

Математическая модель надежности строится с учетом справочных данных об интенсивностях отказов компонентов РЭА. Для конкретного электронного изделия создается структурная схема расчета надежности, согласно которой определяется, как, с точки зрения надежности, соединены электронные блоки в изделии: последовательно или параллельно.

Далее считается, что каждое электронное устройство в составе электронного блока состоит из невосстанавливаемых, последовательно соединенных элементов РЭА. Для N невосстанавливаемых независимых элементов, содержащихся в электронном блоке, вероятность безотказной работы (ВБР) P за заданное время t равна произведению ВБР $p_i(t)$ каждого i-го элемента, $i=1..N$:

$$P(t) = \prod_{i=1}^{N} p_i(t).$$

Общепринятым считается, что ВБР каждого элемента распределена по экспоненциальному закону:

$$p_i(t) = e^{-\int_0^t \lambda_i(x)dx},$$

где $\lambda_i(x)$ – интенсивность отказов для i-го элемента РЭА, в общем случае зависящая от времени.

Электронные устройства эксплуатируются в период нормальной работы, когда этап приработки уже закончился, а этап старения еще не наступил. Считается, что $\lambda_i(x)$ для i-го элемента – величина постоянная. Тогда ВБР для i-го элемента РЭА вычисляется следующим образом:

$$p_i(t) = \exp(-\lambda_i t),$$

где λ_i – стационарная интенсивность отказов для i-го элемента РЭА. ВБР для N последовательно (в контексте надежности) соединенных элементов РЭА в составе любого электронного блока A преобразуется к виду:

$$P_A(t) = \exp(-\lambda_A t), \quad (1)$$

где

$$\lambda_A = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i .$$

На основе формулы (1) с учетом элементарных сведений из теории вероятностей строится математическая модель расчета надежности. Средняя наработка на отказ согласно модели из [2] вычисляется по формуле

$$T_{CP} = \int_0^{\infty} P(t)dt . \quad (2)$$

Средний срок службы определяется из формулы (2) с учетом коэффициента интенсивности эксплуатации.

Недостатки метода справочных данных

Обычно в математической модели предполагается, что интенсивность отказов электронного устройства при вибрации не зависит от расположения компонентов на печатных платах и способах закрепления плат внутри изделия. Известно, кроме этого, что данные в справочниках становятся все более устаревшими, в них не вносятся новые компоненты. Используемый в расчетах справочник по надежности компонентов РЭА [3] не обновлялся с 2006 года.

Исходя из этого, делается заключение: метод справочных данных при анализе надежности может применяться только на ранних этапах проектирования изделия: этапах эскизного или технического проектов. Таким образом, данный метод по своей сути дает недостоверное представление о механической надежности электронного изделия в процессе эксплуатации и

должен использоваться только в качестве проектного.

Метод тестовых данных

В методе тестовых данных проверке надежности подвергается прототип предлагаемой конструкции электронного изделия или отдельной печатной платы. В испытательной лаборатории моделируются условия вибрационной среды, задаются тип, уровень и частота входного сигнала, затем анализируются показатели надежности. Главным преимуществом тестового метода является достоверность результатов, поэтому для оборудования с повышенными требованиями к надежности заключительный этап проектирования должен включать испытание на вибропрочность [1]. Недостатками данного метода оценки надежности являются длительное время изготовления и высокая стоимость опытного образца для тестирования. В лаборатории опытный образец может быть подвергнут ускоренным испытаниям, по результатам которых косвенно оценивается предполагаемый срок службы электронного изделия. Однако известно, что ускоренные вибрационные испытания могут не давать достоверной картины надежности изделия. Длительная вибрационная нагрузка высокой частоты и низкой амплитуды приводит к появлению усталостных разрушений, учесть которые при ускоренных вибрационных испытаниях невозможно.

Метод эксплуатационных данных

В данном методе формируется база данных об отказах аналогичных конструкций изделия, которые были зафиксированы при эксплуатации в условиях вибрации. Анализируются неисправности оборудования в режиме основной работы, и находится среднее время до отказа определенной конструкции изделия в сборе с конкретными печатными платами. Очевидно, что для реализации этого метода требуется длительный период сбора данных. Метод является достоверным только для аналогичных проектируемому изделию печатных плат, испытывающих вибрационные нагрузки, при которых произошел отказ. Таким образом, для использования данного метода должны существовать данные об отказах аналогичного оборудования.

Метод компьютерного моделирования

В этом методе [1] сначала рассчитывается общий отклик печатной платы либо аналитически, либо в процессе компьютерного моделирования. Затем теоретические результаты подтверждаются данными лабораторных испытаний. В компьютерном моделировании обычно используются подробные или упрощенные конечно-элементные (КЭ) модели с использованием реальной геометрии и физических свойств электронных компонентов и печатной платы.

В упрощенной КЭ модели моделируется пустая печатная плата с увеличенными массой и жесткостью, соответствующими припаянным электронным компонентам. При таком моделировании можно спрогнозировать общую «размытую» реакцию печатной платы на вибрационную нагрузку.

При подробном моделировании рассматривается заполненная печатная плата с разной степенью детализации. В работе [4] приводится пример компьютерного моделирования вибрационных испытаний заполненной платы. В статье [1] даются рекомендации по проведению подробного КЭ моделирования:

- печатная плата должна содержать на себе не менее 90% вибрирующей массы;
- если отклонения платы при вибрации сопоставимы с толщиной, надо использовать нелинейный анализ конструкции;
- небольшие ошибки в расположении компонентов на плате могут вызвать большие ошибки в измерении отклика платы;
- точность измерения отклика более чувствительна к ошибкам в массе, чем жесткость;
- граничные условия закрепления платы имеют гораздо большее значение, чем добавленная масса компонента или жесткость;
- кромка платы не должна моделироваться как жестко зажатая, так как даже самые жесткие механизмы зажима печатной платы не обеспечивают нулевое смещение кромки;
- для улучшения прогноза отклика платы при резонансе необходимо использовать экспериментально определенные коэффициенты демпфирования.

Таким образом, ошибки в моделировании расположения компонентов, их массы и жесткости, коэффициентов демпфирования платы, а также в установлении граничного условия кромки платы приводят к большим ошибкам в прогнозировании величины отклика платы. Модифицирование и разные комбинации входных данных изменяют вибрационный отклик платы в сторону увеличения собственной частоты и уменьшения амплитуды (при жестком закреплении, уменьшении массы, увеличении жесткости платы) или в сторону уменьшения собственной частоты с увеличением амплитуды (при наличии возможности вращения кромки платы, уменьшении жесткости, увеличении массы).

Обзор литературы в [1] позволяет сделать следующие выводы относительно использования методов компьютерного моделирования:

- компоненты на краях печатной платы и в центре имеют разные вероятности отказа;
- локальный отклик платы (напряжение, деформация) более значимы для определения вероятности отказа компонентов, чем собственные частоты платы.

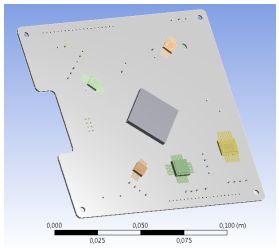
Таким образом, компьютерное моделирование позволяет определить места на плате с наибольшими напряжениями и деформациями. В случае опасных для работы изделия напряжений или ускорений, полученные результаты используются в дальнейшем для упрочнения платы за счет дополнительного закрепления.

Нахождение собственных частот и отклика печатной платы с помощью компьютерного моделирования

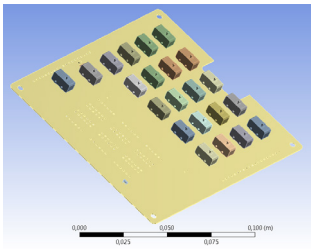
В качестве примера расчета собственных частот и деформаций для оценки надежности электронного изделия рассматриваются две конкретных печатных платы с расположенными на них кнопочными переключателями, резисторами, микросхемами и прочими элементами РЭА (*рисунок 1*).

С помощью конечно-элементного пакета программ Ansys Workbench (бесплатная версия Free Ansys Student) проводится компьютерное моделирование вибрационного воздействия на отдельную печатную плату. Определяются собственные частоты и отклик платы.

При моделировании задаются физические свойства компонентов [5]. Для элементов РЭА используется нитрид кремния, для печатной платы – стеклотекстолит, для прокладок микросхем – слюда, для соединительных элементов – нержавеющая сталь. В компьютерном расчете применяется упрощенный вид элементов РЭА, также часть элементов удаляется из-за их незначительных размеров и массы. При моделировании выяснилось, что незначительное изменение общей массы платы с припаянными к ней элементами практически не изменяет значение собственных частот. В проведенных компьютерных расчетах массы упрощенных печатных плат с припаянными элементами РЭА были равны примерно 165 г (плата 1) и 112 г (плата 2).



Вид платы 1



Вид платы 2

Рис. 1. Пример двух печатных плат с упрощенными элементами РЭА для компьютерного моделирования

В качестве граничных условий для платы 1 задается закрепление на 4-х винтах (по углам) и специальными стяжками по длинным боковым сторонам в варианте №1, а также дополнительное закрепление в центре платы 1 в варианте №2. На *рисунках 2, 3* приводятся результаты расчета деформации на плате 1 с 2-мя вариантами закрепления.

Из результатов расчетов платы 1 с вариантами № 1, 2 закрепления следует, что в условиях сильной вибрации при транспортировке и эксплуатации желательно дополнительно закреплять печатную плату в центре. Видно также, что при дополнительном закреплении собственные частоты платы увеличились, следовательно, амплитуды собственных колебаний уменьшились.

Конкретные величины деформаций и напряжений в данном случае не важны, так как производился модальный расчет на собственные частоты, а не расчет отклика платы на заданное вибрационное воздействие.

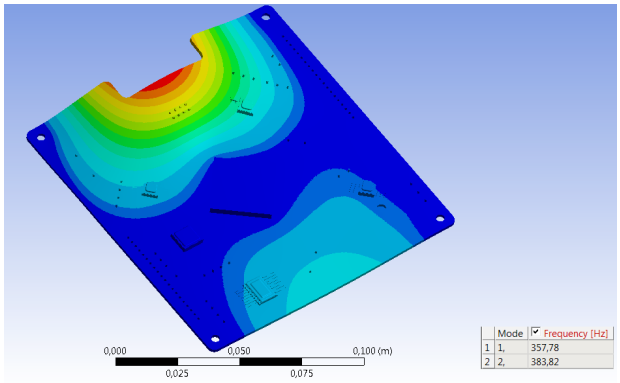


Рис. 2. Деформации печатной платы 1 (вариант №1 закрепления)

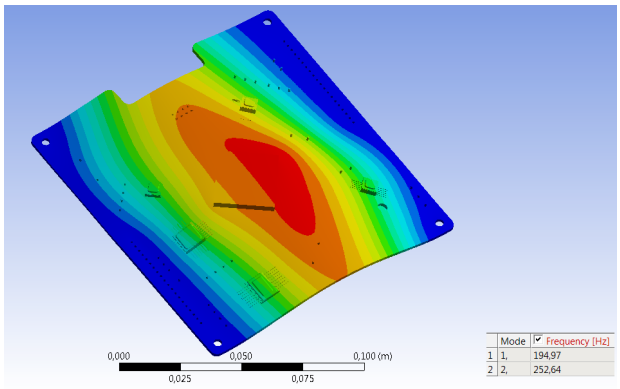


Рис. 3. Деформации печатной платы 1 (вариант №2 закрепления)

Как указано в работах [1,4], на значения резонансных частот влияет множество факторов, при изменении которых частоты собственных колебаний меняются существенно. Однако при расчетах вибрационного воздействия, особенно случайных вибраций в заданном диапазоне частот, основное внимание уделяется распределению напряжений и деформаций на плате. Благодаря проведенным расчетам можно узнать наиболее уязвимые участки платы, чтобы потом, при необходимости, внести изменения в размещение электронных компонентов или в дополнительные закрепления платы.

Таким образом, как указано в [4], при моделировании вибраций сложной системы обычно нельзя однозначно сказать, насколько точно указаны частоты резонансов. При случайной вибрации происходит постоянная смена частоты колебаний, поэтому высокочастотный резонанс отдельной платы не будет значительно отражаться на деформации изделия. Гораздо важнее знать места изгибов платы, чтобы, по возможности, упрочнить их и, тем самым, повысить надежность электронного изделия.

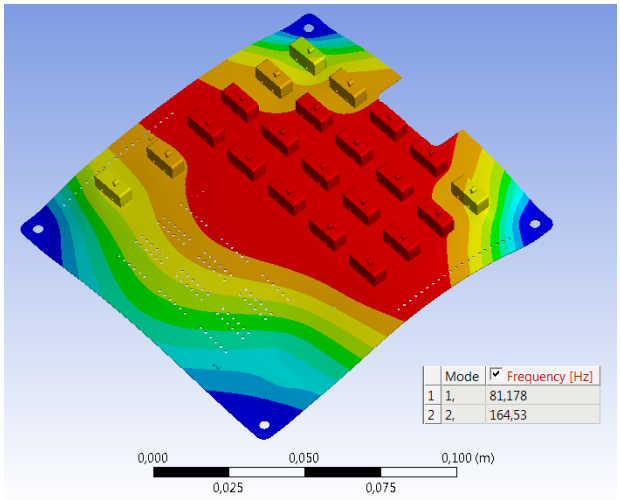


Рис. 4. Деформации печатной платы 2 (вариант №1 закрепления винтами по 4-м углам)

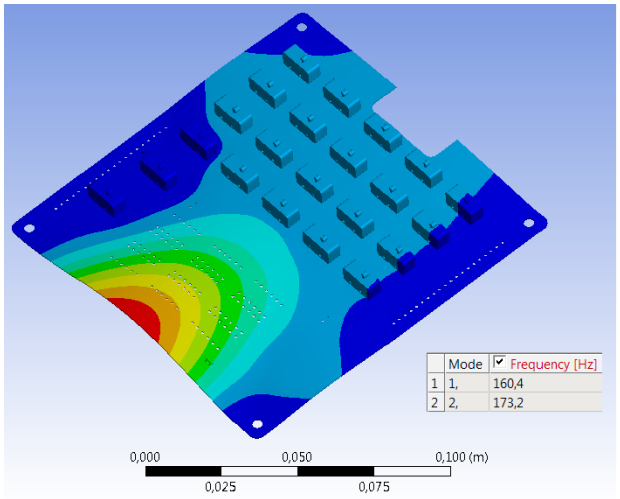


Рис. 5. Деформации печатной платы 2 (вариант №2 закрепления винтами по 4-м углам и специальной стяжкой по бокам)

В рассматриваемом примере (*рисунок 2*) печатная плата 1 была упрочнена за счет дополнительного крепления в центре (*рисунок 3*). Таким образом, повышена надежность электронного изделия.

Рассмотрим другой пример.

Проводится расчет собственных частот печатной платы 2, закрепленной 4-мя винтами по углам (вариант №1 закрепления), а также дополнительно специальными стяжками по двум длинным боковым сторонам платы 2 (вариант №2 закрепления). Рассчитанные поля деформации при двух вариантах закрепления представлены на *рисунках 4, 5*.

Для упрочнения платы 2 было произведено дополнительное закрепление специальными стяжками по длинным боковым сторонам платы. Рассчитанные в результате дополнительного закрепления (вариант № 2) деформации представлены на *рисунке 5*.

При дополнительном закреплении (вариант №2) увеличились на плате 2 значения собственных частот и, следовательно, уменьшились амплитуды колебаний.

Из результатов компьютерных расчетов следует, что дополнительные закрепления печатных плат, особенно в местах предполагаемых наибольших деформаций, приводит к увеличению собственных частот, уменьшению амплитуды колебаний и изгибов платы, что в конечном итоге способствует повышению надежности электронного изделия.

Заключение

При оценке надежности электронных изделий, подвергающихся вибрации в процессе эксплуатации или транспортировки, выделяют несколько методов. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Универсального метода прогнозирования надежности не существует.

Самый распространенный метод, использующий построение математической модели на основе справочных данных об интенсивности отказов типов электронных компонентов, обычно используется только на этапе проектирования или технического проекта. Этот способ не учитывает размещение элементов РЭА на плате, реальную жесткость платы, коэффициенты

демпфирования, длительность, вид вибрации и прочее. Таким образом, надежность оценивается без учета реальных условий эксплуатации, хотя в соответствующих математических моделях используются поправочные коэффициенты для типовых условий эксплуатации.

На этапе проектных испытаний и изготовления опытных образцов используются методы проверки надежности со сбором тестовых и эксплуатационных данных. Однако в случае новых разработок в используемой базе отказов компонентов будет мало данных, что не дает возможности оценить реальную надежность электронного изделия.

Метод моделирования физических причин отказов (называемый так в иностранной литературе) или метод компьютерного моделирования позволяет определить на этапе проектирования слабые места конструкции, проанализировать влияние компоновки электронного изделия и закрепления кромки платы на распределение деформаций и напряжений на плате. Уменьшение напряжений за счет изменения размещения электронных элементов на плате, дополнительные ребра жесткости и закрепления кромки платы повышают надежность электронного изделия.

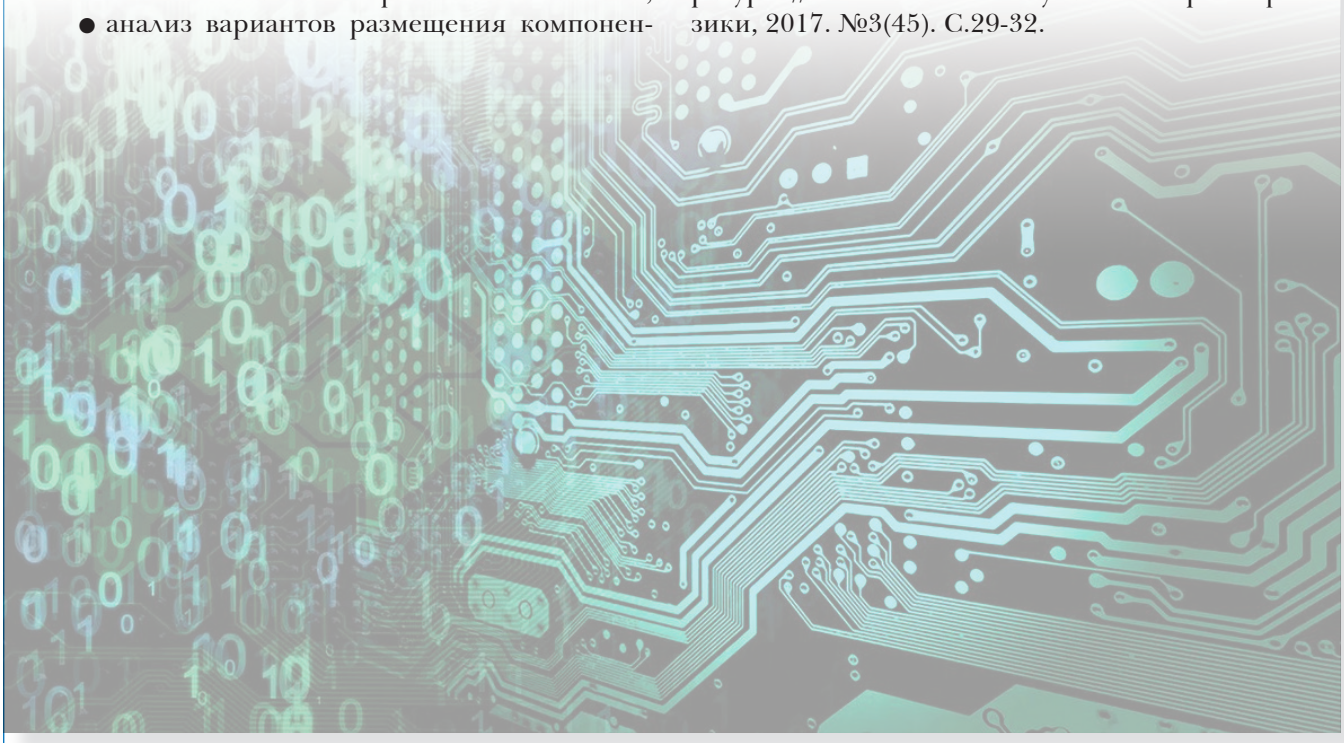
Таким образом, оценка надежности электронного устройства при эксплуатации или транспортировке в условиях вибрации предполагает следующее:

- построение математической модели надежности, использующей справочные данные об интенсивностях отказов электронных компонентов;
- анализ вариантов размещения компонентов на плате, а также способов упрочнения конструкции при помощи компьютерного моделирования;
- проведение тестовых испытаний в испытательной лаборатории с целью проверки выполнения требований к надежности изделия;
- учет данных эксплуатационных испытаний изделий аналогичной конструкции.

Заключаем, что для прогнозирования надежности электронного изделия в общем случае используется комплексный подход, сочетающий в себе варианты всех предложенных методов.

Литература

1. Robin Alastair Amya, Guglielmo S. Aglietta, Guy Richardson. Reliability analysis of electronic equipment subjected to shock and vibration – A review. // Shock and Vibration 16 (2009), p. 45–59, DOI 10.3233/SAV-2009-0453, IOS Press.
2. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем: учебное пособие для вузов. М.: Дрофа, 2008. 239 с.
3. Справочник. Надежность электрорадиоизделий. М.: МО РФ, 2006. 574 с.
4. Исаенко С.В. Анализ воздействия вибрационных нагрузок на манипуляционную систему космического назначения при выведении на ракете-носителе // Вісник НТУУ «КПП» Серія машинобудування, 2013. №2(68).
5. Гордеев Г.А., Букин А.Г., Попов В.В., Пономарева А.С. Вычислительное моделирование воздействия широкополосной случайной вибрации на модуль электронного устройства при проведении контрольных испытаний аппаратуры // Известия Института инженерной физики, 2017. №3(45). С.29-32.



УДК 006.91

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ АЗИМУТА

METROLOGICAL SUPPORT OF AZIMUTH MEASURING INSTRUMENTS

Николай Иванович Котов
кандидат технических наук, профессор
заместитель начальника НИУ-5
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93

Алексей Вадимович Костюков
инженер по метрологии I категории
метрологической службы
МОУ «ИИФ»

Александр Николаевич Фельдшеров
начальник отдела НИУ-5
МОУ «ИИФ»

Сергей Евгеньевич Чернышев
кандидат технических наук, доцент
главный метролог
МОУ «ИИФ»

Андрей Валентинович Яшин
старший специалист НИУ-5
МОУ «ИИФ»

Аннотация
Рассмотрены предложения по организации метрологического обеспечения средств измерений азимута, на которое в настоящее время отсутствует единая нормативная база.
Ключевые слова: средства измерений азимута, метрологическое обеспечение, эталоны, поверочная схема, геодезические и астрономические измерения.

Summary
Considered are proposals for organizing metrological support for azimuth measuring instruments, for which there is currently no single regulatory framework.
Keywords: azimuth measuring instruments, metrological support, standards, calibration scheme, geodetic and astronomical measurements.

Введение

Высокоточное азимутальное ориентирование широко применяется в таких областях прецизионных технологий, как:

- развитие государственной геодезической сети;
- поддержание точностных характеристик глобальных навигационных спутниковых систем;
- создание калибровочных полигонов для бортовой аппаратуры спутников дистанционного зондирования Земли;
- маркшейдерские работы;
- начальная выставка инерциальных навигационных систем подвижных объектов;
- военные области применения.

Во всех сферах используются по отдельности или в комплексе известные методы азимутального ориентирования и соответствующие измерительные приборы:

1. **Астрономический метод азимутального ориентирования.** Реализация данного метода основана на прямых измерениях местоположения небесных светил (звезд) в условиях «открытого (ясного) неба» с использованием астрономических теодолитов типа Вильд Т4 и АУ-01 [8].

В настоящее время принята на снабжение автоматическая система астрономического азимутального ориентирования (АСААО), разработанная МОУ «ИИФ» совместно с АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» [1].

Максимально достижимая точность астрономического метода характеризуется средним квадратическим отклонением (СКО) определения астрономического азимута 0.5».

2. **Геодезический метод.** Относится к методам косвенных измерений, в котором азимуты вычисляются по измеренным значениям приращений координат точек, закрепляющих требуемые направления. Данный метод получил широкое распространение после появления геодезической спутниковой навигационной аппаратуры (СКО измерения приращений координат не более, чем (3+1 L), где L – длина линии в км [12]) и отработки методик ее применения, обеспечивающих СКО определения азимута 0,5» [6].

3. **Гироскопический метод.** Обеспечивает автономное азимутальное ориентирование, по-

грешности которого определяются характеристиками применяемых гирокомпасов. Среди отечественных общепромышленных образцов (снятых с производства) в настоящее время применяются отечественный гирокомпас 15Ш29 (СКО 7,0») [7] и немецкие приборы GYROMAT 3000 и GYROMAT 5000 (СКО 3,5» и 2,6», соответственно) [10,11].

В военных областях применениях используются высокоточные средства автономного гироскопического ориентирования с СКО от 1,5» до 3,0» [3,5].

Достоверность измерений, перечисленных приборов и комплексов, подтверждается периодическим контролем их точностных характеристик в соответствии с ведомственными (локальными) инструкциями и стандартами, не взаимосвязанными между собой [2-5,13].

Таким образом, основная проблема метрологического обеспечения средств измерений азимута – отсутствие единого подхода к поверкам этих средств измерений, что противоречит требованиям единства измерений в стране. Данное обстоятельство определяет актуальность создания единого комплекса метрологического обеспечения средств измерений азимута.

Постановка задачи

Сложившаяся проблема метрологического обеспечения определяется, в том числе, и следующими объективными факторами:

- различными принципами построения и функционирования перечисленных выше приборов, устройств и комплексов;
- широкий диапазон точностных характеристик приборов определения азимута (СКО от десятых долей до единиц угловых секунд);
- отсутствие утверждение типа средств измерений (СИ) азимута для абсолютного большинства приборов и устройств.
- существующая спутниковая геодезическая аппаратура космических навигационных систем (СГА КНС), как правило, относится к средствам измерений координат (приращений координат) утвержденного типа, в описании которого отсутствует задача измерения азимута заданного направления [12];
- для единичных гироскопических приборов азимутального ориентирования (в основном иностранного производства типа GYROMAT) утвержден тип СИ, в описании которого основным средством поверки указаны пункты эталонного астрономо-геодезического полигона с пределом допускаемой погрешности астрономических азимутов ±1» [10,11];
- создание, а самое главное поддержание стабильности, эталонного астрономо-геодезического полигона с пределом допускаемой погрешности астрономических азимутов ±1» достаточно сложная задача, как с технической, так и с методической точек зрения в связи с отсутствием высокоточных астрономических приборов (типа Вильд Т4) с действующими сроками эксплуатации
- технические характеристики, приведенные в документации на гироплатформы геодезические относятся к лабораторным условиям, что делает затруднительным их подтверждение в полевых условиях [10];
- процедуры контроля точностных характеристик азимутальных устройств с измерительными функциями определяются предприятиями – разработчиками практически по своему усмотрению.

Реальный путь решения описанной проблемы – создание единого комплекса средств метрологического обеспечения средств измерений азимута (КСМО СИА), а в дальнейшем на его основе первичного специального эталона (ПСЭ) для воспроизведения и хранения единицы астрономического азимута при азимутальном ориентировании заданных направлений и ее передачи с помощью рабочих эталонов (переносчиков азимута) рабочим средствам измерений.

Требования к комплексу средств метрологического обеспечения средств измерений азимута

Различия в структурах и параметрах моделей погрешностей приборов и устройств измерений азимута обуславливают следующие требования к КСМО СИА:

- комплексная структура построения, включающая средства измерений азимута различного принципа действия, располагаемых как в лабораторных, так и в полевых условиях;
- наличие высокостабильного хранителя азимутальных направлений, конструкция и размещение которого обеспечивает, как измерение азимутальных направлений различными измерительными средствами, так и передачу единицы азимута рабочим эталонам (гироскопическим переносчикам азимута) в лабораторных условиях;
- наличие азимутального миниполигона, элементы которого образуют на местности геодезический треугольник с ограниченными по расстоянию сторонами (не более 500 м из-за ограничений в вопросах землепользования), базисные линии которого являются носителем единицы астрономического азимута с целью ее передачи средствам измерения азимута в полевых условиях;

● возможность передачи направлений от базисных линий азимутального миниполигона на хранитель азимутальных направлений и наоборот;

● наличие вспомогательного оборудования, обеспечивающего требуемые условия размещения и функционирования средств измерений;

В состав КСМО СИА должно входить автоматизированное рабочее место, обеспечивающее решение следующих основных задач:

а) оптимальная обработка избыточной измерительной информации полученной от разных средств измерений с целью уравнивания параметров азимутального миниполигона;

б) оценка стабильности сформированных опорных направлений по результатам вновь проведенных измерений;

в) хранение результатов измерений и вычислений в совокупности со служебной информацией в специальной базе данных вычислительного комплекса;

д) документирование результатов передачи единицы азимута переносчикам азимута.

Состав и устройство комплекса средств метрологического обеспечения средств измерений азимута

Схема расположения элементов комплекса средств метрологического обеспечения средств измерений азимута приведена на *рисунке 1*.

Основным техническим средством для воспроизведения азимута направления являются зеркальные грани четырехгранной призма оптического хранителя азимутальных направлений (ОХАН), который монтируется на фундаменте 2. Астрономический азимут нормалей к граням оптической призмы определяют с использованием различных средств измерений.

Автоматическая система астрономического азимутального ориентирования, основной прибор которой – астровизир (АВ) установлен на фундаменте Ф1, в автоматическом режиме определяется азимут нормали к внутренней грани.

Оператор с использованием электронного тахеометра, устанавливаемого для работы на фундаменте Ф3 (астрономическом пункте – АП), определяет азимут нормали внешней грани призмы, по результатам угловой передачи направлений от линейных базисов Ф3-Ф4 и Ф3-Ф5.

Исходные азимуты линейных базисов Ф3-Ф4 и Ф3-Ф5 определяются заблаговременно по результатам оптимальной обработки значений следующих измерений:

● геодезических азимутов направлений линейных базисов азимутального миниполигона по результатам измерений координат (приращений координат) СГА КНС;

● составляющих уклонений отвесной линии (УОЛ) на геодезическом пункте ГП 1 с целью формирования поправки Лапласа для перехода от геодезических азимутов к астрономическим;

● астрономических азимутов направлений линейных базисов азимутального миниполигона (АМП), измеренных оператором астрономическим теодолитом с астропункта;

● длин сторон геодезического треугольника и его внутренних углов, измеренных оператором с использованием электронного тахеометра.

Оптимальная обработка избыточной измерительной информации должна обеспечить погрешность (СКО) определения астрономическо-

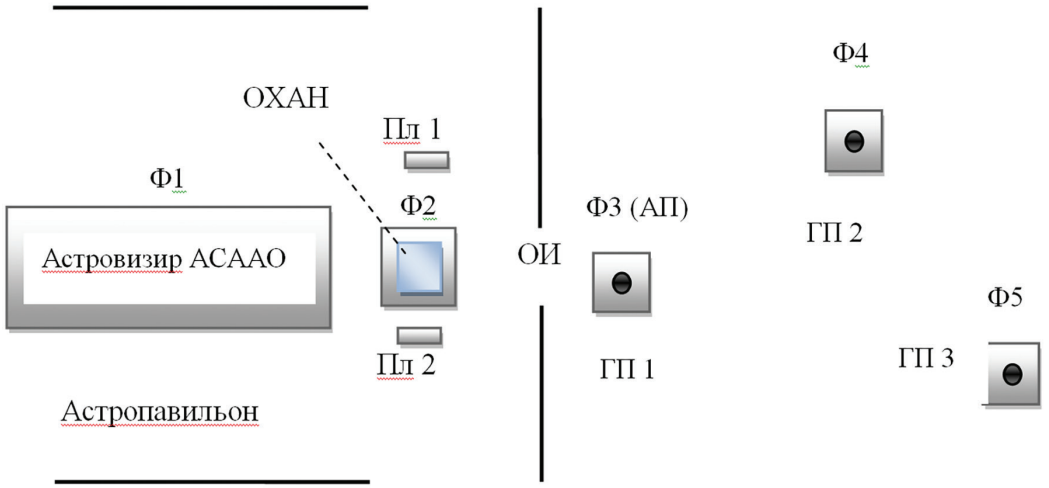


Рис. 1. Схема расположения элементов КСМО СИА:
Ф1,Ф2,Ф3,Ф4,Ф5 – фундаменты; АСААО – автоматическая система астрономического азимутального ориентирования; ОХАН – оптический хранитель азимутальных направлений; Пл-1,Пл-2 – платформы для установки эталонов-переносчиков; ОИ – оптический иллюминатор; ГП 1,ГП 2,ГП 3 – геодезические пункты; АП – астрономический пункт

го азимута нормалей к граням призмы ОХАН на уровне 0,5» [4].

Заключение

Многообразие средств измерений азимута на сегодняшний день «выпадает» из системы требований единства измерений.

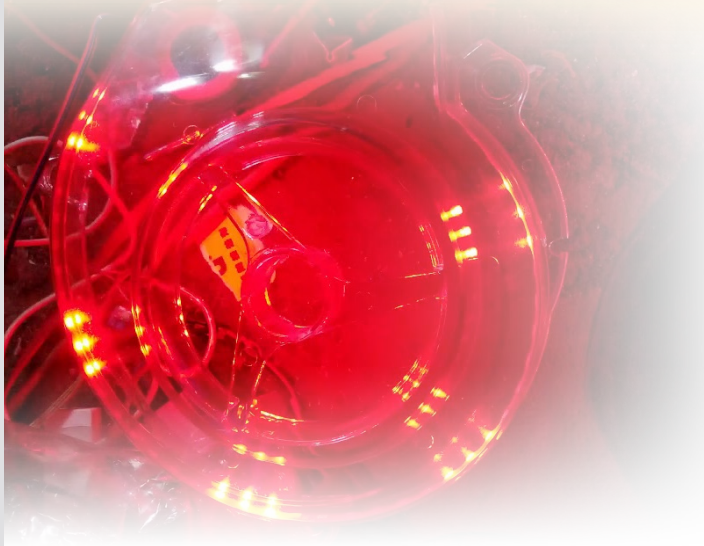
Создание первичного специального эталона, обеспечивающего передачу единицы азимута различным средствам измерений, возможно на основе комплексной структуры его построения с использованием оптимальной обработки избыточной измерительной информации.

В дальнейшем необходимо обеспечить решение следующих задач:

- обосновать требования к метрологическим характеристикам отдельных приборов и систем;
- разработать предложения в проект поверочной схемы для средств измерений азимута;
- разработать методики измерений геодезических параметров элементов КСМО СИА;
- разработать алгоритмы обработки измерительной информации;
- разработать предложения по составу и содержанию испытаний отдельных средств измерений с целью утверждения их типа.

Литература

1. Гайворонский С.В, Беркович С.Б., Котов Н.И., Махаев А.Ю., Садеков Р.Н., Цодокова В.В. Автоматическая система определения астрономического азимута // Метрология. Ежеквартальное приложение к научно-техническому журналу «Измерительная техника», 2015. №1. С.11-20.
2. Козак И.В. Метрологическое обеспечение средств измерений азимута в Вооруженных Силах Российской Федерации / И.В. Козак, В.М. Иванов, В.Л. Шпонкин// Сборник докладов и выступлений на III военно-научной конференции «Пути повышения эффективности топогеодезического и навигационного обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. М.: Изд-во ВТУ Генерального штаба ВС РФ, 2019.
3. Котов Н.И. Применение автоматической системы определения астрономического азимута для калибровок высокоточных гироскопических приборов азимутального ориентирования / Н.И. Котов, С.Б. Беркович, А.Ю. Махаев, Д.В. Смирнов, А.Н. Царьков // XX международная научная конференция «Системный анализ, управление и навигация». Тезисы докладов. М.: Изд-во МАИ, 2015. С.138-140.
4. Котов Н.И. Проблемные вопросы метрологического обеспечения испытаний и эксплуатации автоматической системы определения астрономического азимута 15Ш87 / Н.И. Котов, С.Б. Беркович, Н.В. Кузьмина, А.Ю. Махаев, С.Е. Чернышев // Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в Российской Федерации. Материалы IX Всероссийской научно-технической конф. Пос. Поведники Московской обл., 23-25 окт. 2012. С.92-95.
5. Метрологическое обеспечение геодезических средств общего назначения в войсковых условиях / Беркович С.Б., Махаев А.Ю., Котов Н.И, Минеев Б.И., Фельдшеров А.Н., Чернышев С.Е. // Материалы X Всероссийской научно-технической конференции «Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в Российской Федерации». Пос. Поведники Московской обл., 21-23 окт. 2014. С.82-85.
6. МИ БГЕИ 12-91 Определение азимута длиннобазных образцовых направлений. Методика института. М.: ФГУП «ЦНИИГАиК». 1991.
7. РД 68-8.17-98 Локальные поверочные схемы для средств измерений топографо-геодезического и картографического назначения. Руководящий документ. М.: ФГУП ФГУП «ЦНИИГАиК», 1999.
8. Руководство по астрономо-геодезическим работам при топогеодезическом обеспечении войск. Часть 3. Астрономические и гравиметрические работы. М.: Редакционно-издательский отдел ВТС, 1982. 427 с.
9. Руководство по астрономо-геодезическим работам при топогеодезическом обеспечении войск. Часть 3. Гироскопическое ориентирование. М.: Редакционно-издательский отдел ВТС, 1979. 225 с.
10. Руководство пользователя GYROMAT 5000. DMT, 2015. 100 с.
11. Описание типа средств измерений Гироплатформы геодезические GYROMAT 3000. Приложение к свидетельству № 56272 об утверждении типа средств измерений.
12. Описание типа средств измерений Аппаратура геодезическая спутниковая Leica GS14. Приложение к свидетельству № 51997 об утверждении типа средств измерений.
13. СТО-02570823-20-06. Полигоны геодезические. Методы и средства поверки. Стандарт организации. М.: ФГУП ФГУП «ЦНИИГАиК», 2006.



УДК 531.383

ИССЛЕДОВАНИЕ НУЛЕВОГО СИГНАЛА ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА

STUDY OF THE ZERO SIGNAL OF A LASER GYROSCOPE

Виталий Валериевич Кабаков
старший преподаватель кафедры №104
Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, г. Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
E-mail: ser-kvv73@mail.ru

Аннотация

Цель статьи – провести исследование нулевого сигнала лазерного гироскопа. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: изучен имеющийся материал по данной тематике; рассмотрено понятие погрешности сдвига нуля лазерного гироскопа; перечислены основные причины температурного дрейфа сдвига нуля в лазерном гироскопе; проведен анализ теплового режима и рассчитаны параметры аппроксимирующей экспоненциальной функции. Для решения поставленных задач в статье использованы такие методы, как анализ, описание, обобщение, расчет, моделирование. Результат исследования следующий: было показано, что величина смещения нулевого сигнала зависит от температуры как самого прибора, так и окружающей среды.

Ключевые слова: нулевой сигнал, гироскоп, температура, эффект Лэнгмюра.

Summary

The purpose of the article is to study the zero signal of a laser gyroscope. To achieve this goal have been resolved following tasks: examination of the available material on the subject; considered the concept of the error of zero drift of the laser gyro; lists the main reasons for temperature drift of zero drift in a laser gyroscope; the analysis of the thermal regime and calculated parameters approximating the exponential function. To solve the set tasks, the article uses such methods as analysis, description, generalization, calculation, and modeling. The result of the study is as follows: it was shown that the value of the zero signal offset depends on the temperature of both the device itself and the environment.

Keywords: the zero signal of the gyroscope, temperature, effect of Langmuir.

Введение

Для определения параметров движения и ориентации объекта требуется все больше информационно-измерительных приборов. Одними из самых востребованных систем ориентации и управления в различных областях являются бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) с малой массой, габаритами и энергопотреблением. Лазерные гироскопы (ЛГ) являются одними из перспективных датчиков для бесплатформенных инерциальных навигационных систем. Их характерные особенности определяют преимущества перед традиционными датчиками: широкий диапазон измеряемых угловых скоростей; нечувствительность к механическим нагрузкам; малое время готовности; высокая надежность; малая потребляемая мощность; дискретный характер выходной информации, а также превосходят по точности и массо-габаритным показателям [1].

Для повышения точности приборов необходимо знание взаимосвязи их погрешностей с воздействующими факторами внешней среды. Выявление определенных закономерностей позволяет перевести связанные с ними ошибки из разряда случайных в разряд методических. Последние могут быть учтены и соответствующим образом скомпенсированы, благодаря чему погрешность измерения заметно снижается.

Поскольку контроль температуры окружающей среды и самого чувствительного элемента лазерного гироскопа сравнительно несложен, исследование его температурных погрешностей является актуальной проблемой. Одной из основных погрешностей ЛГ является смещение нулевого сигнала, величина которого зависит от температуры как самого прибора, так и окружающей среды.

Погрешность сдвига нуля лазерного гироскопа

В идеальном неподвижном лазерном гироскопе обе волны распространяются в симметричном резонаторе, их оптические пути и частоты равны. При вращении частота биений пропорциональна скорости вращения (*рисунок 1а*). Любое явление, которое вызывает отклонение характеристики ЛГ от указанной прямой линии, приводит к появлению погрешностей. Выделяют два вида подобных погрешностей характеристики ЛГ: сдвиг нуля (*рисунок 1б*) и синхронизация (захват частот).

Сдвиг нуля возникает, если резонатор является невзаимным по отношению к излучению, распространяющемуся во встречных направлениях. При этом неравенство оптических путей встречных волн приводит к различию их частот даже в неподвижном кольцевом резонаторе. В результате возникающий сдвиг нуля может превосходить измеряемую скорость вращения.

Сдвиг нуля обусловлен невзаимным изменением коэффициента преломления среды в кольцевом резонаторе для встречных волн, вызванным любыми причинами, кроме вращения. В результате при сдвиге нуля проявляется возможность получения выходного сигнала с частотой биений двух встречных волн и при отсутствии вращения гироскопа.

Одним из явлений, вызывающих невзаимность показателя преломления, является эффект Френеля-Физо. Наличие в резонаторе среды приводит к необходимости замены длины резонатора длиной оптического пути. Сдвиг нуля, обусловленный движением оптической среды в кольцевом резонаторе у приборов, применяемых в авиации, весьма велик. Например, в ЛГ с площадью резонатора 20 см^2 поток воздуха со скоростью 1 см/с на участке 1 см приводит к смещению нуля порядка 3 град/ч [2].

Температурный дрейф лазерного гироскопа

Смещение нулевого сигнала ЛГ существенно изменяется как при изменении температуры окружающей среды, так и при саморазогреве прибора за счет выделяющейся при его работе тепловой энергии. Причем величина температурного смещения нулевого сигнала $w_{0т}$ (дрейфа нуля) у многих образцов приборов сопоставима со среднеквадратической погрешностью δw этого параметра, являющейся одной из основных точностных характеристик ЛГ.

Для уменьшения деформации оптического контура при изменении температуры моноблочные резонаторы кольцевых лазеров, являющихся чувствительными элементами ЛГ, выполняют из материалов с низкими коэффициентами теплового линейного расширения (кварца, ситалла и т.п.). Однако вследствие малой теплопроводности упомянутых материалов затягивается процесс стабилизации температурных полей кольцевого лазера.

В результате длительность переходного процесса изменения нулевого сигнала ЛГ при саморазогреве (часто называемого тепловым «выбегом») достигает нескольких десятков минут, что нередко соизмеримо со временем штатной работы измерительной системы.

Применение термостабилизации путем помещения ЛГ в специальный обогреваемый герметичный отсек ухудшает массо-габаритные показатели навигационной системы, а также заметно увеличивает время ее готовности (до 20÷30 мин). Поддержание лазерных гироскопов в дежурном режиме (под током) также не всегда целесообразно, поскольку значительная часть технического ресурса приборов при этом расходуется вхолостую.

Изменение величины нулевого сигнала, называемое температурным дрейфом, может быть обусловлено рядом причин. В частности, одним из источников сдвига нуля является поток компонентов газа в постоянном электрическом разряде ЛГ. Причинами сдвига нуля в этом случае могут быть как направленный дрейф электронов и положительных ионов (катафорез), так и поток нейтральных атомов – лэнгмюровский дрейф [3].

При катафорезе положительные ионы дрейфуют к катоду, на поверхности которого происходит нейтрализация ионов, в результате чего у катода образуется избыточное давление газа. Повышение давления газа активной среды вызывает обратный дрейф нейтральных атомов в направлении анода.

Эффект Лэнгмюра вызван тем, что стенки газоразрядной трубки имеют отрицательный заряд. При этом положительные ионы, движущиеся к катоду, нейтрализуются на стенках указанной трубки. Это приводит к повышению дав-

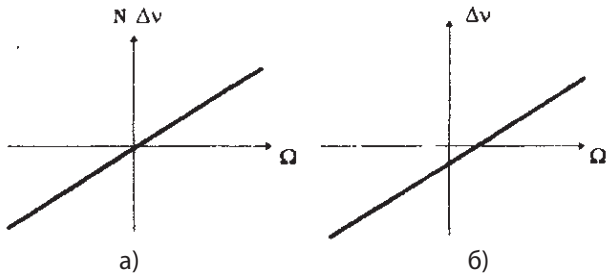


Рис. 1. Выходная характеристика [2]: а – идеальная; б – сдвиг нуля

ление газа у анода, в результате чего поток нейтральных атомов к аноду движется вдоль стенок трубки, а по направлению к катоду – вдоль оси трубки.

Вследствие указанных эффектов появляются температурные погрешности, вызванные как изменением положения лучей в каналах, так и асимметрией распределения температуры вдоль активной среды.

Поскольку оптическая длина резонатора зависит от температуры, то при подстройке периметра происходит смещение световых лучей (встречных волн) относительно осей каналов, диафрагмы и дефектов на зеркалах оптического резонатора. Вследствие смещения лучей относительно диафрагмы может изменяться добротность резонатора, а в результате изменения потерь меняется и сдвиг нулевого сигнала, вызванный дифракционной невзаимностью встречных волн.

Достаточно сильное влияние на сдвиг нуля оказывает также поперечное смещение луча относительно активной среды. Это вызвано наличием на концах разрядных промежутков заметных градиентов температур и возникновением циркуляционных потоков в газе. При этом скорость потока в разных точках поперечного сечения канала не одинакова. Если луч входит в разрядную трубку и выходит из нее с различными координатами относительно нейтральной оси канала, в приборе наблюдается сдвиг нуля.

В результате высокой кинематической вязкости гелий-неоновой смеси движение газа в одном месте вызывает его движение в большом объеме. Это явление называют термоскольжением [4].

Математическое описание температурных зависимостей лазерного гироскопа

Поскольку температура моноблока изменяется намного медленнее, чем устанавливается давление для разности частот встречных волн, можно записать для луча генерации, проходящего по оси канала [5]:

$$\Delta\varpi_0 = m_{TC}\cdot(T_1 - T_2)\cdot\frac{\partial n}{\partial v} \qquad (1)$$

где m_{TC} – коэффициент пропорциональности;
$\frac{\partial n}{\partial v}$ – градиент показателя преломления;
T_1, T_2 – температуры на краях активной среды.

Тепловой режим моноблока ЛГ зависит от величины разрядного тока, физических свойств материалов катода, анодов и самого моноблока, а также от условий эксплуатации прибора.

Процесс нагрева однородного изотропного тела в среде с температурой t_c, может быть описан системой уравнений (2). Первое из них характеризует распределение избыточной температуры ϑ, второе – закон Ньютона для теплообмена тела на его граничной поверхности S, третье – уравнение Фурье температурного поля.

$$\left.\begin{aligned} &\vartheta(x,y,z) = t(x,y,z) - t_c = f(x,y,z) \\ &\left(\frac{\partial\vartheta}{\partial N} + \frac{\alpha}{\lambda}\cdot\vartheta\right)_S = 0 \\ &\frac{\partial\vartheta}{\partial\tau} = a\nabla^2\vartheta \end{aligned}\right\}, \qquad (2)$$

где N – внешняя нормаль к поверхности S тела;
α – коэффициент теплопередачи;
τ – текущее время;
∇^2 – оператор Лапласа;
a – коэффициент температуропроводности,

$$a = \frac{\lambda}{c\cdot\gamma}, \qquad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности;
c – теплоемкость;
γ – плотность тела.

Решение системы уравнений (2) для многих практических задач может быть получено в виде бесконечного ряда

$$\vartheta = \sum A_n\cdot U_n\cdot e^{-m_n\cdot\tau}, \qquad (4)$$

где $U_n(x,y,z)$ – собственные функции, зависящие только от координат;
A_n – тепловые амплитуды, зависящие от начального распределения температур;
m_n – коэффициенты, независящие ни от координат, ни от времени.

В процессе нагревания тела можно выделить две стадии: неупорядоченную и регулярную. Поскольку коэффициенты ряда (4) образуют, как правило, возрастающую последовательность,

$$0 < m_0 < m_1 < m_2 < \ldots < m_n \ldots,$$

со временем члены ряда (4) убывают и, начиная с некоторого момента $\tau \le \tau^*$ первое слагаемое, существенно превосходит сумму всех остальных. В регулярном тепловом режиме первого рода, наступающем при этом, температурное поле во всех точках тела изменяется по экспоненциальному закону

$$\vartheta_{рег} = A\cdot U\cdot e^{-m\cdot\tau},\ (A \equiv A_0, U \equiv U_0, m \equiv m_0), \qquad (5)$$

причем показатель экспоненты m не зависит от координат.

Анализ экспериментальных данных

При анализе экспериментальных результатов каждую последовательность съемов будем рассматривать как реализацию случайного процесса. Экспериментальные данные были получены для трех комплектов ЛГ, снятые с шестидесятисекундным накоплением за 33 минуты в нормальных климатических условиях, при пониженной и при повышенной температурах, а также построены графики изменения накопленных счетчиками импульсов с момента включения и приведены аппроксимации полученных зависимостей полиномом третей степени с по-

мощью программы Microsoft Excel (см. *рисунок 2*). Вид полученных кривых подтверждает гипотезу об их экспоненциальном характере, что соответствует нерегулярному тепловому режиму.

Исходя из аппроксимации полиномом третьей степени, полученной с помощью Microsoft Excel, были рассчитаны параметры аппроксимирующей экспоненциальной функции вида

$$N(t) = D \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + K \cdot t + V . \qquad (6)$$

Разложим данную функцию в ряд Маклорена. Для этого найдем выражения функции *N(t)* и ее производных в точке *t=0*:

$$N(0) = D + V ,$$

$$N(t)' = -\frac{D}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + K \quad N(0)' = \frac{D}{\tau} + K ,$$

$$N(t)'' = \frac{D}{\tau^2} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad N(0)'' = \frac{D}{\tau^2} ,$$

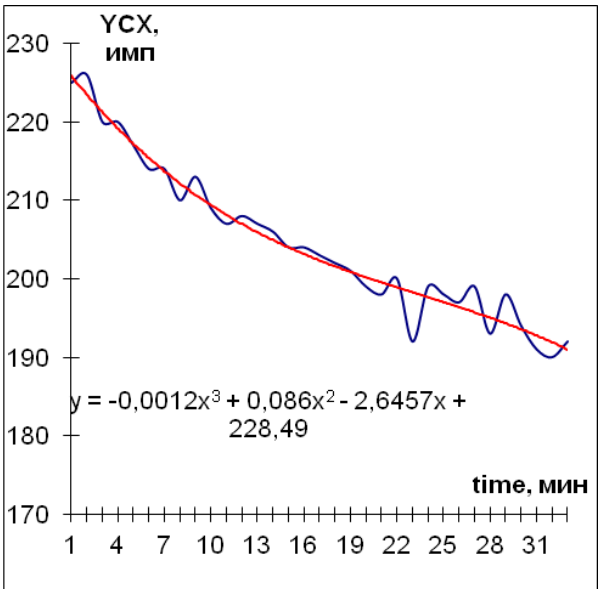
$$N(t)''' = -\frac{D}{\tau^3} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad N(0)''' = -\frac{D}{\tau^3} .$$

Тогда ряд Маклорена для функции *N(t)* будет выглядеть следующим образом

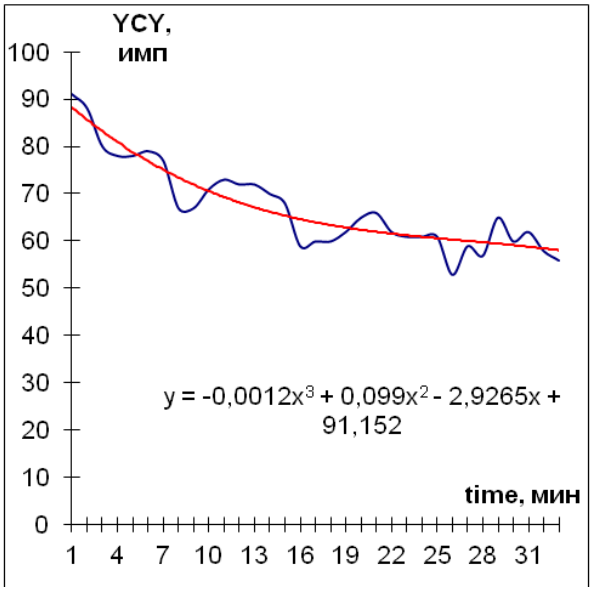
$$N(t) = D + V + \left(-\frac{D}{\tau} + K\right) \cdot t + \frac{D}{\tau^2} \cdot \frac{t^2}{2} + \left(-\frac{D}{\tau^3}\right) \cdot \frac{t^3}{6} . \qquad (7)$$

Так как экспериментальная зависимость интерпретирована рядом

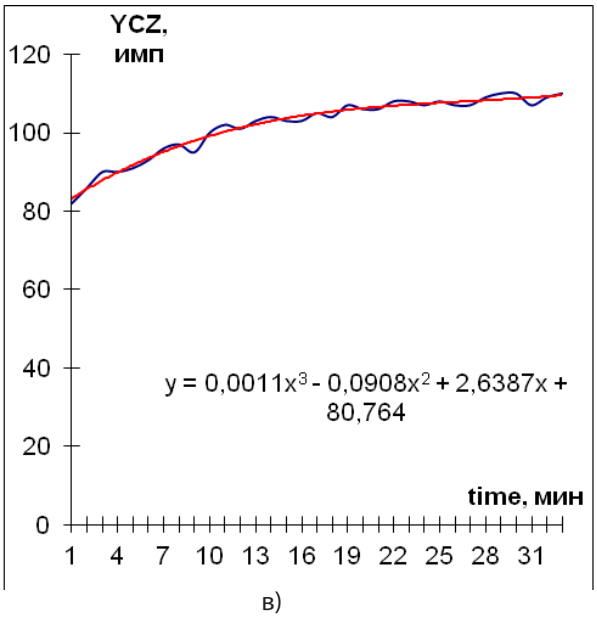
$$N(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3 , \qquad (8)$$



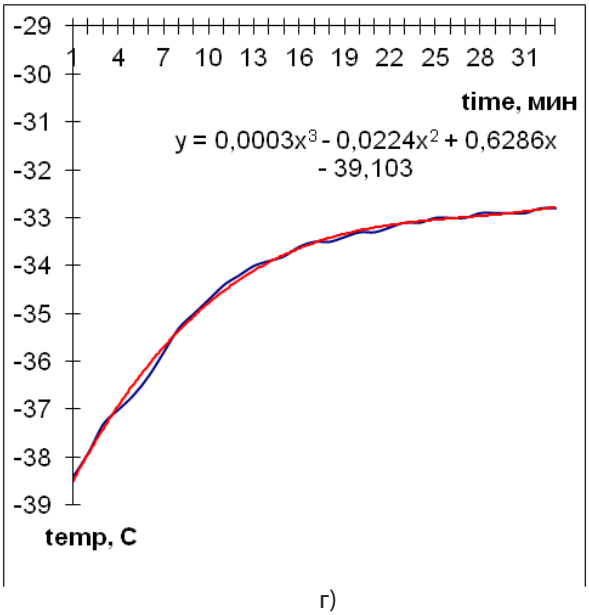
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Данные первого комплекта при пониженной температуре:
а – канал YCX; б – канал YCY; в – канал YCZ; г – канал T

то связь параметров D, τ, k, V с параметрами полинома находится из равенства функции (7) и выражения (8).

Тогда получаем систему из четырех уравнений

$$\left.\begin{aligned} a_0 &= D + V \\ a_1 &= -\frac{D}{\tau} + K \\ a_2 &= \frac{D}{2\cdot\tau^2} \\ a_3 &= -\frac{D}{6\cdot\tau^3} \end{aligned}\right\}. \qquad (9)$$

Решение системы (9) относительно коэффициентов функции (6) находим в виде:

$$\tau = -\frac{a_2}{3\cdot a_3},$$

$$D = \frac{2\cdot a_2^3}{9\cdot a_3^2},$$

$$V = a_0 - \frac{2\cdot a_2^3}{9\cdot a_3^2},$$

$$K = a_1 - \frac{2\cdot a_2^2}{3\cdot a_3}.$$

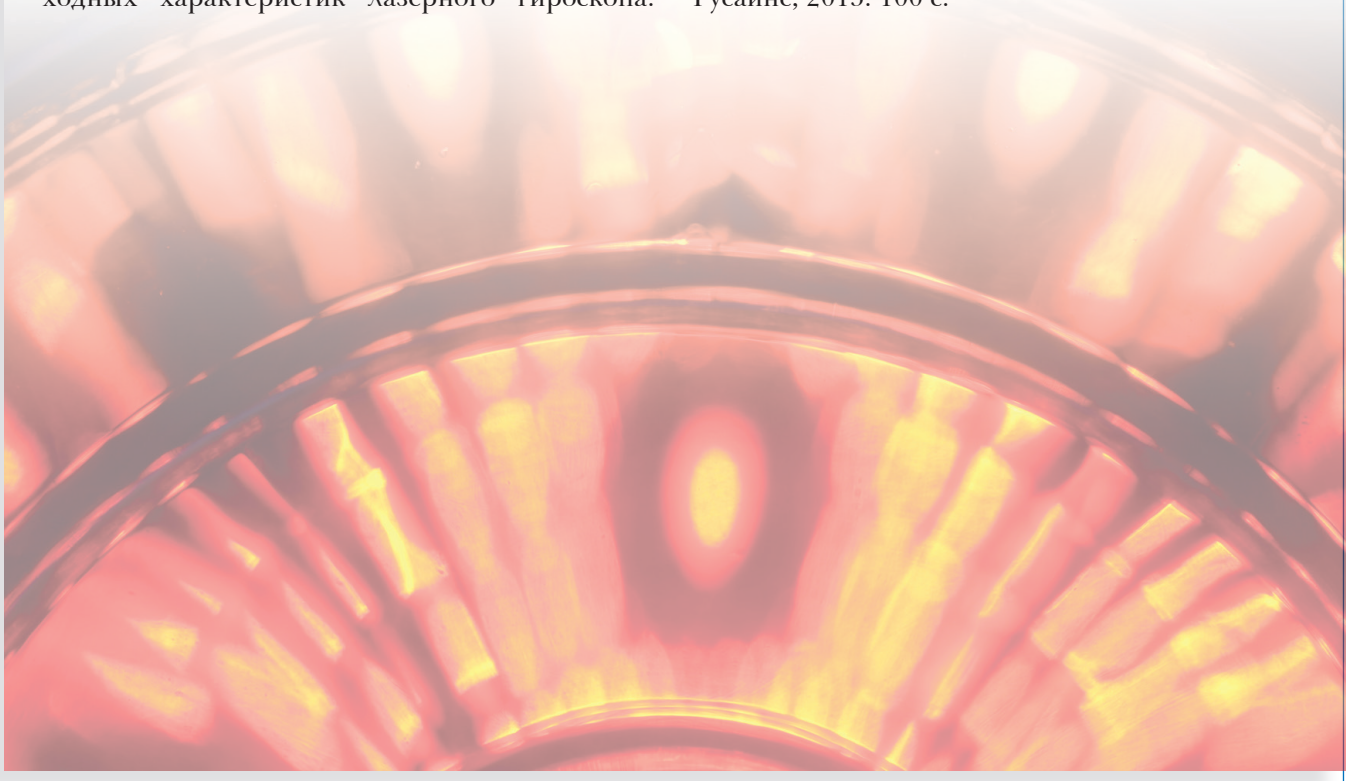
Заключение

Таким образом, в ходе проведения данной работы были проанализированы графики изменения выходного сигнала лазерного гироскопа в процессе самопрогрева и в анализе влияния исходной температуры лазерного гироскопа на параметры аппроксимирующей функции выходных характеристик лазерного гироскопа. Одной из основных погрешностей лазерного гироскопа является смещение нулевого сигнала, величина которого зависит от температуры как самого прибора, так и окружающей среды.

Выявление определенных закономерностей позволят перевести связанные с ними ошибки из разряда случайных в разряд методических, которые могут быть учтены и соответствующим образом скомпенсированы, благодаря чему погрешность измерения заметно снижается.

Литература

1. Лукьянов Д.П. и др. 50 лет лазерному гироскопу // Фотоника. Лазеры и лазерные системы, 2014. №1(43). С.42-61.
2. Бычков С.И., Лукьянов Д.П., Бакаляр А.И. Лазерный гироскоп / Под ред. С.И. Бычкова. М.: Советское радио, 1975. 424 с.
3. Санеев И.В. К вопросу о выборе цифрового фильтра на выходе лазерного гирометра в режиме измерения малых постоянных угловых скоростей // Наука и инновации, 2015. №1(37). С.1-4.
4. Чиркин М.В. и др. Фильтрация выходных сигналов триады лазерных гироскопов // XXI Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам: сборник материалов. СПб.: Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. С.327-329.
5. Васильев А.М., Гребенюк Е.И. Специальные методы контроля элементов лазерного гироскопа: монография / Под ред. А.М. Васильева. М.: Русайнс, 2015. 100 с.



УДК 661.9

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ БАЗОВОГО ВАРИАНТА СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ АДСОРБЦИОННО-КРИОГЕННОЙ УСТАНОВКИ

MATHEMATICAL MODEL AND CALCULATION METHOD FOR HEAT EXCHANGE EQUIPMENT OF THE BASIC VERSION OF THE STRUCTURAL-TECHNOLOGICAL SCHEME OF THE ADSORPTION-CRYOGENIC INSTALLATION

Виктор Васильевич Редькин
почетный работник науки и техники РФ
кандидат технических наук

Анатолий Иванович Смородин
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры Э-4
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ)»
Адрес: 107005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5
Тел.: +7 (499) 263-61-27
E-mail: smorodin38@rambler.ru

Степан Сергеевич Сергеев
руководитель расчетной группы
ПАО «Криогенмаш»
Адрес: 143907, Московская обл.,
г. Балашиха, пр. Ленина, д. 67
Тел.: +7 (495) 505-93-33
E-mail: stepan.sergeev@omzglobal.com

Максим Васильевич Кулик
начальник отдела организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (903) 797-36-67
E-mail: mklik@mail.ru

Алексей Александрович Коробков
кандидат технических наук, доцент
начальник научно-методического управления
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: korobkow@iifmail.ru

Аннотация

Представлены разработанные математическая модель и методика расчета теплообменного оборудования (ТОО): теплообменных аппаратов (ТОА) и переохладителя структурно-технологических схем адсорбционно-криогенных (АК) систем азотообеспечения испытаний ракетно-космической техники (РКТ). Проведены расчеты ТОО. По результатам проведенного вычислительного эксперимента построены Q-T-диаграммы ТОО, произведен анализ полученных графических зависимостей. Результаты данной работы могут быть использованы при проектировании АК-систем азотообеспечения испытаний РКТ. Дальнейшим развитием исследований в направлении создания АК-систем является разработка математической модели и методики расчета детандер-компрессорного агрегата базового варианта структурно-технологической схемы АК-установки, а также выбор базового варианта схемы и типов машинного и технологического оборудования АК-установок.

Ключевые слова: адсорбционно-криогенная технология, детандер, критерий Нуссельта, критерий Прандтля, критерий Рейнольдса, переохладитель, структурно-технологическая схема, теплообменная поверхность, теплообменный аппарат, термодинамические характеристики, установка обратной конденсации.

Summary

The developed mathematical model and method of calculation of heat transfer equipment (HTE): heat exchange devices (HED) and supercooler of structural and technological schemes of adsorption-cryogenic (AC) systems of nitrogen supply for tests of rocket and space technology (RST) are presented. Calculations of HTE were carried out. Based on the results of the computational experiment, Q-T-diagrams of HTE were constructed, and the analysis of the obtained graphical dependencies was performed. The results of this work can be used in the design

of AC-systems for nitrogen supply of RST tests. Further development of research in the direction of creating AC-systems is the development of a mathematical model and method for calculating the expander-compressor unit of the basic version of the structural and technological scheme of the AC-installation, as well as the choice of the basic version of the scheme and types of machine and technological equipment of the AC-installations.

Keywords: adsorption-cryogenic technology, expander, Nusselt criterion, Prandtl criterion, Reynolds criterion, supercooler, structural and technological scheme, heat exchange surface, heat exchanger, thermodynamic characteristics, reverse condensation unit.

Введение

Применение адсорбционно-криогенных (АК) систем азотообеспечения испытаний ракетно-космической техники с подсистемами дистанционного управления и контроля, построенных на АК-технологиях позволяет [1, 2]:

- повысить удельную холодопроизводительность детандерного цикла турбомашинной установки реконденсации паров азота;
- увеличить коэффициент ожижения криогенного цикла и производительности ожижителя;
- повысить коэффициент готовности азотной жидкостной системы.

Созданию АК-установок предшествует решение ряда частных задач:

1) исследование, оценка и выбор конкурирующих вариантов структурно-технологических схем (СТС) азотных АК-установок для заданных выходных режимных параметров;

2) проведение параметрической оптимизации конкурирующих вариантов СТС АК-установок;

3) определение термодинамических характеристик и показателей надежности конкурирующих вариантов СТС АК-установок;

4) расчет детандер-компрессорного агрегата и теплообменного оборудования (ТОО) базового варианта СТС АК-установки;

5) выбор базовых вариантов схемы и типов машинного и технологического оборудования АК-установки по результатам сопоставительного анализа показателей термодинамического совершенства и надежности конкурирующих вариантов СТС АК-установок.

Описанию решения задач 1-3 посвящена научная статья [1].

Таблица 1

Исходные данные

Параметр	Значение
Давление прямого потока, МПа	0,920
Давление обратного потока, МПа	0,125
Температура газа на входе, К	$3{,}00 \cdot 10^2$
Температура газа на выходе из концевого холодильника, К	$3{,}05 \cdot 10^2$
Изотермический КПД компрессора	0,63
Расход газообразного азота, кг/с	1,50

Для решения 4-й задачи необходимо построить математическую модель ТОО СТС АК-установки и разработать методику расчета ТОО СТС АК-установки, описанию чего и посвящена настоящая статья.

1. Исходные данные и расчетная схема

Расчетная схема, составленная в программе ASPEN HYSYS (v.8.4) представлена на *рисунке 1*. Принципы составления данной схемы аналогичны принципам, изложенным в [1].

2. Расчет параметров ТОО

2.1. Расчет ТОА

В криогенной технике широко применяются различные виды ТОА. Наиболее часто применяются витые трубчатые с проволочным оребрением и пластинчато-ребристые ТОА. Вторые ТОА обладают большей компактностью по сравнению с первыми и способны выдерживать рабочие давления до 6,00 МПа, поэтому для данной установки целесообразно применять именно пластинчато-ребристые ТОА.

2.1.1. Геометрические характеристики теплообменной поверхности

Для прямого потока выбрана теплообменная поверхность (ТОП): ПрР-6-4-0,15-1, для обратного потока – ТОП: ПрР-12-2-0,25-2.

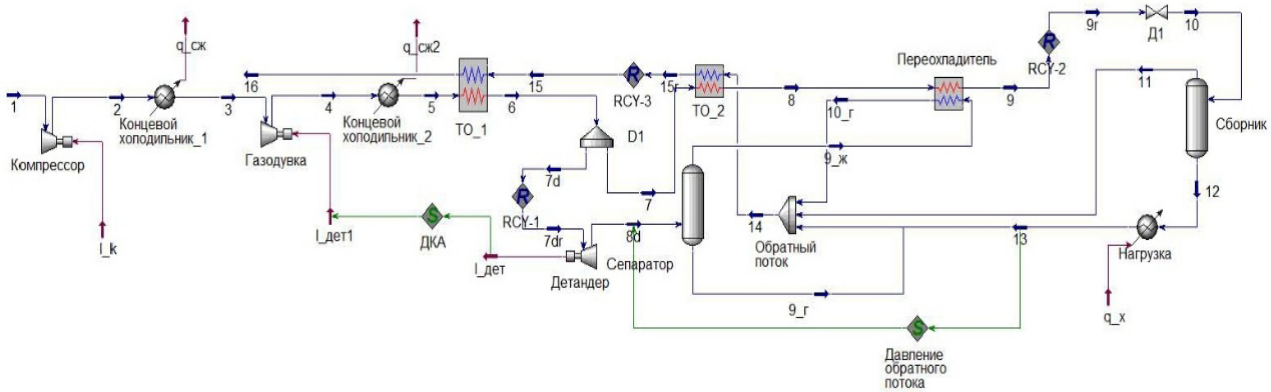


Рис. 1. Расчетная схема (для принятой схемы установки обратной конденсации (УОК)

Таблица 2

Параметры и допущения теплообменных аппаратов (ТОА) 1, 2 и переохладителя

Наименование параметра, допущения	ТОА-1-А*	ТОА-2-А*	Переохладитель
Параметры			
Температура входа прямого потока $T_{вх_пр}$, К	$3{,}05\cdot10^2$	$1{,}19\cdot10^2$	$1{,}02\cdot10^2$
Температура выхода прямого потока $T_{вых_пр}$, К	$1{,}20\cdot10^2$	$1{,}02\cdot10^2$	$8{,}02\cdot10^1$
Температура входа обратного потока $T_{вх_обр}$, К	$1{,}04\cdot10^2$	$7{,}92\cdot10^1$	$7{,}92\cdot10^1$
Температура выхода обратного потока $T_{вых_обр}$, К	$2{,}98\cdot10^2$	$1{,}02\cdot10^2$	$7{,}92\cdot10^1$
Тепловая нагрузка Q, кВт	$3{,}00\cdot10^2$	$3{,}30\cdot10^1$	$1{,}30\cdot10^1$
Расход азота прямого потока $G_{пр}$, кг/с	1,50	-	-
Расход азота обратного потока $G_{обр}$, кг/с	1,50	-	-
Доля пара прямого потока на входе	-	0,10	0,10
Доля пара прямого потока на выходе	-	0,00	0,00
Доля пара обратного потока на входе	-	-	0,00
Доля пара обратного потока на выходе	-	-	1,00
Допущения			
Недорекуперация на теплом конце ТОА, К	7,00	-	-
Теплопритоки	-	-	0,00
Минимальный тепловой напор в сечении, К	-	3,00	-
Теплопритоки в первом приближении $q_{ос_1}$, кВт	3,00	0,66	-
Гидравлические потери по прямому потоку $\Delta p_{пр_1}$, кПа	4,00	6,00	1,00
Гидравлические потери по обратному потоку $\Delta p_{обр_1}$, кПа	4,00	1,50	0,00
Число трубок	-	-	$1{,}80\cdot10^1$
Примечание: *) Здесь и далее использованы обозначение ТОА, параметры которых приведены в [1].			

Таблица 3

Геометрические параметры профилей ТОА

Параметр	Прямой поток	Обратный поток
Высота ребра l_p, м	$6{,}00\cdot10^{-3}$	$1{,}20\cdot10^{-2}$
Шаг ребра τ, м	$4{,}00\cdot10^{-3}$	$2{,}00\cdot10^{-3}$
Толщина ребра δ_p, м	$0{,}15\cdot10^{-3}$	$0{,}25\cdot10^{-3}$
Шаг между прорезями $\tau_п$, м	$1{,}00\cdot10^{-3}$	$2{,}00\cdot10^{-3}$
Толщина проставочных пластин $\delta_п$, м	$0{,}50\cdot10^{-3}$	$0{,}50\cdot10^{-3}$

Параметры ТОП [3] рассчитываются по следующим формулам:

- площадь ТОП в единице свободного объема:

$$S_p = 2/(\tau - \delta_p);$$

- площадь ТОП проставочных пластин в единице свободного объема:

$$S_{пласт} = 2/(l - \delta_p);$$

- компактность ТОА по свободному объему:

$$S_{св} = S_p + S_{пласт};$$

- эквивалентный диаметр канала:

$$d_э = 1/S_{св};$$

- коэффициент стеснения потока:

$$\gamma = ((\delta_п + \delta_p) + (l + \delta_p)\cdot(\delta_p/\tau))/(l + \delta_п);$$

- удельная площадь живого сечения:

$$\psi = (l + \delta_п)\cdot(1 - \gamma).$$

Отношение ТОП:

$$\varphi = F_2/F_1 = (\psi_{обр}\cdot S_{св_обр})/(\psi_{пр}\cdot S_{св_пр}) = 2{,}81.$$

2.1.2. Тепловой расчет ТОА

Теплофизические (ТФ) параметры потока при средней температуре рассчитываются по следующим формулам:

- средняя температура:

$$T_{ср} = (T_{вх} + T_{вых})/2;$$

- число Прандтля:

$$Pr = (c_p\cdot\mu)\cdot\lambda;$$

- скорость обратного потока равна:

$$V_{обр} = (p_{пр}\cdot V_{пр})/(p_{обр}\cdot\varphi);$$

- число Рейнольдса:

$$Re = (V\cdot p\cdot d_э)/\mu;$$

- площадь свободного сечения:

$$F_{св} = G/(V\cdot p).$$

Коэффициенты для критериальных зависимостей определения факторов теплоотдачи и трения выбираются (первая часть *таблицы 6*) по [2,3] для соответствующих диапазонов числа Рейнольдса и рассчитываются (вторая часть *таблицы 6*) по следующим формулам:

- фактор теплоотдачи:

$$j = A\cdot Re^{n-1}$$

- коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = (j\cdot V\cdot p\cdot c_p)/(Pr\cdot 2/3), \text{ т.к.: } j = A\cdot Re^{n-1} = St\cdot Pr\cdot 2/3,$$

где $St = \alpha/(p\cdot V\cdot c_p)$;

- параметр ребра:

$$m_p = \sqrt{(2\cdot\alpha/(\delta_p\cdot\lambda_p))}$$

- КПД ребра:

$$\eta_p = th((m_p\cdot l)/2)/(m_p\cdot l);$$

- КПД оребренной поверхности:

$$\eta = 1 - (S_p/S_{св})\cdot(1 - \eta_p);$$

- коэффициент теплопередачи:

$k = 1/((1/\alpha_{пр}\cdot\eta_{пр}) + (\varphi/(\alpha_{обр}\cdot\eta_{обр}))) = 2{,}04$ Вт/(м²·К);

- средняя логарифмическая разность температур:

$$\Delta T_{ср_log} = (\Delta T_{max} - \Delta T_{min})/(\ln(\Delta T_{max}/\Delta T_{min})) = 1{,}09\cdot10^{1}\ К.$$

2.1.3. Определение размеров ТОП

Параметры ТОП определяются по следующим формулам:

- площадь ТОП (с учетом 20% запаса):

$$F_{пр} = 1{,}2\cdot Q/(k\cdot\Delta T_{ср_log}) = 1{,}64\ м^2;$$

- свободный объем по прямому потоку:

$$V_{св_пр} = F_{пр}/S_{св_пр} = 1{,}90\cdot10^{-1}\ м^3;$$

- длина ТОП ТОА:

$$L_{ТОА} = V_{св_пр}/F_{св_пр} = 2{,}80\ м;$$

- площадь поперечного сечения ТОА (без учета разделительных пластин):

$$F_{сеч_пр} = F_{св_пр}/(1-\gamma_{пр}) = 8{,}00\cdot10^{-2}\ м^2;$$
$$F_{сеч_обр} = F_{св_обр}/(1-\gamma_{пр}) = 2{,}36\cdot10^{-1}\ м^2;$$

- полная площадь сечения (с учетом разделительных пластин):

$$F_{полн} = F_{сеч_пр} + F_{сеч_обр} = 3{,}17\cdot10^{-1}\ м^2;$$

- принятое число каналов $z = 30$;
- ширина ТОА:

$$B_{ТОА} = F_{полн}/(z\cdot(l_{пр} + l_{обр})) = 5{,}87\cdot10^{-1}\ м$$

(принимается $B_{ТОА} = 0{,}6$ м);

- высота ТОА:

$$H_{ТОА} = z\cdot(l_{пр} + l_{обр}) + (z-1)\cdot\delta_n = 5{,}50\cdot10^{-1}\ м.$$

2.1.4. Определение гидравлических потерь в ТОА

Фактор трения:

$$f_{пр} = B_{пр}\cdot Re_{пр}^{\ m_{пр}} = 5{,}60\cdot10^{-2};$$
$$f_{обр} = B_{обр}\cdot Re_{обр}^{\ m_{обр}} = 7{,}50\cdot10^{-2}.$$

Потери давления по длине ТОП:

$$\Delta p_{пр} = 4\cdot f_{пр}\cdot((\rho_{пр}\cdot V_{пр}^{\ 2})/2)\cdot(L_{ТОА}/d_{э_пр}) = 2{,}24\cdot10^{3}\ Па;$$
$$\Delta p_{обр} = 4\cdot f_{обр}\cdot((\rho_{обр}\cdot V_{обр}^{\ 2})/2)\cdot(L_{ТОА}/d_{э_обр}) = 3{,}95\cdot10^{3}\ Па.$$

Q-T-диаграммы для ТОА-1-А, ТОА-2-А и переохладителя представлены, соответственно, на *рисунках 2-4*.

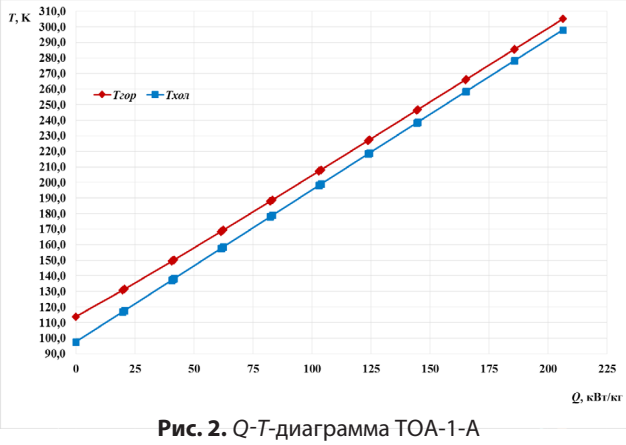


Рис. 2. *Q-T*-диаграмма ТОА-1-А

Таблица 4

Параметры ТОП (результаты расчета)

Параметр	Прямой поток	Обратный поток
Площадь ТОП в единице свободного объема S_p, м⁻¹	$5{,}20\cdot10^{2}$	$1{,}14\cdot10^{3}$
Площадь ТОП проставочных пластин в единице свободного объема $S_{пласт}$, м²/м³	$3{,}41\cdot10^{2}$	$1{,}70\cdot10^{2}$
Компактность ТОА по свободному объему $S_{св}$, м²/м³	$8{,}61\cdot10^{2}$	$1{,}31\cdot10^{3}$
Эквивалентный диаметр канала $d_э$, м	$4{,}64\cdot10^{-3}$	$3{,}04\cdot10^{-3}$
Коэффициент стеснения потока γ	$1{,}55\cdot10^{-1}$	$1{,}90\cdot10^{-1}$
Удельная площадь живого сечения ψ, м	$5{,}50\cdot10^{-3}$	$1{,}00\cdot10^{-2}$

Таблица 5

Значения ТФ-параметров потока при средней температуре

Параметр	Прямой поток	Обратный поток
заданные		
Удельная теплоемкость c_p, кДж/кгЧ	1,12	1,04
Коэффициент теплопроводности l	2,00Ч	1,86Ч
Коэффициент теплопроводности ребра при $T_{ср}$: λ_p, Вт/мЧ	1,5Ч	1,5Ч
Кинематическая вязкость m	$1{,}41\cdot10^{-5}$	1,33Ч
Плотность ρ, кг/м³	1,47Ч	2,71
рассчитанные		
Средняя температура $T_{ср}$, К	$2{,}12\cdot10^{2}$	$2{,}01\cdot10^{2}$
Число Прандтля Pr	$7{,}91\cdot10^{-1}$	$7{,}91\cdot10^{-1}$
Скорость потока *V*, м/с	1,50	3,67
Число Рейнольдса Re	$7{,}25\cdot10^{3}$	$2{,}79\cdot10^{3}$
Площадь свободного сечения $F_{св}$, м²	$6{,}80\cdot10^{-2}$	$1{,}90\cdot10^{-1}$

Таблица 6

Коэффициенты для критериальных зависимостей определения факторов теплоотдачи и трения

Коэффициенты (параметры)	Прямой поток	Обратный поток
определенные по [3]		
Число Рейнольдса Re	$2{,}00\cdot10^{3}$ – $1{,}30\cdot10^{4}$	$2{,}50\cdot10^{3}$ – $7{,}50\cdot10^{3}$
Коэффициент *A*	$7{,}60\cdot10^{-2}$	$1{,}90\cdot10^{-1}$
Показатель политропы *n*	$7{,}70\cdot10^{-1}$	$6{,}40\cdot10^{-1}$
Коэффициент *B*	$1{,}20\cdot10^{-1}$	$2{,}30\cdot10^{-1}$
Показатель степени *m*	$-8{,}50\cdot10^{-2}$	$-1{,}50\cdot10^{-1}$
рассчитанные		
Фактор теплоотдачи *j*	$9{,}80\cdot10^{-3}$	$1{,}28\cdot10^{-2}$
Коэффициент теплоотдачи α, Вт/(м²Ч	$2{,}85\cdot10^{2}$	$1{,}27\cdot10^{2}$
Параметр ребра m_p, м⁻¹	$8{,}71\cdot10^{1}$	$5{,}82\cdot10^{1}$
КПД ребра η_p	$9{,}80\cdot10^{-1}$	$9{,}60\cdot10^{-1}$
КПД оребренной поверхности η	$9{,}90\cdot10^{-1}$	$9{,}70\cdot10^{-1}$

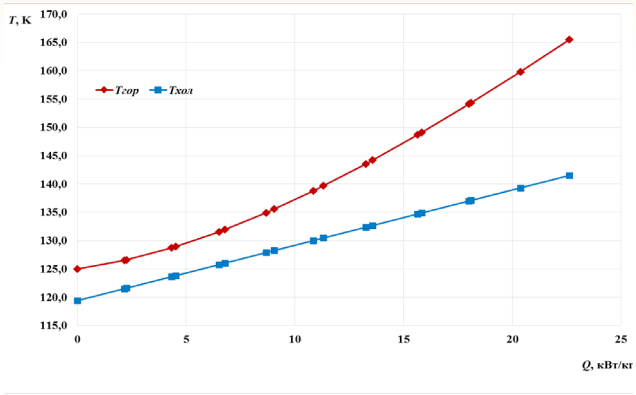


Рис. 3. *Q-T*-диаграмма ТОА-2-А

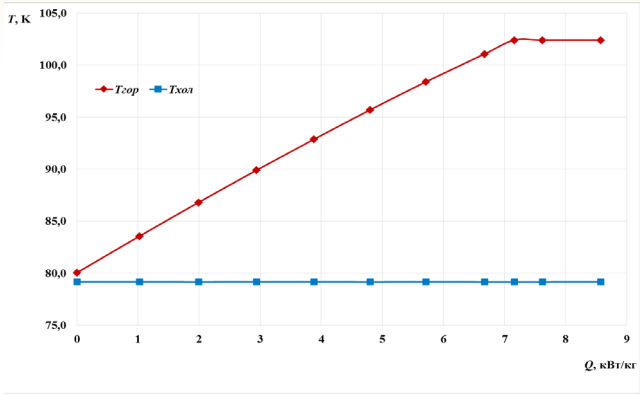


Рис. 4. *Q-T*-диаграмма переохладителя

2.2. Расчет переохладителя

Снаружи трубок ТОА происходит кипение азота при небольшом избыточном давлении. Коэффициент теплоотдачи при кипении сильно зависит от перепада температур между кипящей жидкостью и поверхностью стенки. Теплофизические свойства также изменяются по длине трубки. Эти обстоятельства приводят к большим трудностям получения аналитического решения и требуют проведения численного моделирования для определения длины трубки.

2.2.1. Алгоритм расчета для i-го узла

Для выполнения расчета трубка теплообменника разбивается на участки (узлы), в пределах которых ТФ-свойства азота и материала трубки могут считаться постоянными. Для каждого узла составляется уравнение теплового баланса, на основании которого по известным параметрам на входе в *i*-й узел (давление, температура, скорость и т.д.) определяются параметры на выходе из *i*-го узла.

Давление и температура и т.д. на выходе из *i*-го узла являются входными параметрами для (*i* + 1) узла.

Расчетная схема показана на *рисунке 5*.

Система уравнений (1) – (3), описывающая тепловой поток, проходящий через стенку узла трубки:

$$\begin{cases} Q_i = \alpha_{внут_i} \cdot F_{внут} \cdot (T_i - T_{ст_внут_i}), & (1) \\ Q_i = ((2 \cdot \pi \cdot l_{уч} \cdot \lambda_{ст_i}) / (\ln(d_{нар} / d_{внут})) \cdot (T_{ст_внут_i} - T_{ст_нар_i}), & (2) \\ Q_i = \alpha_{нар_i} \cdot F_{нар} \cdot (T_{ст_нар_i} - T_{N2}), & (3) \end{cases}$$

где Q_i – тепловой поток подводимый к азоту в *i*-м узле, Вт;

$\alpha_{внут_i}$, $\alpha_{нар_i}$ – соответственно, коэффициенты теплоотдачи внутри и снаружи трубки *i-го* узла, *Вт/м²К*;

$F_{внут}$, $F_{нар}$ – соответственно, внутренняя и наружная площади поверхности трубки в *i-м* узле, м²;

$\lambda_{ст_i}$ – коэффициент теплопроводности стенки в i-м узле, Вт/ (м·К);

T_i – температура азота в *i*-м узле, К;

$T_{ст_внут}$, $T_{ст_нар}$ – температуры внутренней и наружной поверхности стенки *i*-го узла, К;

T_{N2} – температура азота в ванне, К.

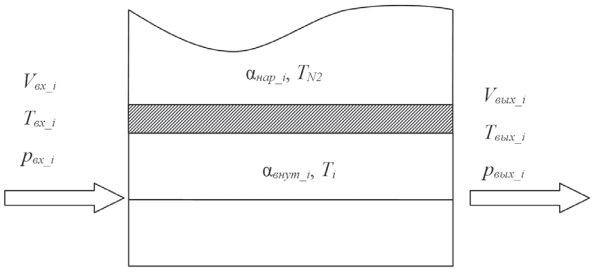


Рис. 5. Расчетная схема

Тепловой поток, отводимый от азота в *i*-м узле:

$$Q_i / (\alpha_{внут_i} \cdot F_{внут}) = T_i - T_{вых_i}), \quad (4)$$

где G_{N2} – расход азота, кг/с;

c_{p_N2} – удельная теплоемкость азота, кДж/(кг·К);

$T_{вх_i}$, $T_{вых_i}$ – температуры входа в узел и выхода из узла азота, соответственно, К.

Температура узла определяется по формуле:

$$T_i = (T_{вх_i} + T_{вых_i}) / 2,$$

откуда:

$$T_{вх_i} = 2T_i - T_{вых_i}, \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4) получаем:

$$Q_i = G_{N2} \cdot c_{pN2} \cdot (T_{вхi} - 2 \cdot T_i - T_{вых_i}) = 2 \cdot G_{N2} \cdot c_{pN2} \cdot (T_{вхi} - T_{вых_i}) = 2 \cdot W_{N2} \cdot (T_{вх_i} - T_i) \quad (6)$$

где $2 \cdot W_{N2} = G_{N2} \cdot c_{p_N2}$.

Разрешая систему уравнений (1) - (3) относительно разности температур, получим:

$$\begin{cases} Q_i / (\alpha_{внут_i} \bullet F_{внут}) = T_i - T_{ст_внут_i}, & (1^*) \\ Q_i / ((2 \cdot \pi \cdot l_{уч} \cdot \lambda_{ст_i}) / (\ln(d_{нар} / d_{внут})) = T_{ст_внут_i} - T_{ст_нар_i}, & (2^*) \\ Q_i / \alpha_{нар_i} \bullet F_{нар} \bullet = T_{ст_нар_i} - T_{N2}, & (3^*) \end{cases}$$

Термические сопротивления R_{1_i}, R_{2_i}, R_{3_i}, равны, соответственно:

$$R_{1_i} = 1 / (\alpha_{внут_i} \cdot F_{внут});$$

$$R_{2_i} = 1 / (1 / ((2 \cdot \pi \cdot l_{уч} \cdot \lambda_{ст_i}) / (\ln(d_{нар} / d_{внут}))));$$

$$R_{3_i} = 1 / (\alpha_{внут_i} \cdot F_{внут});$$

тогда:

$$R_{\Sigma_i} = R_{1_i} + R_{2_i} + R_{3_i}.$$

В силу большой теплопроводности пренебрегаем вторым слагаемым, складывая уравнения

(1*)-(3*), получим:

$$Q_i\cdot((1/(\alpha_{внут_i}\cdot F_{внут}))+(1/(1/((2\cdot\pi\cdot l_{уч}\cdot\lambda_{ст_i})/ /(\ln(d_{нар}/ d_{внут})))))+(1/(\alpha_{нар_i}\cdot F_{нар}))) = T_i - T_{N2}, \quad (7)$$

$$Q_i\cdot((1/(\alpha_{внут_i}\bullet F_{внут}))+(1/(1/((2\cdot\pi\cdot l_{уч}\cdot\lambda_{ст_i})/ /(l_n(d_{нар}/d_{внут})))))+(1/(\alpha_{нар_i}\bullet F_{нар}))) = =Q_i(R_{1_i}+R_{2_i}+R_{3_i}) = Q_i R\Sigma_i \quad (8)$$

$$Qi\cdot R\Sigma_i = Ti - TN2 \quad (9)$$

Подставляя (6) в (9) получаем:

$$2\cdot WN2\cdot(Tвх_i - Ti)\cdot R\Sigma_i = Ti - TN2,$$

а обозначив $2\cdot W_{N2}\cdot R_{\Sigma_i} = A_i$, получим:

$$A_i\cdot(T_{вх_i} - T_i) = T_i - T_{N2}.$$

Выразим температуру узла:

$$T_{узл_i} = (A_i\cdot T_{вх_i} + T_{N2})/ A_i + 1.$$

2.2.2. Определение ТФ-свойств и критериев подобия

Критерий Рейнольдса в i-м узле:

$$Re_i = (V_{вх_i}\cdot d_{внут})/ \gamma_i,$$

где $V_{вх}$ – скорость азота на входе в узел, м/с;
$d_{внут}$ – внутренний диаметр трубки, м;
γ_i – кинематическая вязкость азота, м^2·с.

Критерий Прандтля в i-м узле:

$$Pr_i = (\eta_i\cdot c_{p_N2})/ \lambda_{N2_i},$$

где η_i – динамическая вязкость азота, Па·с;
c_{p_N2} – удельная теплоемкость азота, Дж/ (кг·К);
λ_{N2_i} – коэффициент теплопроводности азота, Вт/ (м·К).

Критерий Нуссельта для газа внутри трубки в i-м узле [2,4]:

$$Nu_i = (\alpha_{внут_i}\cdot d_{внут})/ \lambda H_{e_i},$$

где $\alpha_{внут_i}$ – коэффициент теплоотдачи, который определяется по формуле:

$$\alpha_{внут_i} = (Nu_i\cdot\lambda_{N2_i})/ d_{внут}.$$

2.2.3.Зависимость для определения коэффициента теплоотдачи наружной поверхности трубки

$$\alpha_{нар_i} = \begin{cases} 5{,}00\cdot 10^2 & \text{при } (T_{вх_i} - T_{N2}) < 1{,}5\ К; \\ \left(1{,}09\cdot 10^3\cdot\dfrac{(T_{вх_i} - T_{N2})}{К} - 1{,}03\cdot 10^3\right) & \text{при } (T_{вх_i} - T_{N2}) \in (1{,}5;\ 10]\ К; \\ \left(-5{,}23\cdot 10^2\cdot\dfrac{(T_{вх_i} - T_{N2})}{К} - 1{,}53\cdot 10^4\right) & \text{при } (T_{вх_i} - T_{N2}) \in (10;\ 25]\ К; \\ 0{,}62\left(\lambda_{N2ср_i^3}\cdot p_{N2ср_i}\cdot(p_{N2_ж} - p_{N2ср_i})\cdot g\cdot\dfrac{r_{N2ср_i}}{\eta_{N2_{ср}}(T_{вх_i} - T_{N2})d_{нар}}\right)^{0.25} & \text{при } (T_{вх_i} - T_{N2}) \geq 25\ К. \end{cases}$$

Тепловой поток Q узла определяется из уравнения:

$$Q_i = k_i\cdot(T_{вх_i} - T_{N2}),\ где\ k_i = 1/ R_{\Sigma_i}.$$

Температура стенки внутри трубки определяется из уравнения (1):

$$T_{ст_внут_i} = T_i - Q_i\cdot R_{1_i}.$$

Температура наружной стенки трубки определяется из уравнения (2):

$$T_{ст_нар_i} = T_{ст_внут_i} - Q_i\cdot R_{2_i}.$$

Гидравлическое сопротивление трубки определяется по формуле:

$$\Delta p_i = \zeta_i\cdot(l_{уч}/ d_{внут})\cdot((\rho_{вх}\cdot V_{вх_i2}/ 2)),$$

где Δp – падение давления на трубе (гидравлическое сопротивление);
ζ_i – коэффициент сопротивления;
$l_{уч}$ – длина участка трубки, м;
$d_{внут}$ – внутренний диаметр трубки, м;
$\rho_{вх}$ – плотность жидкости или газа в трубе, кг/м3;
$V_{вх_i2}$ – скорость азота в трубе, м/с.

Для трубки с гладкими стенками коэффициент сопротивления определяется по формуле Альтшуля [2,4]:

$$\zeta_{вх} = 1/ (0{,}78\cdot\ln(Re_i) - 1{,}64)^2.$$

2.2.4. Расчет участка конденсации

В области, где происходит конденсация, имеют место следующие явления: снаружи трубки кипит азот, внутри трубки конденсируется пар, при этом разность температур постоянна.

Для данного случая в [5] используются следующие зависимости:

- число Рейнольдса (для смеси пара и жидкости, протекающей в трубке с массовой долей пара – x), определяемое при параметрах, взятых для жидкости:

$$(d_{тр} = 3{,}00\cdot 10^{-2}\ м):$$
$$Re_{конд} = (4\cdot G_{общ})/ (\pi\cdot\mu_{N2}\cdot d_{тр}) = 5{,}36\cdot 10^5;$$

- число Прандтля:

$$Pr_{конд} = (c_{p_N2_ж}\cdot\eta_{N2_ж})/ \lambda_{N2_ж} = 1{,}32.$$

Следующие значения параметров определены с помощью программы ASPEN HYSYS (v.8.4):

- число Нуссельта по [2,5]:

$$Nu_{конд} = 0{,}23\cdot 10^{-3}\cdot Pr_{конд}^{0,4}\cdot Re_{конд}\sqrt{(1 + x\cdot(\rho_ж/ \rho_п - 1))} = 2{,}22\cdot 10^4;$$

- коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_{конд} = (Nu_{конд}\cdot\lambda_{N2_ж})/ d = 6{,}42\cdot 10^3\ Вт/ (м^2\cdot К).$$

- коэффициент теплоотдачи снаружи трубки:

$$\alpha_{кип} = (-5{,}22\cdot 10^2\cdot((T_{вх_1} - T_{N2})/ K) - 1{,}53\cdot 10^4)) = 3{,}60\cdot 10^3\ Вт/ (м^2\cdot К).$$

Поскольку $\alpha_{кип} << \alpha_{конд}$, то процесс теплообмена определяется наибольшим сопротивлением, т.е. коэффициентом теплоотдачи снаружи трубки.

Для конденсации требуется отвести следующее количество теплоты:

$$q_{конд} = r_{N2}\cdot x\cdot G_{тр} = 4{,}20\cdot 10^3\ Вт;$$
$$\Delta T_{конд} = T_{вх_1} - T_{N2} = 2{,}23\cdot 10^1\ К,$$

тогда длина участка конденсации:

$$l_{конд} = q_{конд}/ (\alpha_{кип}\cdot\pi\cdot d_{нар}\cdot\Delta T_{конд}) = 3{,}04\cdot 10^{-1}\ м.$$

Полученная длина области конденсации лежит в пределах принятого запаса теплообменной поверхности.

2.2.5. Результаты расчета для первого узла

Расчеты следующих параметров проводились в математической среде Mathcad 14:

- температура входа в узел:

$$T_{вх} = 1{,}02\cdot 10^2\ К;$$

- давление входа в узле:

$$p_{вх} = 9{,}00\cdot 10^5\ Па;$$

- расход азота:

$$G_{N2_тр} = G_{N2}/ n_{тр} = 1{,}20\cdot 10^{-3}\ кг/с;$$

- длина участка:

$$l_{уч} = 5{,}00\cdot10^{-2}\ м;$$

- площадь проходного сечения:

$$S_{сеч} = (\pi\cdot d^2_{внут})/\ 4 = 2{,}83\cdot10^{-5}\ м^2;$$

- площадь внутренней поверхности трубки:

$$F_{внут} = \pi\cdot d^2_{внут}\cdot l_{уч} = 9{,}43\cdot10^{-4}\ м^2;$$

- площадь наружной поверхности трубки:

$$F_{нар} = \pi\cdot d^2_{нар}\cdot l_{уч} = 1{,}26\cdot10^{-3}\ м^2;$$

- водяной эквивалент потока азота:

$$W_{N2} = G_{N2_тр}\cdot c_{p_N2} = 2{,}78\cdot10^{1}\ Вт/К;$$

- плотность азота на входе в узел:

$$\rho_{N2}(T_{вх}) = (-0{,}43\cdot10^{-1}\cdot T^2 - 2{,}51\cdot T + 8{,}67\cdot10^2) = 6{,}77\cdot10^2\ кг/м^3;$$

- удельная теплоемкость азота на входе:

$$c_{p_N2} = (-0{,}80\cdot10^{-3}\cdot T^2 - 0{,}12\cdot T + 6{,}57)\cdot10^3 = 2{,}37\cdot10^3\ Дж/(кг\cdot К);$$

- скорость азота на входе в узел:

$$V_{вх_1} = G_{N2_тр}/\ (\rho_1\cdot S_{сеч}) = 6{,}10\cdot10^{-1}\ м/с;$$

- динамическая вязкость на входе в узел:

$$\eta_{N2_1} = \eta_{N2_0}\cdot((C_{N2} + 2{,}73\cdot10^2)/(C_{N2} + T_{вх_1}))\cdot(T_{вх_1}/2{,}73\cdot10^2)^{3/2} = 8{,}39\cdot10^{-5}\ Па\cdot с;$$

- кинематическая вязкость на входе в узел:

$$\upsilon_1 = \eta_1/\rho_1 = 1{,}24\cdot10^{-7} м^2\cdot с;$$

- коэффициент теплопроводности азота на входе в узел:

$$\lambda_{N2_1} = \lambda_{N2_0}\cdot((C_{N2} + 2{,}73\cdot10^2)/(C_{N2} + T_{вх_1}))\cdot(T_{вх_1}/2{,}73\cdot10^2)^{3/2} = 1{,}51\cdot10^{-1}\ Вт/(м\cdot К);$$

- число Рейнольдса на входе в узел:

$$Re_1 = (V_{вх_1}\cdot d_{внут})/\ \upsilon_1 = 2{,}95\cdot10^4;$$

- число Прандтля в узле:

$$Pr_1 = (\eta_1\cdot c_{p_N2})/\ \lambda_1 = 1{,}32;$$

- число Нуссельта для газа внутри трубки в узле:

$$Nu_1 = 0{,}21\cdot10^{-1}\cdot Re_1^{0{,}8}\cdot Pr_1^{0{,}43} = 3{,}91\cdot10^2;$$

- коэффициент теплоотдачи внутри трубки в узле:

$$\alpha_{внут1} = (Nu_1\cdot\lambda_{N2_1})/\ d_{внут} = 1{,}13\cdot10^2\ Вт/(м^2\cdot К);$$

- коэффициент теплоотдачи снаружи трубки в узле:

$$\alpha_{нар1} = (-5{,}22\cdot10^2((T_{вх1} - T_{N2})/K) - 1{,}53\cdot10^4) = 3{,}60\cdot10^3\ Вт/(м^2\cdot К);$$

- термическое сопротивление потока внутри трубки в узле:

$$R_{1_i} = 1/\ (\alpha_{внутi}\cdot F_{внут}) = 3{,}74\cdot10^{-1}\ К/\ Вт;$$

- термическое сопротивление паровой пленки снаружи трубки в узле:

$$R_{3_i} = 1/\ (\alpha_{нар_1}\cdot F_{нар}) = 2{,}21\cdot10^{-1}\ К/\ Вт;$$

- суммарное термическое сопротивление:

$$R_{\Sigma_1} = R_{1_1} + R_{31} = 3{,}95\cdot10^{-1}\ К/\ Вт;$$

- коэффициент теплопередачи в узле:

$$k_{F_1} = 1/\ R_{\Sigma_1} = 1{,}68\ К/\ Вт;$$

- вспомогательный коэффициент в узле:

$$A_1 = 2\cdot W_{N2}\cdot R_{\Sigma_1} = 3{,}22\cdot10^1;$$

- температура в узле:

$$T_1 = (A_1\cdot T_{вх_1} + T_{N2})/\ (A_1 + 1) = 1{,}01\cdot10^2\ К;$$

- тепловой поток в узле:

$$Q_1 = 2\cdot W_{N2}\cdot(T_{вх_1} - T_1) = 3{,}44\cdot10^1\ Вт;$$

- температура азота на выходе из узла:

$$T_{вых_1} = 2T_1 - T_{вх1} = 1{,}01\cdot10^2\ К;$$

- коэффициент гидравлического сопротивления:

$$\zeta_1 = 1/\ (0{,}78\cdot\ln(Re_1) - 1{,}64)^2 = 2{,}40\cdot10^2;$$

- потери давления в узле i:

$$\Delta p_1 = \zeta_1\cdot(l_{уч}/\ d_{внут})\cdot((\rho_1\cdot V_{N2_12})/\ 2) = 2{,}57\cdot10^1\ Па;$$

- давление на выходе из узла:

$$p_{вых_1} = p_{вх1} - \Delta p_1 \cong 9{,}00\cdot10^5\ Па;$$

- гидравлические потери:

$$\Delta p_{гидр_сум} = p_{вх_1} - p_{вых40} = 8{,}90\cdot10^6\ Па;$$

- минимальная длина трубок: 1,95 м;
- тепловой поток, отведенный от азота при кипении:

$$q_{кип} = 5{,}30\cdot10^2\ Вт:$$

$$q_{отв} = n_{тр}(q_{конд} + q_{кип}) = 1{,}31\cdot10^1\ кВт.$$

Заключение

В настоящей статье для выбранной в [1] в качестве базового варианта схемы АК УОК – расчетной схемы УОК, построенной по рефрижераторному циклу низкого давления с влажнопаровым турбодетандером, с пластинчато-ребристыми теплообменниками и адсорбционной воздухоразделительной установкой для обеспечения непрерывного функционирования УОК в программе ASPEN HYSYS (v.8.4), проведены расчеты ТОО: ТОА и переохладителя, а именно:

- определены геометрические характеристики ТОП;
- проведен тепловой расчет ТОА и переохладителя;
- определены гидравлические потери в ТОА;
- определены ТФ-свойства и критерии подобия переохладителя;
- исследованы зависимости для определения коэффициента теплоотдачи наружной поверхности трубки переохладителя;
- проведен расчет участка конденсации переохладителя.

По результатам проведенного вычислительного эксперимента построены *Q-T*-диаграммы ТОА и переохладителя, анализ которых позволяет сделать выводы, что:

- *Q-T*-диаграммы:

$$T_{гор} = f(Q);\ T_{хол} = f(Q)\ ТОА\text{-}1\ (рисунок\ 2)$$

представляют собой графики прямой пропорциональности с практически равными коэффициентами пропорциональности;

- график зависимости

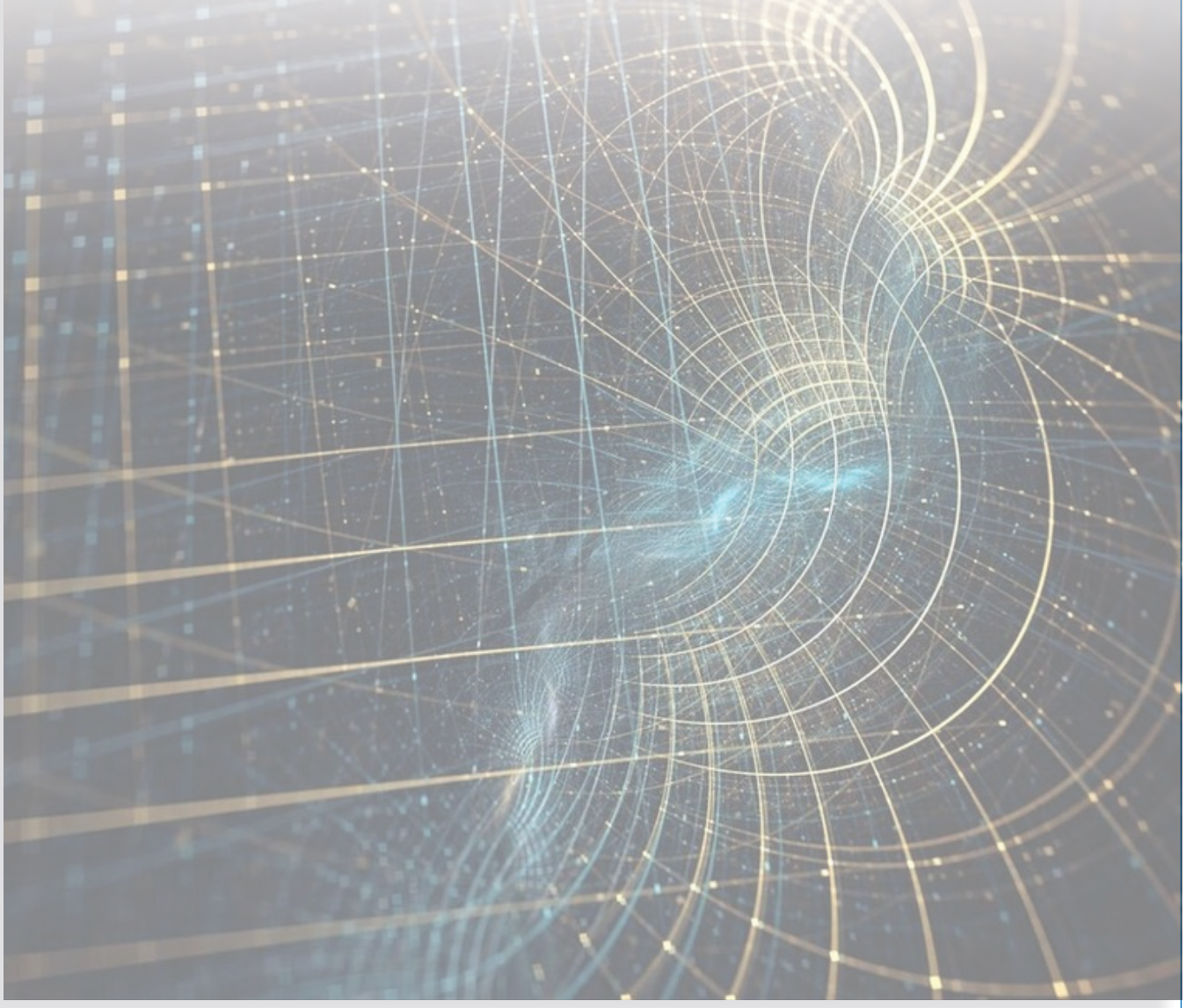
$$T_{хол} = f(Q)\ ТОА\text{-}2\ (рисунок\ 3)$$

также представляет собой прямую пропорциональность, тогда как график функции $T_{гор} = f(Q)$ – близкий к параболе;

• Q-T-диаграмма $T_{гор} = f(Q)$ переохладителя имеет более сложный характер и на полуинтервале [0;7,2) Q представляет собой график прямой пропорциональности, переходящий в константу с $T_{гор}$ =102,4 К на отрезке [7,2;8,6] Q; график зависимости $T_{хол} = f(Q)$ – константа с $T_{хол}$ =79,2 К.

Литература

1. Редькин В.В., Смородин А.И., Сергеев С.С., Кулик М.В., Коробков А.А. Конкурирующие варианты структурно-технологических схем азотных адсорбционно-криогенных установок криотермовакуумных камер для термовакуумных испытаний космических аппаратов // Известия Института инженерной физики, 2020. № 1(55). С. 24-31.
2. Разработка технического предложения по созданию азотных адсорбционно-криогенных установок повышенной надежности и эффективности для обеспечения проведения тепловакуумных испытаний космических аппаратов в криогенных вакуумных камерах с азотными экранами: отчет о СЧ НИР шифр «Норма-ИИФ» (промежуточ.) / Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики»; рук. Редькин В.В.; отв. исполн. Смородин А.И.; исполн.: Коробков А.А. [и др.]. Серпухов, 2016. 109 с. Инв. № 67/И.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик; под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
4. Белов П.Г. Моделирование опасных процессов в техносфере Учебно-методическое издание; методические рекомендации / П.Г. Белов. М.: Изд-во Академии гражданской защиты МЧС РФ, 1999. 124 с.
5. Епифанова В.И. Компрессорные и расширительные машины радиального типа. Учебник для студентов высш. техн. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 623 с.



УДК 57.034; 57.085; 577.3

ПРОЯВЛЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УТРАИВАЮЩИХСЯ ПЕРИОДОВ В МНОГОСУТОЧНЫХ БИОРИТМАХ

THE MANIFESTATION OF A UNIVERSAL PERIOD–TRIPLING SYSTEM IN MANY DAYS BIORHYTHMS

Вадим Николаевич Лесных
младший научный сотрудник
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-94-64
E-mail: 1253vadim@mail.ru

Валерий Александрович Коломбет
кандидат физико-математических наук
заведующий лабораторией
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-94-64
E-mail: kolombet@iteb.ru

Александр Тимофеевич Бондарь
кандидат биологических наук
старший научный сотрудник
Институт биофизики клетки РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел. +7(4967)73-94-64
E-mail: a_bond@rambler.ru

Аннотация

Работа посвящена биоритмам, оказывающим влияние, в частности, на операторов, работающих на ответственных технических комплексах. Многосуточная ритмика различных биохимических и физиологических характеристик млекопитающих (человека, крыс) и птиц может оказаться частным проявлением т.н. универсальной системы утраивающихся периодов $T_{k,m}$, существование которой показано S.J. Puetz в 2009-2015 гг. Предположение о такой фундаментальной природе биоритмов возникает из сопоставления универсальной системы утраивающихся периодов с результатами различных экспериментальных исследований биоритмов в многосуточном диапазоне.

Ключевые слова: многосуточные биоритмы, универсальная система утраивающихся периодов, морфо-функциональные параметры, пролиферативная активность.

Summary

The work is dedicated to many days biorhythms that influence, in particular, on operators working on critical technical systems. Many days rhythms of various biochemical and physiological characteristics of mammals (humans, rats) and birds may be a particular manifestation of the so-called universal period-tripling system $T_{k,m}$, the existence of which was shown by S.J. Puetz at al in 2009-2015. The assumption about fundamental nature of the periods of biorhythms follows from the comparison of the universal period-tripling system with the results of various experimental studies of biorhythms in the many days range.

Keywords: many days rhythms, universal period-tripling system, morpho-functional parameters, the proliferative activity.

Введение

Биологические ритмы (биоритмы) – периодически повторяющиеся изменения характера и интенсивности биологических процессов и явлений. В настоящее время общепризнано, что ритмичность биологических процессов является фундаментальным свойством всей живой материи. Биоритмы выявляются на всех уровнях организации – молекулярном, клеточном, организменном, популяционном и биосферном [1, 2]. Биологические ритмы подразделяют на ультрадианные – с длиной периода менее 20 ч, циркадные (циркадианные) – от 20 до 28 ч, многосуточные (инфрадианные) – от 28 ч до 30 сут, а также сезонные и многолетние. Также различают биоритмы экзо- и эндогенные. Считается, что первые могли бы модулироваться или вызываться вариациями гео- и космофизических параметров, например, циркадные ритмы, многосуточные ритмы с периодом порядка 27-29 суток, связанные с Солнцем и Луной, 11-летние, связанные с периодичностью солнечной активности и т.д. [3]. Наличие вторых можно пытаться объяснять колебательным характером

биохимических реакций, протекающих по типу реакции Белоусова-Жаботинского [4], наличием генов, отвечающих за формирование ритмической биологической активности, особенностями процесса синхронизации отдельных осцилляторов и пр. Физиологическое состояние организма характеризуется всем спектром частот биоритмов экзо- и эндогенного происхождения, сложным образом интерферирующих между собой.

Мы предполагали, что выявленные в ходе работы [5] многосуточные ритмы морфофункциональных параметров эндокринной и иммунной систем, а также пролиферативной активности эпителия млекопитающих и птиц можно будет отнести к какому-то из вышеперечисленных, в общем-то незамысловатых ритмов, возможно, несколько усложненных за счет интерференции с суточным ритмом, т.к. многосуточные ритмы разворачиваются на его фоне. Однако ниже мы приходим к выводу, что эти ритмы фундаментальны – обусловлены т.н. универсальной системой утраивающихся периодов (УСУП) [6-10] и наследуют ее фундаментальное происхождение.

Метод исследования

Мы применили метод сопоставления ритмологических данных, накопленных в трех независимых научных направлениях.

1. Направление УСУП, открытое С. Петцем (Stephen Joseph Puetz).

Этот исследователь создал принципиально новый феноменологический подход к описанию периодических явлений [11, 12]. Книга С. Петца об УСУП, появившаяся в 2009 г., имеет претенциозное название «*Объединенная теория периодических процессов: как периодические процессы главенствуют в структуре вселенной и влияют на земную биосферу*» [11]. В этой книге фактически сформулировано понятие универсальной системы утраивающихся периодов, и вводятся эмпирические формулы для амплитуд, фаз и периодов этой системы. Эти формулы можно увидеть в статье [12]. Здесь мы будем поначалу опираться на формулу Петца, использованную им в [12] лишь для описания периодов УСУП:

$$T_{k,n} = T_0 3^k/n,$$

где T_0 = 114.57… года;
k – целочисленный параметр,
n = 1, 2.

Были найдены и существенно реже встречающиеся значения параметра n; подробнее они описаны ниже. Надо, однако, отметить, что в статье [12] описана система периодов, более компактная, чем в книге [11]; например, в [12] параметр k принадлежит только сегменту 0÷15.

Проверяя справедливость формул С. Петца вне сегмента 0÷15, мы нашли, например, что периоды УСУП проявляются в феноменах пения и музыки [6]. В звуковой диапазон попадает семь пар n=1,2 частот УСУП, и оказалось, что они определили феномен именно семи базовых нот. В ходе эволюции западной музыки настройка нот была выбрана так, что, как впоследствии оказалось, частоты семи базовых нот попали точно в середины пар частот УСУП для n=1 и n=2. В европейской музыкальной традиции эти семь нот известны как Фа, До, Соль, Ре, Ля, Ми и Си. Частоты их отличаются последовательно втрое. Эти базовые ноты (в клавиатуре фортепиано им соответствуют белые клавиши) растиражированы во все октавы и к ним добавлены черные клавиши, которые легко получить по тому же алгоритму, примененному для пяти дополнительных нот, расположенных в ультразвуковой или в инфразвуковой области.

Продвигаясь в своем исследовании проявлений УСУП в область существенно меньших значений параметра k, мы нашли также периоды УСУП, уже давно успешно используемые в УВЧ-терапии (k=-36,-35). Далее мы нашли совпадающие с частотами УСУП предпочтительные тактовые частоты компьютерных процессоров (k=-40,-39) [7,9]. Кроме того, мы обнаружили, наоборот, избегание частот УСУП там, где нужно различить слабый сигнал: в распределениях частот каналов телевещания и мобильной телефонной связи (k=-39÷-36 и k=-40÷-38) и т.п. [10]. Минимальное значение параметра k для тех же значений n мы пока нашли в механизме, отвечающем за т.н. сумеречное (ахроматическое, палочковое) зрение человека: k=-51 [13]. Сводка результатов, накопленных по теме УСУП, представлена на *рисунке 1*.

2. Проявление УСУП в многосуточных биоритмах.

Естественно было предположить, что фундаментальная и всепроникающая УСУП может оказаться источником, по крайней мере, некоторых биоритмов, и мы взяли для исследования результаты недавних экспериментов по изучению многосуточных биоритмов, описанных М.Е. Диатроптовым с соавт. в работах [5, 14-17]. В этих экспериментах, относящихся к области клеточной биологии, цитологии, гистологии и физиологии, исследовались морфофункциональные параметры эндокринной и иммунной систем, а также пролиферативная активность эпи-

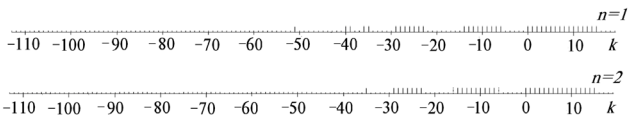


Рис. 1. Универсальная система утраивающихся периодов $T_{k,n}$ при n=1 и 2. Масштаб логарифмический

телия. Объектами были птицы (японские перепела) и млекопитающие (крысы Вистар и люди). Оказалось, что структурные и функциональные параметры, отражающие состояние иммунной и эндокринной систем, динамика пролиферативной активности эпителия у крыс, птиц и человека синхронно ритмически изменяются в многосуточном диапазоне биоритмов с периодами 4 и 12 суток. При хронологическом анализе многосуточных биоритмов в разные сезоны в течение нескольких лет установлено смещение их фазы на 1 сутки вперед каждые 60-72 сут. Это означает, что более точные значения периодов наблюдаемых многосуточных ритмов составляют 4.06 и 12.175 суток [5, 14-17]. В ряде таких экспериментов показано также существование пика на 6 сутках; точное значение этого периода оказалось равным 6.09 сут.

Отношение 12-суточного периода к 4-суточному равно тройке, то есть, значению, характерному для УСУП. Таким образом, возникает первое основание для попытки отнести эти пики тоже к пикам УСУП.

3. Экспериментальный результат А.Т. Бондаря.

Как оказалось, область периодов многосуточных ритмов целиком попадает в описанную в работе [6] область периодов памятного следа (*рисунок 1*) у школьников 11-12-летнего возраста. В ходе этих опытов испытуемые делились на группы, в каждой из которых было не менее 11 человек. В затемненной комнате каждому испытуемому предъявлялись на слух с пятисекундным интервалом одно за другим пять двузначных чисел. Сразу после предъявления последнего числа давалась команда воспроизвести эти числа, а в случае затруднения испытуемому надо было добавить любые двузначные числа так, чтобы количество названных чисел оказалось равным пяти. Во второй фазе опыта каждая из 51 сформированных групп школьников потом обследовалась только через один из 51 интервалов времени. Испытуемым предлагалось вспомнить и назвать предъявленные им ранее числа. Началом отсчета времени у каждого испытуемого было предъявление ему пятого числа в первой фазе опыта. Забытые числа испытуемому предлагалось назвать наугад.

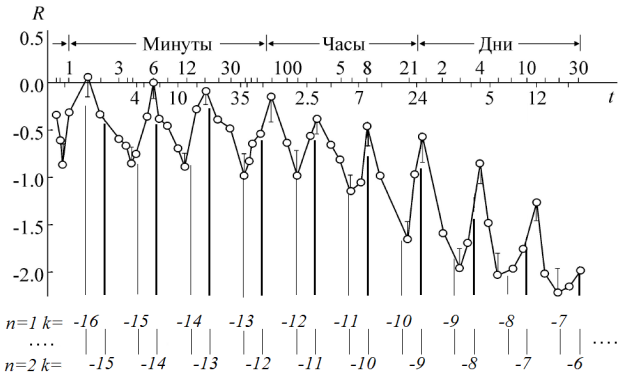


Рис. 2. Результат опытов по изучению изменения вероятности правильного воспроизведения запомненной информации в зависимости от срока ее хранения в памяти человека (ломаная кривая) и сравнение с ритмами УСУП $T_{k,n}=T_0 3^k/n$ при n=1 и 2 (вертикальные отрезки прямых линий) [6]. Масштабы логарифмические

Оказалось, что традиционное тривиальное представление о приблизительно экспоненциальном затухании памятного следа не работает. Школьники, наоборот, сначала быстро забывали предъявленные им числа, но вскоре вспоминали их, чтобы через несколько большее время снова их забыть и т.д. Периоды улучшения памяти удлинялись приблизительно втрое, что роднит их с УСУП. На этот осциллирующий процесс накладывалось ожидаемое общее ослабление памятного следа (*рисунок 2*).

Легко видеть, что основной массив характерных времен, выявленных в этом опыте, находится в хорошем согласии с вычисленными для этой области периодами УСУП (*рисунки 1 и 2*). Осциллирующая кривая иллюстрирует динамику эффективности воспроизведения запомненной информации по мере увеличения интервала времени от момента запоминания. Соответствующий фрагмент вычисленного по формуле Петца дискретного спектра УСУП приведен в нижней части *рисунка 2*. Сходство обнаруженного спектра со спектром УСУП свидетельствует в пользу того, что каждое улучшение памятного следа («качества памяти») связано с неким периодическим процессом при n=2, а каждое «помрачение» памяти – с периодическим процессом при n=1. В части рисунка, соответствующей области многосуточных периодов (это два последних пика), возникает заметное рассогласование результатов расчета и эксперимента; оно является отправной точкой настоящей статьи.

Мы предполагали, что рассогласование предсказанных и экспериментальных положений пиков на *рисунке 2*, возникшее в области многосуточных ритмов (28 часов÷30 суток) обусловлено непринципиальным в данном контексте «краевым эффектом» (например, снижением биологической важности решаемых мозгом задач, относящихся к столь многодневным периодам) и не придавали этому рассогласованию должного значения.

Результаты

Однако итоги экспериментов [5, 14-17] указали на жесткую детерминированность этого «краевого эффекта»: физиологические и био-

химические системы млекопитающих и птиц проявили в инфрадианной области ритмику, которая устойчиво смещена относительно периодов УСУП [5], и, что особенно важно в данном контексте, именно то же самое смещение многосуточных периодов относительно УСУП наблюдается в форме памятного следа в мышлении человека [6] (*рисунок 3*).

Левый (околосуточный) пик на *рисунке 3* – это 26-часовой пик УСУП с параметрами k=-9, n=2, т.е. $T_{-9;2}$.

Обсуждение

(1) Наблюдаемое на *рисунке 2* рассогласование в зоне вычисленных многосуточных периодов УСУП с экспериментально наблюдаемыми периодами [5,6] возникло в момент перехода от 26-часового ритма к многосуточному, вычисленное значение периода УСУП $T_{k,n}$ для которого составляет 3.2 сут, а возможные экспериментальные значения – 3 сут и 4.06 сут. Затем возник период 12 сут. Для длительности следующего, уже околомесячного периода в эксперименте можно ожидать утроенный период 12.175 сут, т.е. 36.53 сут. Из *рисунков 1 и 3* видно, что 29-суточный период в результатах экспериментов со школьниками [6] заведомо отсутствует, а вот зарождение 36.53-суточного периода выглядит вполне вероятным.

(2) Поскольку в многосуточной области обнаружилась ритмика, хотя и необычная, но с утроениями периода, характерными для УСУП, возникает естественный вопрос, можно ли увязать наблюдаемые многосуточные ритмы с какой-нибудь модификацией применения формулы Петца? В формуле Петца можно попытаться подобрать соответствующее значение параметра n; прецедент уже был: в основополагающей статье Петца с соавторами [12] наряду с главными системами периодов, отвечающими n=1 и 2, описаны минорные периоды УСУП, соответствующие n=4 и 32, т.е. $n=2^2$ и 3^5. Периоды с n=1 и 2, можно тогда тоже представить с использованием целочисленных степеней двойки: $n=2^0$ и $n=2^1$.

На *рисунке 4* изображено множество точек – вычисленных по формуле Петца значений $T_{k,n}(n)$ в окрестности значений экспериментального периода T=4.06 сут. Наиболее близкими к 4.06 суткам значениями $T_{k,n}(n)$ на этом рисунке оказываются те, которые соответствуют $n=127\div128$, т.е. 2^7.

То же самое n получается для периода 12.175 сут (*рисунок 5*). Естественно, что номер пика k в этом случае на единицу больше: не -4, а -3.

Рисунки 4 и 5 иллюстрируют итоги последовательного увеличения параметра n: для дискретных значений параметра n=1,2,3, … вычисляли значения периода $T_{k,n}$ и ставили соответствующую точку на плоскости [n,$T_{k,n}$]. Параметр k при этом скачкообразно рос, поскольку, лишь увеличивая k, можно было продолжать следить за узкой окрестностью экспериментальных периодов T=4.06 сут и T=12.175 сут. *Рисунки 4 и 5* показывают, что на базе формулы Петца периоды 4.06 сут и 12.175 сут можно определить как периоды, очень близкие к $T_{-4;2}7$, и $T_{-3;2}7$.

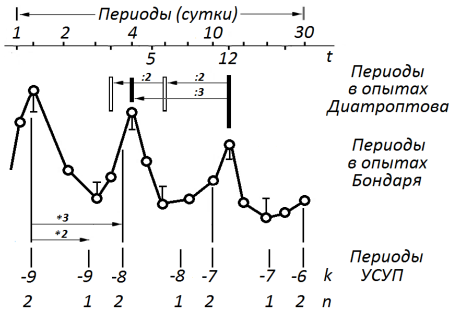


Рис. 3. Фрагмент графика памятного следа человека [6] (ср. с *рисунками 2 и 7*), и обнаруженные периоды физиологических и биохимических характеристик птиц, крыс и человека ([5]) в окрестности периодов многосуточных ритмов. На рисунке видно: а – совпадение 4- и 12-суточных ритмов ряда физиологических и биохимических характеристик животных [5] с 4- и 12-суточными ритмами памятного следа у человека [6], и б – рассогласование экспериментальных многосуточных периодов с периодами, вычисленными по формуле $T_{k,n}=T_0\times3^k/n$ при n=1 и n=2

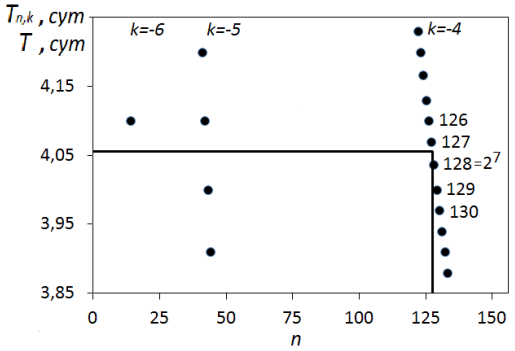


Рис. 4. Последовательный перебор значений параметра n в формуле Петца в зоне периода 4.06 сут. показывает, что этот период может возникать при значении $n\approx2^7$

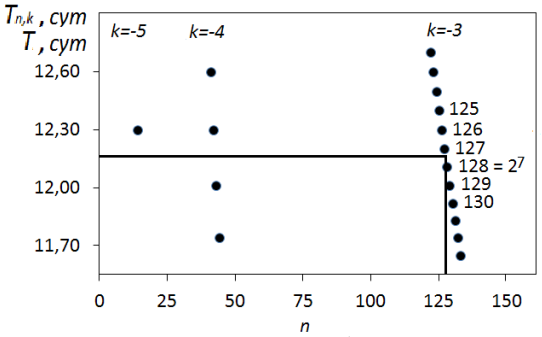


Рис. 5. Последовательный перебор значений параметра n в формуле Петца показывает, что период 12.175 сут. может возникать при $n\approx2^7$

На *рисунке 6* показан аналог *рисунков 4 и 5* – результат сканирования по параметру n зоны многосуточных биоритмов в окрестности T=6.09 сут.

Точки $T_{k,n}$ усеивают плоскость *рисунков 4, 5 и 6* в соответствии с формулой Петца. Реальное положение периода T определяется в эксперименте, оно отмечено на *рисунках 4, 5 и 6* горизонтальной чертой. По этому значению периода T мы определяем параметр n; таким способом сопрягаются эмпирическая теория Петца и эксперимент. Нетривиальность в том, что значения параметра n легко подобрать специфически квантованными. Тогда можно сказать, что в феномене УСУП значения n тяготеют к 2^0, 2^1, 2^2, 2^5, 2^7 и 2^8. Назовем и значения $n=2^m$ и периоды вида $T_{-k,2}m$ каноническими. Судя по нашим данным, канонические значения $n=2^m$ с $m>1$ встречаются в эксперименте с тем меньшей вероятностью, чем больше параметр m. Это параметр ослабления роли периода УСУП. В логарифмическом (по основанию два) масштабе канонические значения 2^m становятся квантованными: m=0, 1, 2, 5, 7 и 8. На *рисунке 2*, а также на *рисунках 4, 5 и 6* наблюдаются частные случаи канонических значений параметра n, а именно 2^0, 2^1, а также 2^7, 2^7 и 2^8.

Новую формулу Петца – как для канонических, так и неканоничнских ритмов – можно переписать в виде

$$P_{k,m}/T_0 = 3^k/2^m.$$

Эта формула совпадает с формулой, с недавнего времени уже используемой Петцем с соавторами. Она была обнаружена ими при изучении проявлений УСУП на астрономических временах [18,19].

Формула

$$P_{k,m}/T_0 = 3^k/2^m$$

дает простую графическую схему аддитивного представления периодов УСУП $P_{k,m}$: в логарифмической шкале переход к каждому следующему k увеличивает логарифм периода на величину $log3$ (и ритм становится втрое реже), а переход к каждому следующему m уменьшает значение логарифма периода на $log2$ (и ритм вдвое учащается).

На *рисунке 7* эта схема использована для иллюстрации возможного механизма происхождения всех четырех рассмотренных выше многосуточных биоритмов. В многосуточной зоне периоды 3.05 сут, 4.06 сут, 6.09 сут. и 12.175 сут. смогли проявиться как гармоники сверхмедленных ритмов 0.71 и 2.12 лет, поскольку они почти синхронизованы с суточным ритмом вращения Земли.

В опытах [6], по результатам которых был построен график памятного следа (см. *рисунки 1 и 3*), 3- и 6-суточные периоды не найдены. В опытах [5] 3- и 6-суточные периоды тоже выглядят ослабленными: в широком спектре различных экспериментов, описанных в работах [5,14-17] они наблюдались существенно реже, чем периоды 4.06 сут. и 12.175 сут. с m=7. Согласно *рисунка 7* для биоритмов 3.05 сут. и 6.09 сут. требуются уровни m=8 и 9, реализация которых, по-видимому, еще более затруднена, чем реализация уровня m=7.

Рисунок 7 позволяет предположить, что наличие мощного суточного ритма мешает наблюдению серии обычных (с n=1 и 2) ритмов УСУП в зоне от k=- 8 до приблизительно k=-5, то есть, в

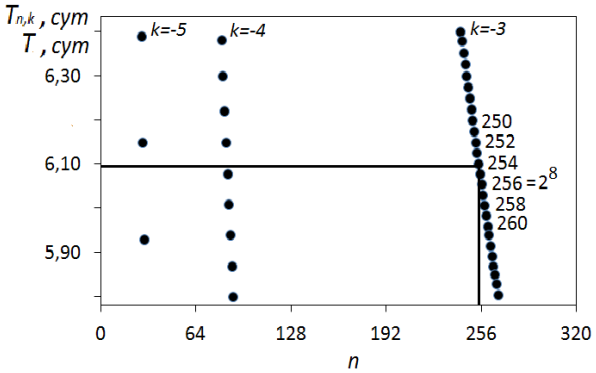


Рис. 6. Период 6.09 сут. тоже можно определить как период УСУП с очень большим n, близким к целочисленной степени двойки: это период $T_{-3;2}8$. Предыдущие и последующие приближения точки (n,$T_{k,n}$) к линии уровня 6.09 сут. происходят при значениях n, отличающихся втрое, еще раз втрое и т.д.

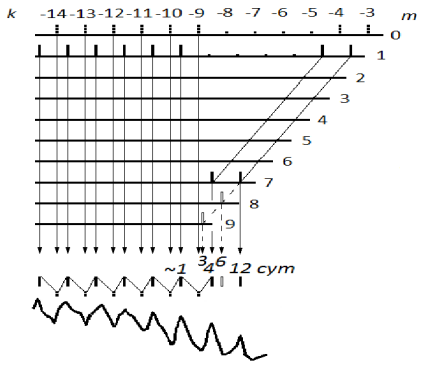


Рис. 7. Четыре многосуточных биоритма, наблюдавшиеся в экспериментах [5,6] тоже являются пиками в спектре УСУП, но с параметром m уже не 1, как было раньше, а 7, 7, 8 и 9. Однако их можно свести к пикам с параметром m=1, т.к. благодаря «почти резонансу» с 3-, 4-, 6- и 12-суточными ритмами вращения Земли могли проявиться два медленных (0.71 год и 2.12 лет) ритма $T_{-4;2}$ и $T_{-3;2}$. Из рисунка видно, что четыре наблюдаемых многосуточных маловероятных биоритма $T_{-4;2}7$, $T_{-3;2}7$, $T_{-3;2}8$ и $T_{-3;2}9$ могли возникнуть как след существования высоковероятных ритмов $T_{-4;2}1$ и $T_{-3;2}1$. Сложная кривая внизу рисунка – это фрагмент *рисунка 2*

зоне многосуточных и, частично, сезонных биоритмов. Обнаруженные многосуточные ритмы биологического происхождения могут быть захвачены гармониками ритмов УСУП $T_{-4;1}$=0.71 год и $T_{-3;1}$=2.12 лет.

(3) Каким мог бы быть механизм возникновения УСУП, претендующей, как ясно из вышесказанного, на роль общей синхронизующей причины природных ритмов, в том числе, биоритмов? См., например, набросок соответствующей теории в [20], где был определен новый математический объект – ритмокаскад. Это каскад бифуркаций, возникающий или исчезающий настолько быстро, что между соседними точками бифуркаций (см., например, [21]) помещается только один период колебаний, и сразу возникает следующая бифуркация. Значения ключевых моментов в ритмокаскаде должны быть на единицу меньше целочисленной степени двойки. Ср. с *рисунками 4, 5 и 6*, где вместо значения 2^7=128 в эксперименте получено 127.25 и 127.30, а вместо значения 2^8=256 найдено 254.45. В среднем, (списывая отличия от целочисленных значений на погрешности эксперимента), это числа вида 2^7–1 и 2^8–1, т.е. как раз числа такого вида, который характерен для ритмокаскада. (Большие отклонения от единицы могут быть обусловлены неидеальностью соответствующих ритмокаскадов). Однако, статистика наблюдений здесь невелика, и делать какие-то определенные выводы теоретического характера пока еще рано.

Так или иначе, мы делаем вывод, что значения частот биоритмов, по крайней мере тех из них, которые обнаружены в многосуточной зоне, могут быть обусловлены подстройкой к частотам УСУП и их гармоникам.

Литература

1. Шноль С.Э. Биологические часы. М: Мир, 1964. 696 с.
2. Биологические ритмы / Под ред. Ю. Ашоффа. М.: Мир, 1984.
3. Уинфри А.Т. Время по биологическим часам. М.: Мир, 1990.
4. Ежов С.Н. Основные концепции биоритмологии // Вестник ТГЭУ, 2008. №2. С.104-121.
5. Диатроптов М.Е. Морфофункциональные параметры эндокринной и иммунной системы и пролиферативная активность эпителия в инфрадианном диапазоне биоритмов. Автореф. дисс. д. б. н. М: 2015. 36 с.
6. Бондарь А.Т., Федоров М.В., Коломбет В.А. Утраивающиеся периоды в мультимасштабных физических и биологических явлениях // Биофизика, 2015. Т.60. Вып.6. С.1208-1215.
7. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В., Федоров М.В. Обнаружение в технических устройствах фрактальной системы утраивающихся периодов, известной по своим физическим, геофизическим, биофизическим и биологическим манифестациям // Биофизика, 2016. Т.61. Вып.3. С.615-624.
8. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. // О перспективе применения фундаментальной системы утраивающихся периодов в мультимасштабных технических устройствах // Известия Института инженерной физики, 2016. №1(39). С.8-11.
9. Коломбет В.А., Коломбет Е.В., Лесных В.Н. // Предсказание тактовой частоты процессора будущего поколения компьютеров как пример эффективности использования в технике свойств фрактальной системы утраивающихся периодов // Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40). С.55-58.
10. Коломбет В.А. Лесных В.Н., Коломбет Е.В. //Особенность проявления фрактальной системы утраивающихся периодов в телевещании и мобильной телефонии // Известия Института инженерной физики, 2016. №4(42). С.20-24.
11. S.J. Puetz, 2009, The unified cycle theory: How cycles dominate the structure of the universe and influence life on earth: Denver, OutskirtsPress. com, 489 p.
12. S.J. Puetz,·A. Prokoph,·G. Borchardt,·E.W. Mason. Evidence of synchronous, decadal to billion year cycles in geological, genetic, and astronomical events // Chaos Solitons & Fractals (2014) 62–63:55–75·DOI: 10.1016/j.chaos.2014.04.001.
13. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. Соответствие сумеречного зрения человека универсальной системе утраивающихся периодов // Известия Института инженерной физики, 2020. №1(55). С.11-15.
14. Диатроптов М.Е. Инфрадианные колебания уровня тестостерона в сыворотке крови лабораторных крыс-самцов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, 2011. № 5. С.577-580.
15. Диатроптов М.Е. Инфрадианный ритм изменения уровня стероидных гормонов и рецепторного антагониста интерлейкина-1 у мужчин зрелого возраста // Иммунология, 2011. №6. С.324-328.
16. Диатроптов М.Е., Макарова О.В. Инфрадианные биоритмы митотической активности эпителия у самцов крыс Вистар // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, 2014. Т.158. №9. С.370-375.
17. Диатроптов М.Е., Макарова О.В., Диатроптова М.А. Закономерности инфрадианных биоритмов митотической активности эпителия пищевода у японских перепелов (*Coturnix japonica*) и крыс Вистар // Геофизические процессы и биосфера, 2014. Т.13. №4. С.82-96.
18. S.J. Puetz, G. Borchardt. Quasi-periodic fractal patterns in geomagnetic reversals, geological activity, and astronomical events. Chaos, Solitons and Fractals 81 (2015) 246–270.
19. Stephen J. Puetz, Andreas Prokoph, Glenn Borchardt. Evaluating alternatives to the Milankovitch theory. Journal of Statistical Planning and Inference. Vol. 170, 2016, P. 158–165.
20. Буданов В.Г. В сб. Синергетика времени / Под ред. В.И. Аршинова. М.: 2007. С.46-72.
21. Шустер Г. Детерминированный хаос: введение. М.: Мир, 1988.

УДК 629.7.05

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС, МОДЕЛИРУЮЩИЙ РАБОТУ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА БОРТУ ВЫСОКОТОЧНЫХ БОЕПРИПАСОВ*

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX SIMULATING WORK NAVIGATION SYSTEMS ON BOARD HIGH-PRECISION MUNITIONS

Алексей Вячеславович Прохорцов
кандидат технических наук, доцент
заведующий кафедрой
ФГБОУ ВО
«Тульский государственный университет»
Адрес: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92
Тел.: 8 (4872) 35-05-52
E-mail: proxav@rambler.ru

Александр Эдуардович Соловьев
доктор технических наук, доцент
заместитель директора института
ФГБОУ ВО
«Тульский государственный университет»
Адрес: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92
Тел.: 8 (4872) 25-70-84
E-mail: ivts.tulgu@rambler.ru

Ольга Владимировна Минина
студентка
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Адрес: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92
Тел.: 8 (4872) 35-05-52
E-mail: OL-within-sun@yandex.ru

Аннотация
В статье представлена разработка аппаратно-программный комплекса для моделирования работы навигационных систем на борту управляемых высокоточных боеприпасов.
Ключевые слова: датчик угловой скорости, акселерометр, бесплатформенная инерциальная навигационная система, математическая модель, испытательное оборудование.

Summary
The article presents the development of a hardware-software complex for modeling the operation of navigation systems on board guided high-precision munitions
Keywords: angular velocity sensor, accelerometer, strapdown inertial navigation systems, mathematical model, test equipment.

Анализ современных военных конфликтов с участием США показывает, что доля высокоточного оружия (ВТО) в общем объеме применяемых вооружений постоянно увеличивается. В операции против Ирака 1994 г. доля ВТО при авиационных бомбардировках составляла 9% от всех средств поражения, в компании против Югославии 1999 г. – 29%, в операции против Афганистана 2002 г. – 70%, а в войне против Ирака 2004 г. – уже около 90%, в Сирии – уже близко к 100%, – причем были испытаны все находящиеся на вооружении армии США образцы ВТО. В составе высокоточных боеприпасов (ВБ) ВТО широко применяются бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС).

В настоящее время каждое предприятие, занимающееся проектированием БИНС для ВБ, проводит огромный цикл работ: разработка математических моделей и траекторий, выбор элементов, проведение испытаний чувствительных элементов, моделирование работы БИНС, создание макетного образца, испытания и т.д. При этом предприятие несет огромные временные и финансовые затраты. Однако часть работ является стандартными и их можно оптимизировать. Предлагается сократить стоимость разработки БИНС ВБ в несколько раз, а время – до нескольких месяцев, путем использования разработанного аппаратно-программного комплекса для моделирования работы навигационных систем на борту управляемых боеприпасов, в котором большинство работ будут выполняться автоматически. В Тульском государственном университете (ТулГУ) выполнили следующие виды работ:

- разработали математическую модель и программное обеспечение, позволяющее быстро создавать траекторию движения ВБ для проведения моделирования;

* Работа выполнена в рамках научно-исследовательского гранта Правительства Тульской области №ДС/124.

• доработали математическую модель БИНС и программное обеспечение, позволяющее выполнить оценку погрешностей определения навигационных параметров, параметров ориентации и движения [1-7];

• провели экспериментальные исследования наборов чувствительных элементов БИНС (датчиков угловой скорости и акселерометров), имеющихся в Тульском государственном университете, с целью экспериментальной оценки реальных характеристик элементов, на испытательном комплексе, приобретенным ТулГУ [8-9];

• создали базу данных, содержащую информацию о реальных характеристиках чувствительных элементов БИНС;

• доработали программное обеспечение, моделирующее работу БИНС на борту ВБ, с учетом требований по точности и габаритам ВБ, с целью обеспечения автоматического выбора чувствительных элементов БИНС, необходимых для создания БИНС ВБ и соответствующее требованиям технического задания [10-13];

• разработали программу и методику проведения экспериментальных исследований навигационных систем в лабораторных условиях (с использованием дорогостоящего испытательного оборудования) с целью оценки погрешностей определения навигационных параметров, параметров движения и ориентации;

• разработали инструкцию пользования созданным аппаратно-программным комплексом.

Структура разработанного аппаратно-программного комплекса приведена на *рисунке 1*.

Одной из составляющих разработанного комплекса является блок формирования траектории полета высокоточного боеприпаса. При этом выбирается модель траектории: баллистическая, с огибанием рельефа местности, с обходом зон ПВО противника, или комбинированная. Далее формируется траектория из типовых участков: движение по параболе, по окружности, разгонный участок, участок торможения, прямолинейное движение и т.д. На сформированную траекторию можно наложить угловые колебания и вибрацию, обусловленные выбранным планером боеприпаса.

Другим блоком данного аппаратно-программного комплекса является блок формирования математических моделей датчиков угловых скоростей и акселерометров. В указанном

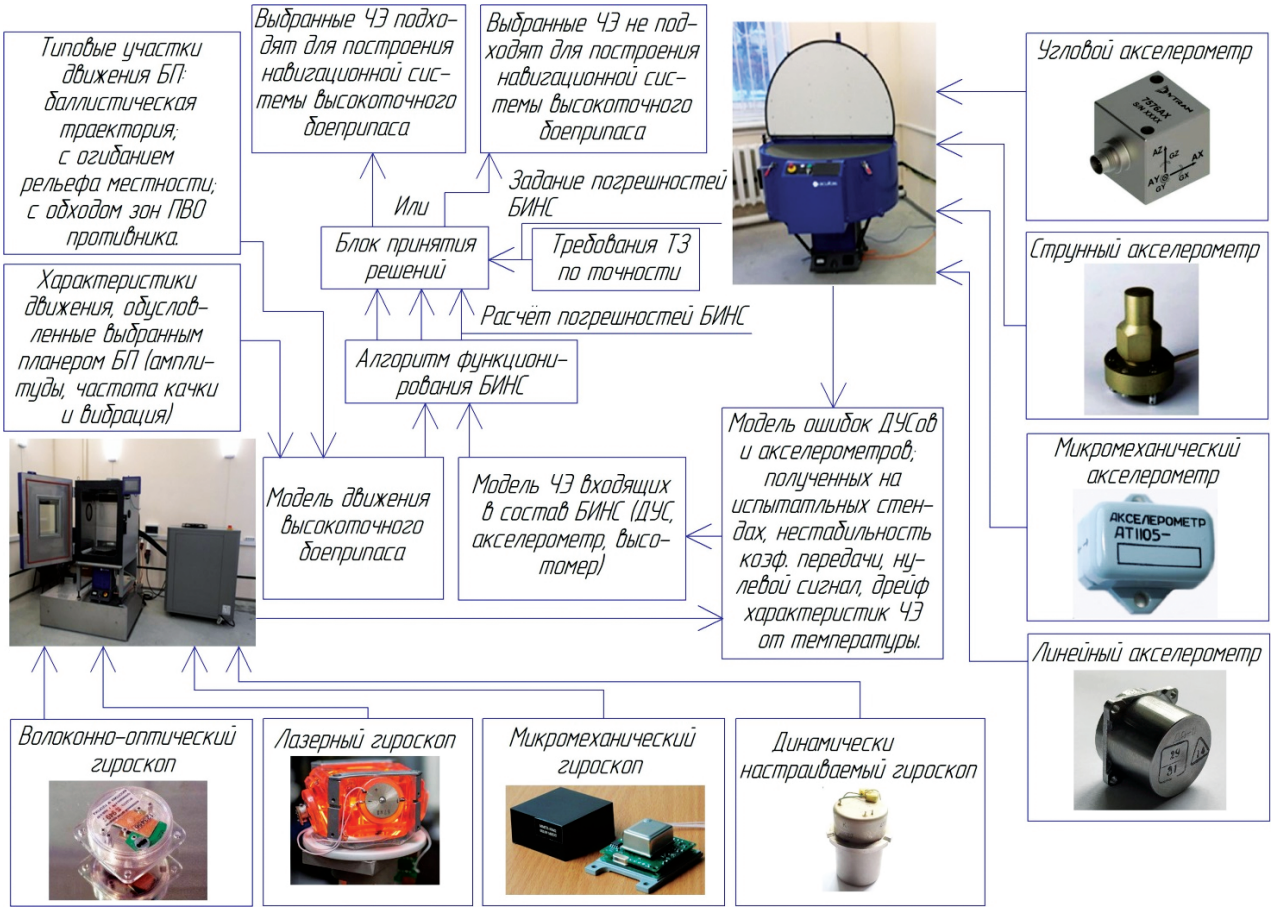


Рис. 1. Структура аппаратно-программного комплекса

блоке содержатся математические модели чувствительных элементов различных классов точности и производителей, с учетом их реальных ошибок, полученных экспериментально на испытательных стендах, приобретенных ТулГУ в рамках программы развития ВУЗа как опорного университета. Информация с данных двух блоков поступает в алгоритм функционирования БИНС, в котором рассчитываются погрешности навигационной системы. Затем данные погрешности сравниваются с требованиями технического задания. Если требования технического задания выполняются, значит выбранные датчики угловых скоростей и акселерометры подходят. А если не выполняются, то необходимо выбрать другие чувствительные элементы, и заново моделировать работу навигационной системы.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что разработанный аппаратно-программный комплекс позволяет существенно снизить время и стоимость разработки.

Литература

1. Прохорцов А.В., Богданов М.Б., Савельев В.В., Смирнов В.А., Сухинин Б.В., Чепурин А.А. Интегрированная система ориентации и навигации высокоманевренного подвижного объекта с малым временем полета // Гироскопия и навигация, 2007. №2. С. 115-125.

2. Способ определения параметров навигации: пат. 2329469 Рос. Федерация МПК G 01 C 23/00; № 2007109919/28; заявл. 19.03.2007, опубл. 20.07.2008, Бюл. №20, Прохорцов А.В., Богданов М.Б., Савельев В.В., Смирнов В.А., Сухинин Б.В., Чепурин А.А.7 с.

3. Способ определения параметров навигации: пат. 2338160 C1 МПК G01 C 23/00 Рос. Федерация. № 2007123823/28; заявл. 25.06.2007; опубл. 10.11.2008, Бюл. №31, Прохорцов А.В., Богданов М.Б., Савельев В.В., Смирнов В.А., Сухинин Б.В., Чепурин А.А. 8 с.

4. Прохорцов А.В., Савельев В.В., Богданов М.Б. Об эффективности различных типов коррекции показаний БИНС по сигналам СНС // Сборник материалов XIII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. Санкт-Петербург: 29-31 мая 2006. С.142-144.

5. Прохорцов А.В., Чепурин А.А., Савельев В.В., Смирнов В.А. Комплексирование данных инерциальной и спутниковой навигационных систем при доступности одного или двух спутников // Известия Института инженерной физики, 2009. №3(13). С. 66-72.

6. Прохорцов А.В., Беркович С.Б., Богданов М.Б., Савельев В.В., Смирнов В.А. Результаты экспериментальных исследований ИСОН, использующей информацию от ограниченного количества навигационных спутников // Известия Института инженерной физики, 2011. №3(21). С.76-78.

7. Прохорцов А.В. Метод повышения точности определения параметров ориентации путем совместной обработки сигналов БИНС и приемной аппаратуры СНС с применением одной антенны по сигналам трех и более навигационных спутников // Известия Института инженерной физики, 2018. №3(49). С. 31 – 36.

8. Прохорцов А.В., Юдакова Н.Д. Результаты экспериментального исследования акселерометров АТ 1105 // Известия ТулГУ. Технические науки, 2019. Вып.10. С. 286-291.

9. Прохорцов А.В., Богданов М.Б., Смирнов В.А., Минина О.В. Математическая модель ВОГа ВГ949П, полученная экспериментально // Известия Института инженерной физики, 2019. №4(54). С. 25-27.

10. Программа моделирования работы инерциально-спутниковой навигационной системы, построенной по разомкнутой схеме комплексирования: пат. 2016660518 Рос. Федерация. №2016617961; заявл. 19.07.2016; опубл. 20.10.2016, Прохорцов А.В. 1 с.

11. Программа моделирования работы инерциально-спутниковой навигационной системы, построенной по слабосвязанной схеме комплексирования: пат. 2019615760 Рос. Федерация, №2019614080; заявл. 15.04.2019; опубл. 07.05.2019, Бюл. № 5. Прохорцов А.В., Наугольный В.А., 1 с.

12. Программа моделирования работы акселерометрической бесплатформенной инерциальной навигационной системы: №2019616024 Рос. Федерация; заявл. 24.05.2019; №2019617138, 04.06.2019, Прохорцов А.В., Смирнов В.А., Юдакова Н.Д.

13. Программа моделирования работы инерциально-спутниковой навигационной системы, построенной по сильносвязанной схеме комплексирования; №2019666099 Рос. Федерация; заявл. 09.12.2019. №2019667249; 20.12.2019. Прохорцов А.В., Смирнова В.В.

УДК 629.78

АЛЬТЕРНАТИВА ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ БОРТОВОЙ ПИРОАВТОМАТИКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

AN ALTERNATIVE TO INCREASING THE NOISE IMMUNITY OF AIRCRAFT ONBOARD PYROAUTOMATICS

Сергей Владимирович Смуров
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, профессор
Первый Вице-президент Института – Главный конструктор
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (985) 923-31-93
E-mail: svs _iif@mail.ru

Андрей Евгеньевич Салько
лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники
доктор технических наук, профессор
заместитель генерального директора по научно-технической политике и межструктурным коммуникациям
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (985) 923-42-09

Владимир Ильич Загарских
кандидат технических наук, доцент
старший научный сотрудник
ВА РВСН имени Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: 8 (903) 254-68-56
E-mail: zagarskihv@rambler.ru

Евгений Николаевич Кузин
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
старший научный сотрудник
ВА РВСН имени Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: 8 (916) 105-48-25
E-mail: varvsn@mil.ru

Аннотация
В статье рассмотрен вариант построения логической системы разведения команд к исполнительным элементам системы пироавтоматики на основе детонирующих удлиненных зарядов, обеспечивающей защиту системы управления летательных аппаратов (ракет) от различного рода внешних нагрузок.
Ключевые слова: помехозащищенность; транслятор детонации; детонирующий удлиненный заряд.

Summary
The article discusses the option of constructing a logical system for breeding commands to the executive elements of a pyroautomatics system based on detonating elongated charges, which protects the control system of aircraft (missiles) from various external loads.
Keywords: noise immunity; knock translator; detonating elongated charge.

В современных летательных аппаратах (ЛА), изделиях ракетно-космической техники (РКТ) широко применяются средства пироавтоматики (СПА), принцип действия которых основан на использовании энергии горения и взрыва (детонации) высокоэнергетических конденсированных систем. Перспективы совершенствования и развития ЛА и РКТ направлены как на расширение круга задач, решаемых СПА, так и на повышение эффективности их действия.

В свою очередь применение большого числа средств пироавтоматики требует множества числа точек инициирования, в конечном счете – мостиков накаливания, поскольку подавляющее большинство существующих пироустройств задействуются от электрических сигналов, выдаваемых системой управления (СУ). Это неизбежно ведет к увеличению потребной мощности источников питания и формированию весьма разветвленной бортовой кабельной сети (БКС). Наличие большого числа мостиков накаливания и разветвленной БКС отрицательно сказывается

на стойкости СУ к воздействию различного рода внешних нагрузок.

Одним из альтернативных путей повышения стойкости и помехозащищенности СПА от внешних нагрузок является замена части электрических связей системы управления на детонационную систему разведения команд. Принципиальная схема системы разведения детонационных команд представлена на *рисунке 1*. Известно [1,2], что такая система обладает рядом неоспоримых преимуществ. Она не чувствительна к электромагнитным импульсам, имеет высокую радиационную, термическую, вибрационную и ударно-волновую стойкость, не требует мощных источников электрического питания. Применение детонационной системы разведения команд с логическими элементами исключает наличие большого числа средств инициирования электрического действия, повышает надежность системы управления, снижает бортовое энергопотребление.

Подобные системы, в которых выходные сигналы определены для некоторых фиксированных моментов времени на заданном интервале, называются системами с дискретным временем. Схема состоит из функциональных элементов, каждый из которых определяет некоторую функцию логики. Принцип работы системы разведения состоит в следующем. Сигнал от системы управления поступает на предохранительно-пусковое устройство, которое предохраняет систему разведения от несанкционированных воздействий [3] и гарантированно возбуждает взрывчатое превращение в снаряжении заряда-транслятора, передающего команду на разветвитель. Разветвитель имеет некоторое число выходов и осуществляет преобразование входного сигнала в выходные. Выходные сигналы по зарядам-трансляторам передаются к исполнительным пиромеханизмам (воспламенительное устройство, детонационная чека, детонационный нож, детонационный замок, и др.) в

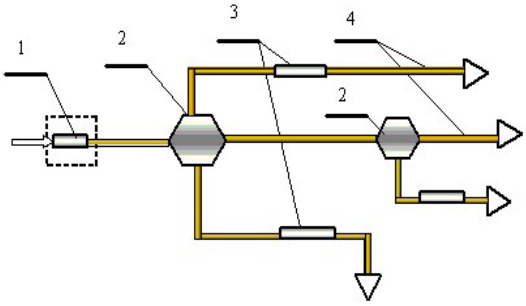


Рис. 1. Принципиальная схема системы разведения детонационных команд:
1 – узел инициирования; 2 – разветвитель команд; 3– замедлитель; 4 – заряд-транслятор

определенной логической последовательности. Необходимые временные задержки обеспечиваются как временем протекания взрывчатого превращения в снаряжении заряда-транслятора с заданными линейными размерами, так и временными устройствами – замедлителями детонационных команд.

В системе разведения детонационных команд основными элементами являются заряды-трансляторы, в качестве которых могут найти применение удлиненные заряды (УЗ) взрывчатых веществ в различном конструктивном исполнении. Такие заряды должны отвечать комплексу жестких требований по детонационным, массово-габаритным характеристикам, величине передаваемого импульса, боковому энерговыделению, физической стойкости и химической стабильности.

Из анализа научно-технической литературы в области разработки удлиненных зарядов, которые могут быть использованы в качестве трансляторов детонационных команд, следует, что к таким зарядам можно отнести УЗ в неразрушаемых или условно неразрушаемых металлических оболочках [4,5], неразрушаемые трансляторы детонации («Транеры») [6,7], ударно-волновые трубки (УВТ) [8], УЗ с продольным каналом (УЗПК) [9]. Перечисленные удлиненные заряды построены на близких, по существу, принципах. Они, как правило, представляют собой незначительный по массе заряд высокобризантного ВВ (кристаллического либо эластичного), заключенного в металлическую, полимерную или комбинированную оболочку, подобранную так, чтобы исключить образование поля осколков и истечение продуктов детонации в окружающую среду при детонации снаряжения. Так, для УЗ в металлических неразрушаемых оболочках расчет толщины ($\delta_{кр}$) стенки производят по эмпирическому уравнению, приведенному в [10],

$$\delta_{кр} = r_0\left(-ln\frac{p_{вн}^{кр}}{p_x}\times 1{,}504\right)^{1{,}626}, \qquad (1)$$

где r_0 – радиус снаряжения УЗ;
$p_{вн}^{кр}$ – критическое давление на внешней поверхности оболочки;
p_x – давление на контактной поверхности «ВВ – оболочка».

Критическое давление $p_{вн}^{кр}$ на внешней поверхности оболочки может быть определено только экспериментально для различных комбинаций «материал оболочки – внешняя среда». К примеру, для зарядов в медных оболочках значение $p_{вн}^{кр}$ составляет 1,96 ГПа, а для зарядов в алюминиевых оболочках – 1,77 ГПа (при подрыве зарядов в воздушной среде). Эмпирические коэффициенты, приведенные в уравнении 1,

получены в результате обработки экспериментальных данных и справедливы только для оболочек, выполненных из меди, алюминия, стали и свинца.

Заряды в неразрушаемых металлических оболочках решают задачу полной локализации продуктов детонации и отсутствия осколочного поля взрыва. Но имеют, по крайней мере, один существенный недостаток. Масса таких зарядов диаметром от 7,0 до 10,0 мм в однослойном металлическом корпусе составляет от 100 до 700 г/м. Замена однослойной неразрушаемой оболочки удлиненного заряда на двухслойную (в комбинации медь – алюминий) ведет к снижению массовых характеристик УЗ. Однако и такие заряды по массовым характеристикам не отвечают предъявляемым к ним требованиям. Основные характеристики зарядов в неразрушаемых оболочках приведены в *таблице 1*.

Кроме того, для снижения бокового энерговыделения диаметр снаряжения из высокобризантных индивидуальных ВВ УЗ в неразрушаемых металлических оболочках приближается к критическому, что неизбежно ведет к снижению инициирующей способности заряда. Для обеспечения ее необходимых параметров между зарядом-транслятором и инициируемым зарядом необходимо устанавливать промежуточный заряд повышенной мощности, что усложняет конструкцию трансляторов.

В последние годы для СПА космических аппаратов были созданы и нашли применение неразрушаемые гибкие герметичные трансляторы детонации, которые исключают при функционировании выход газообразных продуктов взрыва в окружающую среду. Такие заряды изготавливают из специально разработанных для этих целей в СКТБ «Технолог» эластичных ВВ (ЭВВ): ЭВВ-22М, ЭВВ-22Т на основе высокодисперсного пенраэритритатетранитрата (ТЭН) и ЭВВ «Транелит» на основе бензотрифуроксана [11]. Критический диаметр детонации этих ЭВВ без прочной оболочки составляет 0,2-0,4 мм.

В общем случае конструкция неразрушаемого транслятора включает удлиненный заряд ЭВВ, помещенный в тонкостенную металлическую трубку с нанесенным на нее слоем высокопрочных синтетических нитей высокомодульного волокна СВМ (кевлар) и заключенный в металлическую оболочку из алюминиевого сплава или нержавеющей стали. На концах УЗ требуемой длины установлены наконечники с передаточным (усилительным) зарядом, запорным устройством и накидными гайками. Трансляторы подобного типа получили название «Транер». Они имеет диаметр взрывчатой сердцевины 0,5-0,7 мм, массу ВВ 0,3-0,6 г/м и общую удельную массу 30-90 г/м в зависимости от материала наружной оболочки.

Общий вид описанной конструкции неразрушаемого транслятора детонации типа «Транер» показан на *рисунке 2*.

Обладая рядом преимуществ по сравнению с зарядами в неразрушаемой и условно разрушаемой оболочке, трансляторам детонации типа «Транер» присущи и недостатки. Прежде всего, это сложная технология, необходимость наличия в конструкции усилительных зарядов [12] вследствие низкой инициирующей способности основного элемента – удлиненного заряда.

Ударно-волновые трубки относятся к системам инициирования неэлектрического взрывания (СИНВ) повышенной безопасности, не содержащим инициирующие взрывчатые вещества [8]. Они представляют собой гибкую пластиковую трубку диаметром 3,0-3,5 мм, состоящую из трех слоев специальных пластмасс. УВТ изготавливают методом экструзии. На внутреннюю поверхность трубки наносят тонкий слой ВВ. Масса ВВ в трубках, предназначенных для передачи или размножения импульсов, составляет 20,0 г/м. При инициировании снаряжения УВТ взрывной процесс в нем распространяется со скоростью около 2000 м/с. При этом давление в потоке продуктов реакции не превышает 5 МПа. При таком давлении практически отсутствует боковое энерговыделение и не происходит разрушение корпуса трубки. Но этого давления недостаточно для непосредственного инициирования детонации в зарядах ВВ. Передаваемый импульс способен только воспламе-

Таблица 1

Характеристики зарядов в неразрушаемых оболочках

Марка заряда	Основные характеристики			
	Диаметр заряда, мм	Диаметр снаряжения, мм	Масса снаряжения, г/м	Масса заряда, г/м
УЗ-10,0-М-Г	10,0	1,05	1,36	693
УЗ-8,5-М-Г	8,5	1,03	1,36	499
УЗ-8,5-А-Г	8,5	1,03	1,21	151
УЗ-7,0-А-Г	7,0	0,98	1,21	102

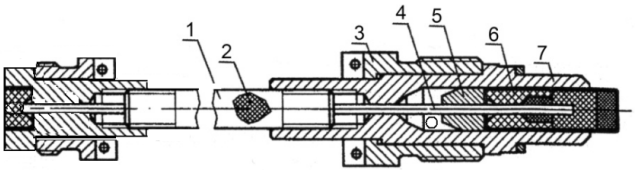


Рис. 2. Общий вид неразрушаемого транслятора детонации («Транер»): 1 – наружная трубка; 2 – обмотка нитями СВМ; 3 – гайка; 4 – удлиненный заряд; 5 – запирающий конус; 6 – заряд усилитель; 7 – наконечник

нить зажигательный заряд специального капсюля детонатора, установленного на конце УВТ и входящего в состав СИНВ.

Имея несомненные преимущества по сравнению с УЗ в неразрушаемых корпусах, следует отметить и некоторые существенные недостатки, присущие УВТ. Наличие пластмассового корпуса неизбежно сказывается на гарантийном сроке хранения, поскольку всем полимерам свойственно старение. УВТ не обладают высокой стойкостью к интенсивным ударно-волновым, вибрационным нагрузкам, которые неизбежно будут возникать при осуществлении полета ЛА и изделий ракетно-космической техники, а также к глубокому вакууму и космическому излучению.

Сохранение и даже увеличение инициирующего импульса при одновременном снижении побочного действия может быть достигнуто иной конструктивно-компоновочной схемой заряда-транслятора. А именно – наличием в снаряжении заряда продольного канала, заключенного в тонкостенный металлический корпус (*рисунок 3*). Экспериментально установлено, что такая компоновка удлиненного заряда позволяет реализовать в снаряжении пересжатый режим детонации, скорость распространения которого может превышать нормальную скорость детонации на 20-40% и более при массе снаряжения 1,0-3,0 г/м. [13]. Высокая скорость детонации и кольцевое расположение снаряжения существенно увеличивает инициирующий импульс таких трансляторов по сравнению с обычными удлиненными зарядами с равной массой ВВ. Одновременно снижается их боковое энерговыделение вследствие малой массы снаряжения и того, что часть энергии взрыва расходуется на обжатие внутреннего канала.

По результатам рассмотрения различных вариантов конструктивного исполнения зарядов-трансляторов, как одних из основных элементов систем разведения детонационных команд, в качестве базового варианта схемы построения, по нашему мнению, целесообразно выбрать заряды-трансляторы с продольным каналом и провести дальнейший комплекс теоретико-экспериментальных исследований.

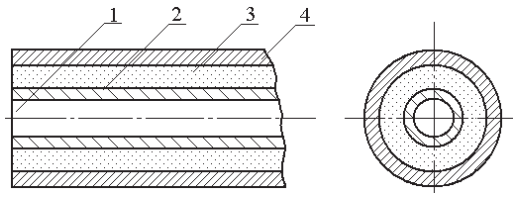


Рис. 3. Заряд-транслятор детонации с продольным каналом: 1 – продольный канал; 2 – внутренняя оболочка; 3 – взрывчатое вещество; 4 – наружная оболочка

Литература

1. Демьяненко Д.Б., Дудырев А.С., Ефанов В.В. и др. Пиротехнические временные устройства объектов космической техники // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2012. № 3. С.35-39.
2. Аттетков А.В., Бойко М.М. Детонационные логические элементы // ФГВ, 1994. №5. С.123.
3. Смуров С.В., Салько А.Е., Загарских В.И., Кузин Е.Н. Научно-методическое обоснование возможности создания предохранительно-пускового устройства детонационного принципа действия // Известия Института инженерной физики, 2020. №1(55). С.32-36.
4. Загарских В.И., Кузин Е.Н., Гладышев А.И. Детонационные устройства изделий ракетно-космической техники: Монография. М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2018. 173 с.
5. Пат. 2554166 РФ МПК F42B 3/00. Заряд-транслятор в условно неразрушаемой многослойной оболочке / Кузин Е.Н., Загарских В.И., Волков А.В., Куткина Н.А.; заявитель и патентообладатель ВА РВСН им. Петра Великого. - №2014111768; заявл. 28.03.2014; опубл. 27.06.2015, Бюл. №18.
6. Ефанов В.В., Горовцов В.В. Конструкция и расчет систем и устройств разделения космических аппаратов: Учебное пособие. М.: Изд-во МАИ, 2015. 112 с.
7. Пат. 2633848 РФ МПК F42B 12/00. C06C 5/04. Неразрушаемый транслятор детонации / Ефанов В.В., Горовцов В.В., Кузин Е.Н., Душенок С.А., Котомин А.А.; заявитель и патентообладатель АО НПО имени С.А. Лавочкина. - №2016132309; заявл. 05.08.2016; опубл. 18.10.2017, Бюл. №29.
8. ТУ 3-98 ИВШП 773941.008 ТУ. Трубки ударно-волновые.
9. Пат. 2134254 РФ МПК C06C. Линейный заряд-транслятор детонационных команд кольцевого типа / Иванов С.В., Загарских В.И, Кузин Е.Н.; заявитель и патентообладатель Военная академия РВСН им. Петра Великого.-№97101785/02; заявл.05.02.97; опубл. 10.08.99, Бюл. №22.
10. Кузин Е.Н., Загарских В.И., Ефанов В.В. Закономерности затухания осесимметричных ударных волн в оболочках детонирующих удлиненных зарядов // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина, 2015. №4. С. 23-30.
11. Ефанов В.В. Проектирование устройств и систем разделения космических аппаратов // Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований / Под. ред. В.В. Хартова, В.В. Ефанова: В 3-х томах. Т.1. -2-е изд., перераб. – Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2014. С. 336-398.
12. Пат. 2636069 РФ МПК F42C 1/00, B64G 1/64. Заряд усилитель-трансляторов детонации бортовой автоматики летательных аппаратов / Ефанов В.В., Горовцов В.В., Кузин Е.Н., Душенок С.А., Котомин А.А.; заявитель и патентообладатель АО НПО имени С.А. Лавочкина. - №2016132312; заявл. 05.08.2016; опубл. 20.11.2017, Бюл. №32.
13. Физика взрыва / Под ред. Л.П.Орленко. Изд. 3-е, переработанное. В 2 т. Т.1. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 832 с.

УДК 551.586

РЕАЛИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ВОЕННОСЛУЖАЩЕГО ОТ ХОЛОДА С АКТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

IMPLEMENTATION OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR A SOLDIER FROM THE COLD WITH AN ACTIVE ELECTRIC HEATING SYSTEM

Андрей Сергеевич Бутранов
адъюнкт
филиал ВА РВСН имени Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (4967) 72-19-11
E-mail: varvsn-serp@mil.ru

Аннотация
В статье рассмотрены вопросы разработки технических решений по созданию специального комплекта с системой локального активного обогрева в составе штатной экипировки военнослужащего для создания комфортных условий при выполнении им служебных задач в различных климатических зонах при воздействии низкой температуры окружающей среды.
Ключевые слова: локальный обогрев, нагревательные элементы, теплопотери, дефицит тепла.

Summary
The article discusses the development of technical solutions for creating a special kit with a local active heating system as part of the soldier's standard equipment to create comfortable conditions for him to perform official tasks in various climatic zones when exposed to low ambient temperatures.
Keywords: local heating, heating elements, heat loss, heat deficit.

Поскольку возможности средств индивидуальной защиты от холода весьма ограничены, актуальной задачей остается изыскание дополнительных способов, методов, средств уменьшения теплопотерь военнослужащего, выполняющего поставленные задачи в различных климатических зонах.

Анализ существующих средств индивидуальной защиты военнослужащих показал, что специальная одежда не полностью отвечает реальным условиям ее эксплуатации, требованиям комплексной защиты от различных вредных опасных климатических факторов. Выбор комплектности теплозащитной одежды не согласован с принципами и механизмами формирования ее теплоизоляции, так как отсутствуют исследования реальных условий эксплуатации защитной одежды, а также сведения об основных тактических движениях и энерготратах, производимых в течение времени нахождения на посту основными номерами расчетов дежурных смен. Изучение биологического действия низких температур на организм военнослужащего диктуется необходимостью создания условий для обеспечения безопасности военной службы.

Военнослужащие в силу особенностей условий выполнения служебных задач осуществляют свою деятельность на открытом воздухе (несение службы в составе дежурных смен охраны и обороны, на полевых позициях, обслуживание техники и др.) и экипируются многоуровневой системой защиты в виде всесезонного комплекта полевого обмундирования, предназначенного для использования при температурном режиме от минус 40°С до плюс 15°С [1]. В этом случае существует потенциальный риск получения серьезных травм от холода, таких как переохлаждение всего организма (гипотермия) или отдельных частей тела (обморожение), в том числе конечностей и дыхательных путей.

Особенности выполнения задач номерами расчетов на открытом воздухе в условиях низких температур в первую очередь связаны с климатическими и погодными факторами: температурой воздуха, влажностью, ветром, солнечным

излучением, осадками, а также с изменением интенсивности физической нагрузки. Указанные факторы существенно влияют на увеличение риска травм от холода и должны учитываться при организации работ.

Важным средством индивидуальной защиты от воздействия отрицательных температур является правильно подобранная защитная одежда, к которой предъявляются особые требования. Одежда должна иметь воздушные зазоры (подушки), изолирующие организм от отрицательного воздействия окружающей среды и гарантировать защиту от холода. Оптимальная система одежды для изменяющихся климатических условий и физических нагрузок, состоит из нескольких слоев, каждый из которых несет свою функцию.

Для повышения безопасности работ необходимо нормировать время труда и отдыха в зависимости не только от типа выполняемой работы, но и от температурного режима, при котором она выполняется [3].

Практически нельзя создать такую теплозащиту, которая одновременно защищала бы военнослужащего от холода в состоянии покоя и обеспечивала достаточную теплопередачу во время физической работы, сохраняя удобство ношения, не мешая движениям.

П. Сайпл (P. Siple) на основании многолетних наблюдений во время экспедиций в Антарктику предложил три принципа построения одежды [2]:

1. Теплозащитные свойства одежды рассчитывают исходя из энергозатрат человека, находящегося в покое. В случае усиления физической активности охлаждение организма должно происходить за счет проветривания пододежного пространства.

2. Теплозащитные свойства одежды недостаточны для человека, находящегося в покое, но при этом он имеет возможность поддерживать тепловое равновесие путем усиления физической деятельности.

3. Теплозащитные свойства одежды изменяются в зависимости от вида деятельности и метеорологических условий за счет увеличения или сокращения слоев одежды. В первом случае движения человека ограничены большой толщиной и массой одежды, при этом регулировать теплоотдачу можно, снимая и надевая ветрозащитный слой, что занимает время и не всегда удобно, лучшим вариантом является дополнительный обогреваемый слой одежды с регулированием уровня обогрева.

В основу проектирования специального комплекта положена структура регулируемых теплофизических характеристик штатной экипировки защитной одежды военнослужащего всесезонного комплекта повседневной одежды (ВКПО), обеспечивающая взаимосвязь теплофизических параметров и свойств материалов, переменных энерготрат военнослужащего и климатических условий. ВКПО позволяет формировать рациональную структуру видового и модельного многообразия ассортимента защитной одежды в рамках единых функциональных требований к форме одежды для частей и подразделений РВСН с учетом реальных условий выполнения частных задач.

В зависимости от того, в каком состоянии находится организм человека (сон, отдых, умственная или физическая работа) и параметров воздушной среды, каждый человек выделяет 330-1050 кДж тепла, 40-415 г влаги и 18-36 литров углекислого газа в течение часа [4,5]. С ростом физической нагрузки на организм, при постоянной температуре воздуха и поверхностей ограждений увеличиваются показатели тепловыделения и отводимой испарением влаги. При неизменной нагрузке и повышении температуры внешней среды уменьшается доля явного теплоотвода, а отвод тепла испарением возрастает при практически неизменных общих тепловыделениях.

Оптимальный микроклимат под одеждой обеспечивает нормальное функциональное состояние военнослужащего, хорошее его самочувствие и как следствие этого сохранение высокой работоспособности, корректного выполнения поставленных служебных задач, эффективность жизнедеятельности человека в целом.

Климатические условия в различных регионах России в местах дислокации воинских частей характеризуются неоднородностью климатических условий, резкими перепадами температур воздуха, влажности и скорости ветра, которые могут меняться периодически и внезапно в течение суток.

Таким образом, возрастает роль средств индивидуальной защиты от холода, обладающих улучшенными эксплуатационными и защитными свойствами; одежды, предназначенной для поддержания длительного теплового равновесия между организмом военнослужащего и окружающей средой.

Введение в состав ВКПО активной системы электрообогрева, размещенной на жилете, позволит уменьшить теплопотери и поддерживать теплообмен военнослужащего на уровне, обеспечивающем комфортные теплоощущения при изменении физической нагрузки, а также обеспечивать равномерную защиту поверхности тела от охлаждения.

В качестве нагревательных элементов для проектируемого специального комплекта с системой активного обогрева могут использоваться, как гибкие нагревательные элементы, выполненные из лавсановых нитей с резистивным напылением оксидов металла, так и гибкие нагревательные элементы из электропроводящей ткани на основе нити бикарболон-2М, полиамидной нити и вплетенными в них токопроводящими шинами из мишурных нитей.

Мощность и конструктивные параметры нагревательных элементов обеспечивают:

- номинальную мощность системы обогрева не менее 40 Вт;
- обогрев частей тела военнослужащего в области грудной клетки, спины (поясницы);
- температуру поверхности нагревательного элемента не выше плюс 36-40°С;
- максимальную суммарную площадь контакта тепловыделяющих элементов с поверхностью тела военнослужащего.

Варианты обогревающего жилета с нагревательными элементами из углеродной ткани и из тепловолокна представлены в соответствии с *рисунком 1* [6,7].

Теплоизоляция ВКПО военнослужащего определяется конструкцией его составляющих (например, куртка, брюки, жилет и др.), теплофизическими свойствами материалов, скоростью движения воздуха и интенсивностью движения человека, обусловливающих увеличение его теплопотерь. Под теплоизоляцией комплекта одежды понимается полное сопротивление переносу теплоты от поверхности тела человека во внешнюю среду (включая материалы одежды, воздушные прослойки между ними и пограничный слой воздуха, прилегающий к наружной поверхности одежды), представляющее собой отношение разности средневзвешенной температуры кожи и температуры окружающей среды к плотности теплового потока с поверхности тела.

Объектом исследования являются: Компоненты системы «человек – специальная одежда – окружающая среда».

Особенности применения обогреваемой одежды подразумевают два варианта:

а) первый, когда военнослужащий на холоде вынужден быть неподвижным/малоподвижным продолжительное время;

б) второй, когда род выполняемых частных задач подразумевает активное движение в условиях пониженных температур.

Разработанная система активного локального электрообогрева военнослужащего, в виде обогреваемого жилета в штатной экипировке военнослужащего для эксплуатации в различных климатических поясах (регионах) Российской Федерации прошла испытания в климатической камере в диапазоне температур от минус 20°С до минус 50°С.

Результаты климатических испытаний представлены в соответствии с *рисунком 2*.

а) нагревательные элементы из углеродной ткани

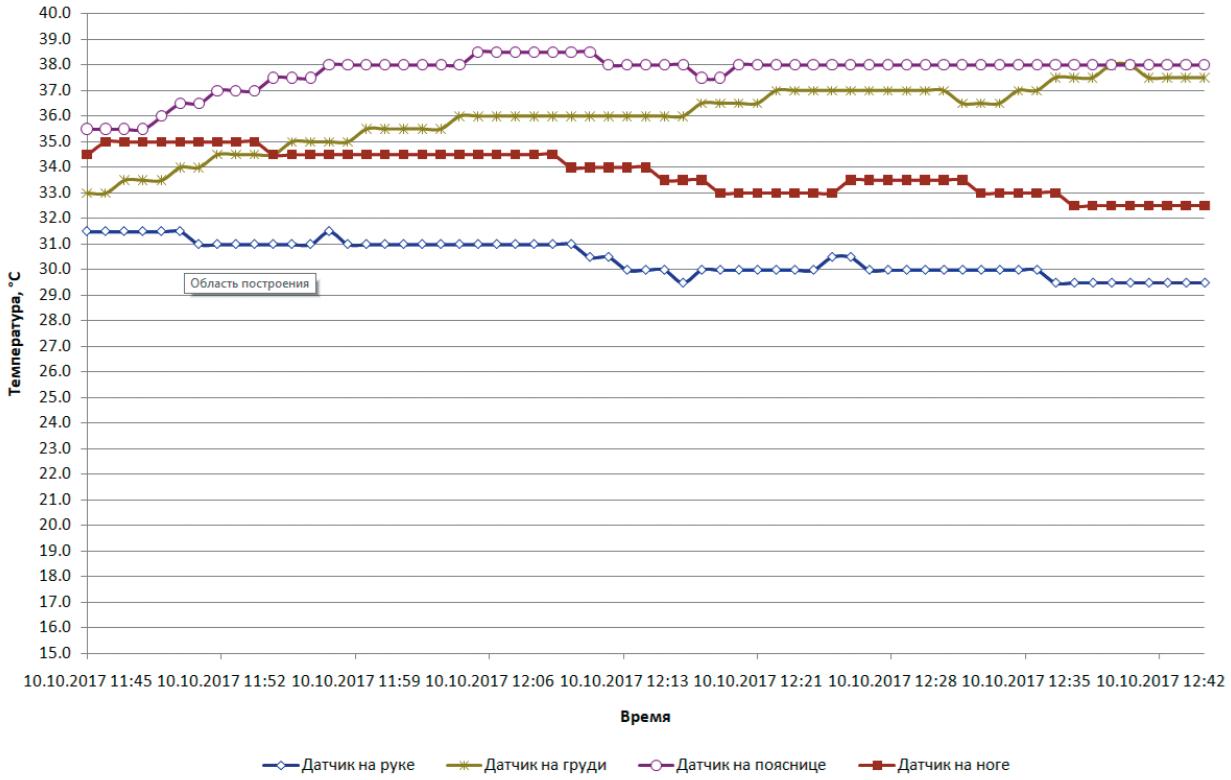
б) нагревательные элементы из лавсановых нитей

Рис. 1. Температурного поле жилета с системой локального обогрева (варианты исполнения)

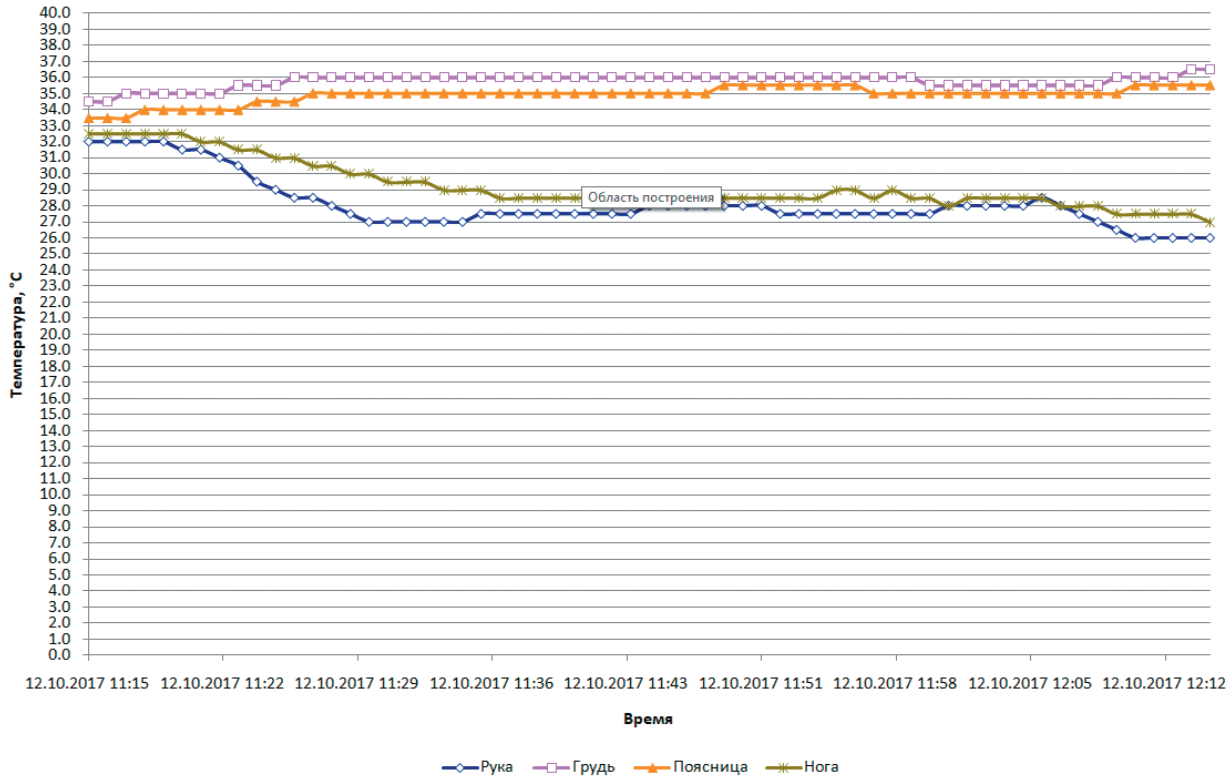
а) при температуре минус 20°С

б) при температуре минус 50°С

Рис. 2. Климатические испытания применения жилета с системой локального обогрева в составе ВКПО (начало)



в) контроль температуры на теле испытуемого (при температуре минус 20˚С)



г) контроль температуры на теле испытуемого (при температуре минус 50˚С)

Рис. 2. Климатические испытания применения жилета с системой локального обогрева в составе ВКПО (окончание)

Предложенный вариант разработанной системы активного обогрева военнослужащего обеспечивает:

а) удобство выполнения служебных задач военнослужащему, легкость одевания, простоту управления регулировкой режимами обогрева;

б) возможность ношения в качестве дополнительного слоя в составе штатного обмундирования;

в) универсальность специального комплекта и автономной системы электрообогрева с возможностью регулировки и подгонки комплекта в заданном типоразмерном ряде;

г) автономность за счет применения источников тока на основе аккумуляторов с необходимой электрической емкостью;

д) регулировку интенсивности обогрева с установкой комфортного теплового режима, в зависимости от физиологических особенностей военнослужащего;

е) дополнительных способов защиты от тепловизоров при применении жилета с системой локального обогрева не требуется.

Выводы

Применение активных систем обогрева военнослужащих двух видов нагревательных элементов позволяет реализовать следующие преимущества:

а) для кабеля из лавсанового тепловолокна с резистивным напылением окидов металлов – высокая механическая стойкость и «супергибкость» (до 150000 изгибов на точку, можно складывать в любое положение), пожаробезопасность, быстрая скорость нагрева тепловолокна (1°С в секунду);

б) для электропроводящей ткани с антистатическим эффектом из нити бикарболон 2М – равномерное тепловое поле с сохранением функциональных свойств даже в случае механического повреждении ткани.

Нагревательные элементы располагаются децентрализовано, со смещением, что позволяет подключать их ступенчато с учетом создания зонального адаптивного обогрева, имеют встроенную систему терморегуляции и термоотключения, что полностью исключает возможность перегрева военнослужащего, даже если условия эксплуатации были нарушены.

Внедрение активных систем электрообогрева в качестве дополнительного слоя экипировки для снижения тепловых потерь и обеспечения комфортного теплового состояния военнослужащих при выполнении задач в условиях низких температур позволит адаптировать тепловой баланс к интенсивности физической нагрузки и температурным условиям, а также компенсировать недостатки пассивных систем теплозащиты.

Литература

1. Всесезонный комплект полевого обмундирования. Инструкция по эксплуатации изделия. АО «БТК групп». Санкт-Петербург, 2014. 32 с.
2. Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В. Физиолого-гигиенические требования к одежде для защиты от холода работающих на открытой территории Северных регионов // Медицина труда и промышленная экология, 1996. №6. С.10-15.
3. Методические рекомендации МР 2.2.7..2119-06. Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. Введены в действие 1 ноября 2006 года.
4. ГОСТ Р 12.4.185-99. Средства индивидуальной защиты от пониженных температур. Методы определения теплоизоляции комплекта. Москва. Стандартинформ. 2000 г.
5. ГОСТ ISO 15831-2013. Одежда. Физиологическое воздействие. Метод измерения теплоизоляции на термоманекене. Москва. Стандартинформ. 2014 г.
6. Патент RU № 166533, МПК A41D 13/00, Обогревающий жилет/ заявитель и патентообладатель ФВА РВСН им Петра Великого), опубликован 27.11.2016, Бюл. № 33.
7. Патент RU № 176282, МПК A41D 13/00, Обогревающий жилет/ заявитель и патентообладатель ФВА РВСН им Петра Великого), опубликован 15.01.2018, Бюл. № 2.

УДК 621.394

СТАТИСТИЧЕСКИЙ И КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ АДРЕСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ С КОДОВЫМ УПЛОТНЕНИЕМ ДАННЫХ

STATISTICAL AND CORRELATION ANALYSIS OF ADDRESS SEQUENCES IN DATA CHANNELS WITH CODE COMPACTION

Владимир Владимирович Зеленевский
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967) 35-12-31
E-mail: Zelenevsky.Vladimir@gmail.com

Юрий Владимирович Зеленевский
доктор технических наук, доцент
научный сотрудник
ВА РВСН им. Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: 8 (903) 721-12-61
E-mail: sys1434@mail.ru

Анатолий Владимирович Зеленевский
кандидат технических наук
заместитель начальника отдела
АО «Фирма НТЦ КАМИ»
Адрес: 119361, Москва, ул. Большая Очаковская, д. 47А, стр. 1
Тел.: 8 (926) 150-83-76
E-mail: dieselmail@inbox.ru

Евгений Валерьевич Шмырин
кандидат технических наук
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Б. Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: shmyrinev@mail.ru

Артем Сергеевич Дурнов
соискатель научной степени кандидата технических наук
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (985) 385-78-74
E-mail: tema070@mail.ru

Аннотация
Выполнен статистический и корреляционный анализ адресных последовательностей, доказано существование наилучших последовательностей для использования в каналах передачи с кодовым уплотнением данных.
Ключевые слова: кодовое уплотнение данных, взаимная и автокорреляция, примитивные элементы и полиномы, М-последовательности, коды Рида-Маллера, последовательности Баркера, Уилларда, вероятность битовой ошибки.

Summary
The statistical and correlation analysis of address sequences is performed, and the existence of the best sequences for use in transmission channels with code compaction of data is proved.
Keywords: code compaction of data, mutual and autocorrelation, primitive elements and polynomials, M-sequences, reed-Muller codes, Barker, Willard sequences, bit error probability.

В работах [1,2] показано, что свойство взаимной ортогональности двоичных последовательностей Уолша-Адамара позволяет реализовать безызбыточное кодовое уплотнение данных и достичь теоретического предела К. Шеннона по помехоустойчивости системы связи.

Однако известно [3], что последовательности Уолша-Адамара, Уолша-Радемахера, Уолша-Пели обладают рядом существенных недостатков:

- наличие «единичных» или «нулевых» комбинаций;
- неудовлетворительная функция автокорреляции (боковые лепестки сравнимы по амплитуде с основным).

Указанные недостатки не позволяют обеспечить временную самосинхронизацию ортогональных последовательностей Уолша по тактовой и цикловой (кадровой) частоте.

Таблица 1

Примитивные полиномы

m=3	m=4	m=5	m=6	m=7	m=8	m=10
1+x+x3	1+x+x4	1+x2+x5	1+x+x6	1+x3+x7	1+x2+x3+x4+x8	1+x3+x10

Покажем, что существуют и другие двоичные кодовые комбинации: М-последовательности, коды Рида-Маллера, последовательности Баркера, Уилларда, свободные от указанных недостатков, и докажем наличие среди них наилучшей для использования в каналах передачи с кодовым уплотнением данных.

Цель статьи – выполнить статистический и корреляционный анализ двоичных М-последовательностей, кодовых последовательностей Рида-Маллера, Баркера, Уилларда, определить среди них наилучшие автокорреляционные функции и доказать, что их статистические характеристики декодирования (помехоустойчивость) не уступают (или уступают) известным последовательностям Уолша-Адамара.

Помимо известных ортогональных и биортогональных кодов на базе функций Уолша покажем, что свойством ортогональности обладают двоичные М-последовательности, для построения которых используются примитивные полиномы [3], и другие последовательности.

Известные примитивные полиномы, старшая степень которых m, представлены в *таблице 1* [3, 4].

Для построения М-последовательностей воспользуемся правилами представления элементов расширенного поля Галуа GF(2^m) по примитивному полиному m-степени.

Зададимся $m=3$, что соответствует примитивному полиному

$$g(x)=1+x+x^3,$$

и построим элементы расширенного поля в виде полинома (остатка от деления $x^i/g(x)$) и двоичного $m=3$ – разрядного вектора, соответствующего этому остатку.

Элементы расширенного поля GF(2^3) представлены в *таблице 2*, где x – примитивный элемент поля, i – степень примитивного элемента.

Исключив в *таблицы 2* нулевой вектор (верхняя строка 0≡000), получим двоичные последовательности №1, №2 и №3 как одноименные разряды элементов 3-х разрядного вектора символов поля Галуа GF ($2^m=2^3$).

Длина таких последовательностей (М-последовательностей, псевдослучайных последовательностей – ПСП) равна $n=2^m-1$. В нашем случае $n=7$.

Циклическим сдвигом любой из М-последовательностей получим $n=$М адресных кодов.

Для последовательности №1 (исключая первый нулевой разряд) получим М=7 адресных двоичных кодов:

1) 0010111
2) 1001011
3) 1100101
4) 1110010
5) 0111001
6) 1011100
7) 0101110

Нетрудно видеть, что вторая комбинация повторяет М-последовательность №3, а седьмая комбинация М-последовательность №2 из *таблицы 2*.

Докажем, что полученные М=7 адресных кодов являются ортогональными. Коэффициент взаимной корреляции равен [3]:

$$\rho_{ij} = \frac{A-D}{A+D}, \qquad (1)$$

где A – число совпадающих;

D – число несовпадающих одноимённых разрядов в i-й и j-й кодовых комбинациях. Тогда

$\rho_{12}=\frac{3-4}{7}=\rho_{13}=\rho_{14}=\ldots=\rho_{17}=\rho_{23}=\rho_{24}=\ldots=\rho_{34}=\rho_{35}=\ldots=\rho_{57}=\rho_{67}=-\frac{1}{7}$.

Т.к. коэффициенты $\rho_{ij}=-\frac{1}{7}$, то такие коды (М-последовательности) можно считать ортогональными, и они пригодны для использования в системах передачи с кодовым уплотнением данных.

Таблица 2

Элементы расширенного поля GF(23)

№ п/п	xi	xi/g(x)	Двоичный 3-х разрядный вектор		
1	x-∞	0	0	0	0
2	x0	1	0	0	1
3	x1	X	0	1	0
4	x2	x2	1	0	0
5	x3	x+1	0	1	1
6	x4	x2+x	1	1	0
7	x5	x2+x+1	1	1	1
8	x6	x2+1	1	0	1
			№1	№2	№3

Таблица 3

Вероятность Pb для М-последовательности (n=7)

h20, дБ	-2	-1,5	-1	0	0,5	1	2	3	5
М-послед., n=7	0,02	0,0175	0,0157	0,0122	1,08E-2	9,66E-3	7,7E-3	6,16E-3	3,83E-3
Уолш-Адамар, n=8	0,0013	0,00076	0,00043	0,00012	5,60E-5	2,79E-5	3,38E-6	6,4E-7	8,25E-9

Вероятность битовой ошибки P_b на выходе системы передачи с кодовым уплотнением данных [1] при воздействии гауссового шума получена имитационным моделированием. В *таблице 3* представлены численные оценки вероятности P_b для систем передачи с амплитудно-импульсной модуляцией сигнала с М-последовательностями (n=7) и ортогональными последовательностями Уолша-Адамара (n=8) в зависимости от отношения сигнал/шум h^2_0, дБ.

Анализ *таблицы 3* показывает, что вероятность P_b для М-последовательностей на несколько десятичных порядков больше, чем P_b для последовательностей Уолша-Адамара. При этом градиент уменьшения вероятности P_b для М-последовательностей с ростом h^2_0 низкий и по показателю вероятности P_b (помехоустойчивости) М-последовательности не могут конкурировать с последовательностями Уолша-Адамара.

Может возникнуть вопрос, а что будет, если увеличить длину М-последовательности? Исследования, проведенные в ходе имитационного моделирования, позволили получить оценки вероятности P_b для М-последовательностей с длиной n=15 (*таблица 4*)

Анализ *таблицы 4* показывает:

- увеличение длины М-последовательности положительного результата по уменьшению P_b не дает;
- последовательности Уолша-Адамара с увеличением длины позволяют получить значительное уменьшение вероятности P_b (для h^2_0=0 дБ: n=8 значение P_b=1,2E-4; n=16 значение P_b=1,07E-5, т.е. вероятность P_b снизилась на десятичный порядок!).

Используя *таблицу 2*, циклическим сдвигом построим адресные кодовые комбинации с четной длиной n=M=2^m (в этом случае будем использовать нулевой вектор). Пример таких комбинаций:

1) 01001011
2) 10100101
3) 11010010
4) 01101001
5) 10110100
6) 01011010
7) 00101101
8) 10010110

Оценим коэффициенты взаимной корреляции:

$$\rho_{12}=\frac{2-6}{8}=-\frac{3}{4};\ \rho_{27}=\frac{6-2}{8}=\frac{1}{2};\ \rho_{36}=\frac{6-2}{8}=\frac{1}{2}.$$

Такие кодовые комбинации использовать в качестве адресных нельзя, хотя они не имеют в своем частотном спектре постоянной составляющей, а на приемной стороне из них можно выделить сигнал тактовой частоты.

Теперь возьмем двоичный код Рида-Маллера первого порядка длины n=8 [4], который имеет n=2^k=M=8 разрешенных комбинаций (адресных сигналов), где k – число информационных символов:

1) 00000000
2) 00001111
3) 00110011
4) 01010101
5) 00111100
6) 01011010
7) 01100110
8) 01101001

Попарная оценка коэффициентов взаимной корреляции дает следующие результаты:

$$\rho_{12}=\frac{4-4}{8}=0;\ \rho_{13}=\rho_{14}=\ldots=\rho_{18}=0;\ \rho_{36}=0;\ \rho_{78}=0,$$

т.е. ρ_{ij} = 0 и такие кодовые комбинации являются ортогональными.

Имитационным моделированием получены оценки вероятности P_b в системе передачи с кодовым уплотнением данных, где использовались коды Рида-Маллера (Р-М) первого порядка с n=8, n=16, амплитудно-импульсная модуляция сигнала, на который воздействовал АБГШ (*таблица 5*).

Анализ *таблицы 5* показывает, что кодовые последовательности Р-М практически не уступают по вероятности P_b последовательностям Уолша-Адамара (сравнение *таблиц 4 и 5*).

Далее рассмотрим известные последовательности Баркера и Уилларда [3]. Для корректности сравнения выберем n=7. В этом случае адресные сигналы, полученные циклическим сдвигом исходной последовательности Баркера, имеют вид:

1) 1110010
2) 0111001
3) 1011100
4) 0101110
5) 0010111

Таблица 4

Вероятность Pb для М-последовательности (n=15)

h^2_0, дБ	-2	-1	0	1	2	3
М-послед., n=15	0,05	0,0341	0,0205	0,0126	7,65E-3	4,73E-3
Уолш-Адамар, n=16	2,9E-4	6,6E-5	1,07E-5	1,32E-6	6,25E-8	6,25E-9

Таблица 5

Вероятность Pb для кодов Р-М

h^2_0, дБ	-2	-1	0	1	2
Р-М, n=8	1,3E-3	4,37E-4	1,12E-4	2,84E-5	5,38E-6
Р-М, n=16	3,0E-4	6,6E-5	1,07E-5	2,32E-6	8,25E-8

6) 1001011
7) 1100101

Значения коэффициентов взаимной корреляции ρ_{ij} последовательностей Баркера равны:

$$\rho_{12}=\rho_{13}=\ldots=\rho_{17}=\rho_{23}=\rho_{24}=\ldots=\rho_{67}=-\frac{1}{7}$$

и не отличаются от ρ_{ij} для М-последовательностей.

Аналогично построим адресные сигналы на основе последовательности Уилларда:

1) 1110100
2) 0111010
3) 0011101
4) 1001110
5) 0100111
6) 1010011
7) 1101001

Для них

$$\rho_{12}=\rho_{13}=\ldots=\rho_{17}=\rho_{23}=\rho_{24}=\ldots=\rho_{67}=-\frac{1}{7}.$$

В результате имитационного моделирования установлено, что статистические характеристики декодирования последовательностей Баркера и Уилларда в системе передачи с ортогональным кодовым уплотнением данных при воздействии гауссова шума не отличаются от ранее полученных характеристик $P_b=f(h^2_0)$ для М-последовательностей (см. *таблицу 3*) и значительно уступают характеристикам декодирования последовательностей Уолша-Адамара и Рида-Маллера (см. *таблицы 4 и 5*).

Оценим пригодность исследованных последовательностей для решения задачи кадровой (сверхкадровой) синхронизации. Для этого определим их функцию автокорреляции $R(\tau)$, где τ – время рассинхронизации (сдвига) принятой последовательности относительно исходной.

Заметим, что «единичные» или «нулевые» комбинации Уолша-Адамара и Рида-Маллера использовать в качестве синхропоследовательностей принципиально невозможно. Поэтому выберем кодовую последовательность вида 01011010, которая относится как к коду Уолша-Адамара, так и к коду Рида-Маллера с $n=8$.

Построение автокорреляционной функции (АКФ) для этого примера показано в *таблице 6* (прямая и обратная записи исходной комбинации 01011010 производится в полярном коде).

Анализ *таблицы 6* показывает:

- абсолютное максимальное значение $R(\tau)=n=8$ соответствует нулевому сдвигу ($\tau=0$) и это соответствует требованиям к АКФ для решения задачи кадровой (сверхкадровой) временной синхронизации;
- наибольшее положительное значение боковых выбросов $R(5\tau)=3$, что в 2,7 раза меньше основного пика $R(\tau=0)=8$;
- определенные последовательности Р-М (Уолша-Адамара) можно использовать в качестве синхросигналов кадровой (сверхкадровой) синхронизации (меандровая последовательность Уолша-Адамара имеет АКФ вида {-1;2;-3;4;-5;6;-7;8;-7;6;-5;4;-3;2;-1}, где боковые выбросы составляют 3/4 от основного пика $R(\tau=0)=8$, что плохо).

Для полноты сравнения оценим АКФ (*таблица 7*) известной и единственной последовательности Баркера с длиной $n=7$.

Сравнение *таблиц 6 и 7* показывает:

- максимальное значение R(t), т.е. являются идеальными синхросигналами.

Заключение

Теоретические исследования и имитационное моделирование системы передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных позволяет сделать следующие выводы:

- наибольшая помехоустойчивость системы передачи может быть достигнута при использовании в качестве адресных канальных кодов ортогональных последовательностей Уолша-Адамара либо кодов Рида-Маллера первого порядка;
- М-последовательности (ПСП) значительно (на несколько десятичных порядков) уступают по помехоустойчивости кодам Уолша-Адамара и кодам Рида-Маллера;
- нелинейные псевдослучайные последовательности с четной длиной имеют положитель-

Таблица 6

Построение АКФ для кода Р-М (n=8)

	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1							
-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1							
1		-1	1	-1	1	1	-1	1	-1						
-1			1	-1	1	-1	-1	1	-1	1					
1				-1	1	-1	1	1	-1	1	-1				
1					-1	1	-1	1	1	-1	1	-1			
-1						1	-1	1	-1	-1	1	-1	1		
1							-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	
-1								1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
R(t)	1	-2	3	-4	1	2	-5	8	-5	2	1	-4	3	-2	1

Таблица 7

Автокорреляционная функция последовательности Баркера

	1	1	1	-1	-1	1	-1						
-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1						
1		1	1	1	-1	-1	1	-1					
-1			-1	-1	-1	1	1	-1	1				
-1				-1	-1	-1	1	1	-1	1			
1					1	1	1	-1	-1	1	-1		
1						1	1	1	-1	-1	1	-1	
1							1	1	1	-1	-1	1	-1
R(t)	-1	0	-1	0	-1	0	7	0	-1	0	-1	0	-1

ный коэффициент взаимной корреляции и не могут использоваться для кодового ортогонального уплотнения данных;

- адресные кодовые последовательности Баркера и Уилларда обладают такой же помехоустойчивостью, как и М-последовательности;
- среди последовательностей Уолша-Адамара, Рида-Маллера можно выбрать такие, которые имеют АКФ с малыми боковыми выбросами и их можно использовать в качестве синхросигналов кадровой (сверхкадровой) временной синхронизации;
- идеальной АКФ обладают последовательности Баркера, которые являются наилучшими синхросигналами кадровой (сверхкадровой) синхронизации, однако их число ограничено (всего 9 последовательностей, максимально известная длина $n=13$);
- М-последовательности не имеют ограничений по длине, на их основе можно синтезировать помехозащищенные сигналы с расширенным спектром и устройства, обеспечивающие синхронизацию по частоте несущего колебания и по временной задержке М-последовательности с выделением сигнала тактовой синхронизации;
- комплексное использование ортогональных кодов Уолша-Адамара (или Рида-Маллера) на первой ступени кодирования данных с их уплотнением и М-последовательностей на второй ступени кодирования сигнала несущей позволит создавать перспективные системы передачи, требуемая полоса пропускания которых значительно меньше известных, а помехоустойчивость выше.

Литература

1. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Зеленевский А.В., Дурнов А.С. Статистические характеристики системы передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных при воздействии гауссова шума // Электросвязь, 2018. №7. С.42-45.
2. Кузнецов В.С., Кузнецов В.В. Нерешённые проблемы в области передачи информации и связи. М.: Горячая линия-Телеком, 2016. 60 с.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд. Пер. с англ. М.: Издат. дом «Вильямс», 2017. 1099 с.
4. Мак-Вильямс, Ф.Дж., Слоэн, Н.Дж.А. Теория кодов, исправляющих ошибки. Пер. с англ. М.: Связь, 1979. 744 с.

УДК 621.391

ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ ДВУХТОНАЛЬНОЙ МНОГОЧАСТОТНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ПРИ ИХ ПЕРЕДАЧЕ ПО СЕТИ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ

DETECTION OF DUAL-TONE MULTI-FREQUENCY SIGNALING SIGNALS WHEN THEY ARE TRANSMITTED OVER PACKET-SWITCHED NETWORK

Кирилл Александрович Батенков
доктор технических наук, доцент
сотрудник
Академия ФСО РФ
Адрес: 302015, г. Орел, ул. Приборостроительная, д. 35
E-mail: pustur@yandex.ru

Олег Николаевич Катков
кандидат технических наук
сотрудник
Академия ФСО РФ

Алексей Георгиевич Коркин
кандидат технических наук
сотрудник
Академия ФСО РФ

Михаил Владимирович Илюшин
кандидат технических наук
сотрудник
Академия ФСО РФ

Николай Игоревич Мясин
кандидат технических наук, доцент
сотрудник
Академия ФСО РФ

Аннотация
В работе показано, что первостепенной проблемой защиты телекоммуникационного оборудования от воздействий на основе команд управления, оказывается необходимость обнаружения (детектирования) сигналов двухтональной многочастотной сигнализации. На графических иллюстрациях представлено, что увеличение емкости полезной нагрузки RTP пакета приведет к увеличению задержки сети, при этом уменьшается доля служебной нагрузки. Кроме того, стохастический характер, как передаваемой речи, так и сигналов сигнализации приводит к возникновению эффекта неопределенности начальной фазы сигнала.
Ключевые слова: сеть связи, спектр сигнала, двухтональный многочастотный набор, коммутация пакетов, критерий Неймана-Пирсона.

Summary
The paper shows that the primary problem of protecting telecommunications equipment from impacts based on control commands is the need to detect (detect) signals of two-tone multi-frequency signaling. The graphic illustrations show that increasing the payload capacity of an RTP packet will lead to an increase in network latency, while reducing the share of service load. In addition, the stochastic nature of both the transmitted speech and the signaling signals leads to the effect of uncertainty of the initial phase of the signal.
Keywords: communication network, signal spectrum, two-tone multi-frequency set, packet switching, Neumann–Pearson criterion.

Сфера применения тональных сигналов остаточно широка. Это и автоматическая телефонная сигнализация между устройствами, и ручной ввод абонентом для различных интерактивных систем, например, голосового автоответа. Именно данным типам сигналов и посвящена настоящая работа, в которой рассматривается хорошо известный двухтональный многочастотный аналоговый сигнал, используемый для набора телефонного номера (*DTMF – Dual-Tone Multi-Frequency*).

По используемой полосе частот сигнал соответствует телефонии. При передаче *DTMF* сигналов по цифровой сети, предназначенной для обмена речевыми сообщениями, не существует особых затруднений, поскольку импульсно-кодовая модуляция (при помощи алгоритма G.711) не вносит никаких практических ограничений на тип звуковых сигналов. Одинаково успешно воспроизводятся на приемной стороне и речь, и сигналы модема, и тональные сигналы. Например, узкополосные (низкоскоростные) кодеки

для достижения требуемых скоростей передачи, используют ту же полосу частот, что и стандартная человеческая речь [1,2].

Одним из главных аспектов, который необходимо принимать во внимание при обеспечении безопасности информации, является активное использование сигналов *DTMF* в качестве сигнализации. В тоже время они могут использоваться как сигналы дистанционного управления коммутационным оборудованием.

Передача данных в пакетных сетях предполагает не только представление сигналов в цифровом виде, но и разделение на отдельные потоки данных, размер которых изменяется исходя из параметров используемых транспортных протоколов.

В результате возникает задача обнаружения *DTMF* сигнала для устранения опасного деструктивного воздействия, решение которой возможно традиционными статистическими методами. Однако хорошее качество обнаружения приводит к ситуациям, когда обычный речевой сигнал воспринимается также как сигнал *DTMF*. В итоге необходимо соблюдать компромисс между точностью обнаружения сигнала *DTMF* и качеством передачи речи.

Первостепенной проблемой защиты телекоммуникационного оборудования от воздействий на основе команд управления, оказывается необходимость обнаружения (детектирования) сигналов двухтональной многочастотной сигнализации [1,3]. При этом целесообразно анализировать две гипотезы:

1. Присутствие сигналов *DTMF*

$$r = \dot{x} + n + v$$

где $\dot{x}$ – действительный вектор амплитуды спектральной составляющей сигнала *DTMF*;

r – наблюдаемая амплитуда спектральной составляющей смеси сигналов;

n – случайный вектор, обусловленный несогласованностью частоты дискретизации и сигнала *DTMF*;

v – случайный вектор, обусловленный неточностью измерения параметров речевого сигнала.

2. Отсутствие сигналов *DTMF*

$$r = v.$$

Центральным местом постановки подобной задачи оказывается негауссовский характер вектора амплитуд спектральных составляющих, наблюдаемых на приеме, в случае наличия сигналов двухтональной многочастотной сигнализации [4]. Он вызван, прежде всего, применением импульсно-кодовой модуляции.

Классический подход к решению данной задачи обнаружения, предполагает анализ одномерной функции правдоподобия $\left(W_{r/H_i}\right)$ (*рисунок 1*).

На *рисунке 1* использованы следующие обозначения:

H_1 – первая гипотеза (наличие *DTMF*);

H_0 – вторая гипотеза (отсутствие *DTMF*);

P_d – вероятность обнаружения;

P_f – вероятность ложной тревоги.

При этом фиксированная величина вероятности обнаружения

$$P_d = \int_{Z_1} W_{r/H_1}(r, \dot{x})dr$$

требует непосредственного расчета порога принятия решения и фиксированную, только одну, вероятность ложной тревоги:

$$P_F = \int_{Z_1} W_{r/H_0}(r, \dot{x})dr.$$

Однако несогласованность частот сигналов двухтональной многочастотной сигнализации с частотой дискретизации [1] требует рассмотрения многомерной функции правдоподобия (*рисунок 2*). В результате простой расчет вероятности ложной тревоги оказывается недопустимым, даже не смотря на фиксацию значения вероятности обнаружения. Таким образом, в многомерном случае только поиск оптимального (рационального) решающего правила (порога) в многомерном пространстве как некоторой оптимизационной задачи на основе критерия Неймана-Пирсона приведет к желаемому результату. Кроме того, следует ожидать, что подобные правила чаще всего по показателям качества будут опережать подходы на основе порога принятия решения [5, 6].

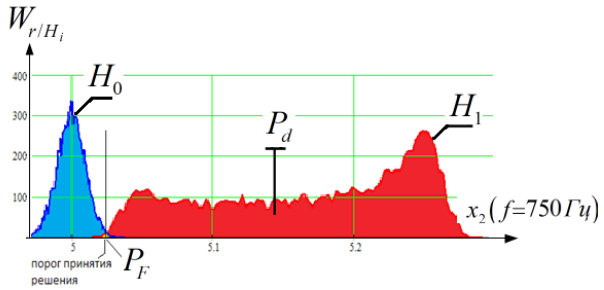


Рис. 1. Одномерная функция правдоподобия

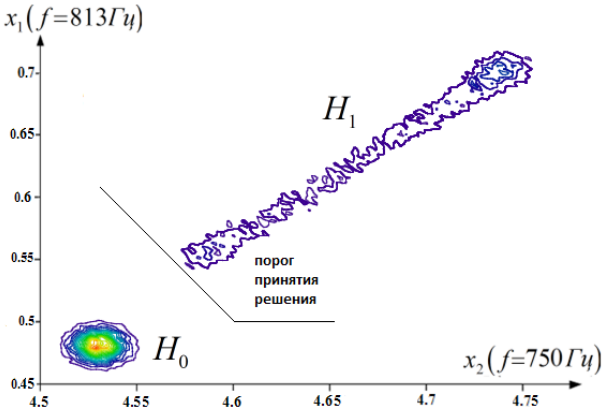


Рис. 2. Многомерная функция правдоподобия

В результате в многомерном случае критерий Неймана-Пирсона потребует решения вспомогательной оптимизационной задачи по поиску оптимального решающего правила в многомерном пространстве [7]. При этом подобные правила в большинстве случаев по характеристикам качества будут выигрывать у порога принятия решения.

При использовании *RTP* следует учитывать, что емкость полезной нагрузки определяется в заголовке *UDP*-сегмента и может вирироваться.

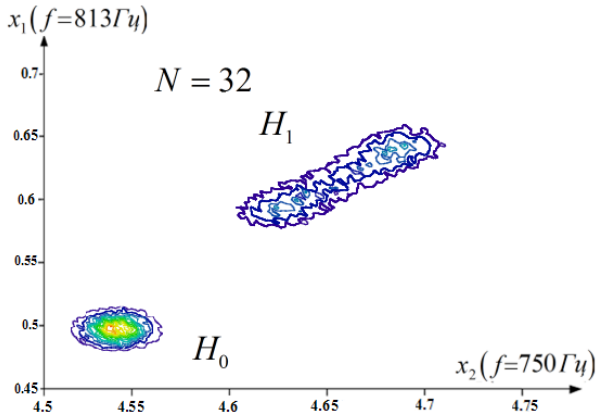


Рис. 3. Многомерная функция правдоподобия при N=32

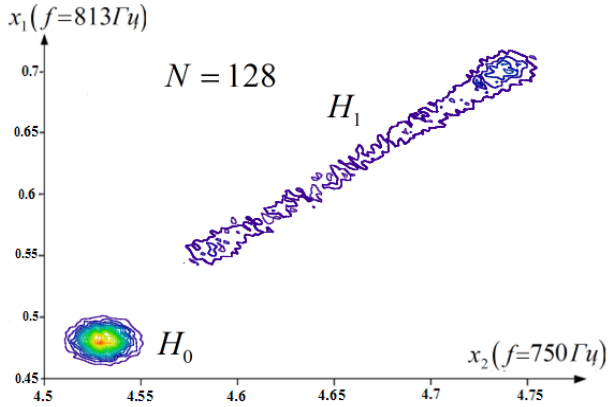


Рис. 4. Многомерная функция правдоподобия при N=128

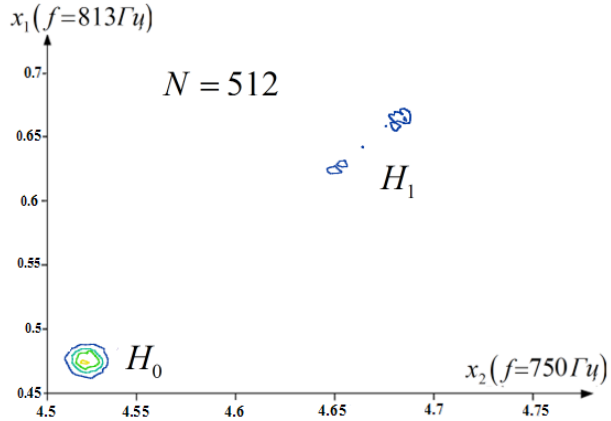


Рис. 5. Многомерная функция правдоподобия при N=512

Большинство современных приложений и сервисов позволяют администратору настраивать данный параметр [2,8]. При этом изменение размера полезной нагрузки напрямую влияет на задержку передачи сигнала.

Учет задержки передачи очень важен, поскольку вербальные диалоги в реальном времени чувствительны к данному параметру. Если задержка в один конец превосходит четверть секунды, т.е. 250 мс, то участникам диалога становится чрезвычайной трудно определить, когда другой человек закончил говорить. Это увеличивает вероятность того, что они станут говорить одновременно. Учитывая специфику сетей связи специального назначения и необходимость обеспечения высокого уровня качества обслуживая, стоит обратить особое внимание на влияние рассматриваемого параметра.

Увеличение емкости полезной нагрузки *RTP* пакета приведет к увеличению задержки сети, при этом уменьшается доля служебной нагрузки. Поэтому необходимо настраивать размер полезной нагрузки таким образом, чтобы максимально эффективно использовать заданную полосу пропускания [9].

В данном исследовании рассматривается влияние количества отсчетов в пакете на качество обнаружения сигнала *DTMF*. Для наглядной демонстрации предлагается рассмотреть три значения количества отчетов в пакете *N*. Многомерная функция правдоподобия при различных значениях *N* представлена на *рисунках 3-5*.

В результате исследования влияния количества отчетов в пакете на качество принятия решения можно сделать следующие выводы:

1. В области отсутствия сигнала существенных изменений по форме не наблюдается.

2. В области присутствия сигнала растекание спектра увеличивается по ширине и уменьшается по длине при уменьшении количества отсчетов, а при увеличении количества отсчетов наблюдается обратная зависимость.

3. Пики в области присутствия сигнала являются более выраженными при увеличении количества отсчетов.

Поведение абонента во время разговора непредсказуемо, так как неизвестно в какой момент времени будут поступать речевая информация, паузы и кодовые комбинации сигналов сигнализации [1,2,10]. Стохастический характер, как передаваемой речи, так и сигналов сигнализации приводит к возникновению эффекта неопределенности начальной фазы сигнала.

Длительность *DTMF* сигнала иногда соизмерима с длительностью интервала времени, в котором содержаться отсчеты одного *RTP* пакета.

В связи с этим очень часто возникает ситуация, когда *DTMF* сигнал присутствует только в определенной части *RTP* пакета.

В данном исследовании рассматривается влияние доли присутствия сигнала *DTMF* в пакете *RTP* на качество обнаружения сигнала. Для наглядной демонстрации предлагается рассмотреть ситуации, в которых значения *i* доли присутствия сигнала *DTMF* в пакете различны. Многомерная функция правдоподобия при различных значениях *i* представлена на *рисунках 6-8*.

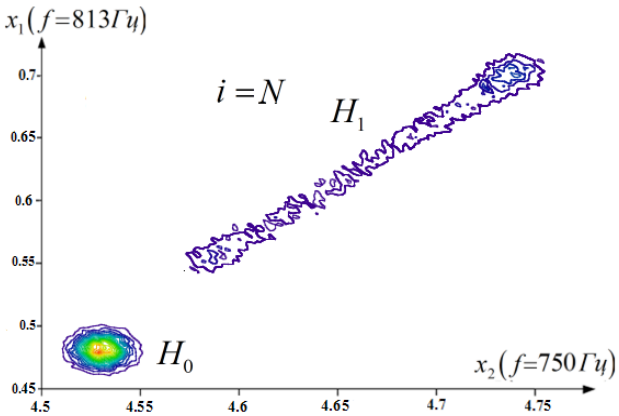


Рис. 6. Многомерная функция правдоподобия при i=N

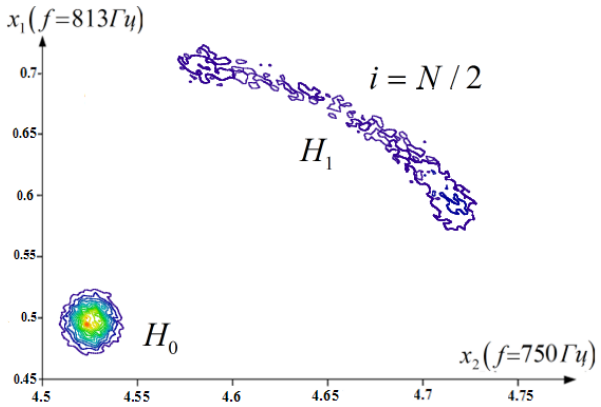


Рис. 7. Многомерная функция правдоподобия при i=N/2

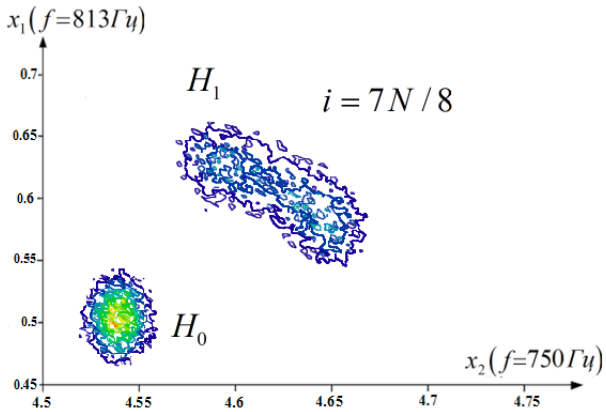


Рис. 8. Многомерная функция правдоподобия при i=7N/8

В результате исследования влияния доли присутствия сигнала *DTMF* в пакете RTP на качество принятия решения можно сделать следующие выводы:

1. Многомерная функция правдоподобия имеет нелинейный вид, что усложняет задачу обнаружения и восстановления сигналов.

2. Чем меньше доля присутствия *DTMF* сигнала в пакете, тем меньше соотношение сигнал/шум и соответственно ближе области принятия решения.

3. При изменении доли присутствия сигнала *DTMF* в пакете наблюдается вращение области наличия сигнала, что указывает на необходимость введения радиальной системы координат для дальнейшего анализа.

Таким образом, можно отметить, что первостепенной проблемой защиты телекоммуникационного оборудования от воздействий на основе команд управления, оказывается необходимость обнаружения (детектирования) сигналов двухтональной многочастотной сигнализации. Несогласованность частот сигналов двухтональной многочастотной сигнализации с частотой дискретизации требует рассмотрения многомерной функции правдоподобия.

Увеличение емкости полезной нагрузки *RTP* пакета приведет к увеличению задержки сети, при этом уменьшается доля служебной нагрузки. Поэтому необходимо настраивать размер полезной нагрузки таким образом, чтобы максимально эффективно использовать заданную полосу пропускания.

Стохастический характер, как передаваемой речи, так и сигналов сигнализации приводит к возникновению эффекта неопределенности начальной фазы сигнала. В связи с этим очень часто возникает ситуация, когда *DTMF* сигнал присутствует только в определенной части *RTP* пакета.

Литература

1. Батенков К.А. Спектр сигналов DTMF при посегментной обработке / Батенков К.А., Дворядкин В.В., Илюшин М.В., Орешин А.Н., Трегубов Р.Б. // Телекоммуникации, 2019. №7. С.43-48.

2. Компьютерные сети: Нисходящий подход / Джеймс Куроуз, Кит Росс. 6-е изд. М.: Издательство «Э», 2016. 912 с. (Мировой компьютерный бестселлер).

3. Батенков А.А. Алгоритм синтеза базиса ортонормированных функций для многоканальной передачи данных / Батенков А. А., Богачев Г. В., Батенков К. А. // Цифровая обработка сигналов, 2007. – № 2. с. 19-25.

4. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции: Пер. с англ. В 3 т. Т. 1 : Теория

обнаружения, оценок и линейной модуляции / Г. Ван Трис. М.: Советское радио, 1977. 744 с.
5. Батенков А.А. Дискретизация линейного канала связи с памятью и аддитивным белым гауссовским шумом численным методом / Батенков А. А., Батенков К. А. // Математическое моделирование, 2009. Т. 1. № 1. С. 53-74.
6. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие / В.С. Пугачев. 2-е изд., исправл. и дополн. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 496 с.
7. Левин Б.Р. Вероятностные модели и методы в системах связи и управления / Б. Р. Левин, В. Шварц. М.: Радио и связь, 1985. 312 с.
8. Батенков К.А. Анализ статистики голосового трафика сети Ethernet с помощью программы Wireshark / Королев А.В., Миронов А.Е., Орешин А.Н. // Телекоммуникации, 2018. № 2. С. 45-48.
9. Батенков К.А. Границы вероятности символьной ошибки для канала связи с логнормальными замираниями при использовании предыскажений и помехоустойчивого кодирования / Батенков К.А., Гусев В.В., Илюшин М.В., Катков О.Н., Мельников А.А., Стремоухов М.В. // Телекоммуникации, 2018. № 2. С. 45-48.
10. Батенков К.А. Синтез детерминированных нелинейных дискретных отображений непрерывных каналов связи // Труды СПИИРАН, 2016. № 2 (45). С.75-101.

УДК 621.39

ПЕРЕДАЧА ЗАПРОСОВ В РЕЖИМЕ ДВОЙНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАПРОСНОГО КАНАЛА ПО АЛГОРИТМУ ТАКТИРОВАННОГО СЛУЧАЙНОГО МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА

TRANSMISSION OF REQUESTS IN THE DUAL-USE MODE OF THE REQUEST CHANNEL USING THE CLOCKED RANDOM MULTIPLE ACCESS ALGORITHM

Дмитрий Вячеславович Донцов
заместитель начальника
НИУ ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ
Адрес: 111123, Москва, проспект Свободный, д. 4

Александр Иванович Косяк
кандидат технических наук
старший научный сотрудник
«Управление АСУ и связи»
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: KosyakAI@iifmail.ru

Сергей Николаевич Шиманов
почетный работник ВПО РФ
почетный радист РФ
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
«Управление АСУ и связи»
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93

Аннотация

В статье рассматривается процесс передачи запросов в режиме двойного использования запросного канала. Указывается на особенности передачи запросов при двойном использовании запросного канала, приводится математическое описание исследуемого процесса, методика расчета оперативности передачи запросов. В подтверждение достоверности полученных результатов приводится сопоставление результатов аналитического и имитационного моделирования. Представленная аналитическая модель является основой в дальнейшем сформированной методики определения параметров двойного использования запросного канала, позволяющей контролировать понижение оперативности передачи запросов не ниже заданного уровня.

Ключевые слова: случайный множественный доступ, запросный канал, централизованные системы связи, конечные цепи Маркова.

Summary

The article discusses the process of transmitting requests in the dual-use mode of the request channel. It points out the features of the transmission of requests when using the query channel twice, provides a mathematical description of the process under study, and a methodology for calculating the speed of transmission of requests. In confirmation of the reliability of the results obtained, a comparison of the results of analytical and simulation modeling is given. The presented analytical model is the basis of a further developed methodology for determining the parameters of dual use of the request channel, which allows controlling the decrease in the speed of transmitting requests not lower than a given level.

Keywords: random multiple access, interrogation channel, centralized communication systems, Markov end chains.

В системах централизованной связи, функционирующих в режиме предоставления каналов по требованию, *запросы* на выделение канального ресурса от абонентов передаются по так называемому запросному каналу в режиме случайного множественного доступа. Зачастую, ввиду принципа организации многостанционного доступа в таких системах для передачи запросов используется алгоритм тактированного СМД (S-Aloha) [1,2,3]. Размер такта равен размеру слота (t_{slot} мс), в котором ведется передача пакета информации. Алгоритм S-Aloha имеет один единственный параметр – q_r, в вероятностном смысле представляющий собой вероятность того, что абонент, находящийся в режиме повторной передачи запроса передаст ранее сформированный запрос в запросный канал.

В процессе эксплуатации систем связи может

возникнуть необходимость в периодическом сборе короткого объема «цифровой» информации, характеризующего техническое состояние радиостанций или состояние абонента. Далее условимся такого рода информацию называть *донесениями*. Одним из вариантов организации сбора донесений может служить организация сбора по запросному каналу. Доступ к запросному каналу в данном случае на периоде сбора донесений должен быть разделен. Временная диаграмма разделения представлена на *рисунке 1*.

Так как число объектов, передающих донесения и время запуска процесса передачи донесений известно, то поток донесений может быть преобразован в детерминированный трафик. Самым лучшим способом передачи детерминированного трафика является упорядоченная бесконфликтная передача ($Al_д$). Трафик запросов является случайным, с малой интенсивностью (λ_0). Наилучшим способом для его передачи, как и до процедуры двойного использования является алгоритм СМД ($Al_з$).

На *рисунке 2* представлена особенность передачи запросов по алгоритма S-Aloha в режиме двойного использования запросного канала.

Из представленного рисунка видно, что в период передачи донесений возможна генерация запросов на выделение каналов трафика. Исходя из этого возникает вопрос – каким образом передавать данные запросы при наступлении слот для их передачи. Одним из вариантов стратегии передачи данных запросов может служить переход алгоритма в режим повторной передачи. Существующие математические модели [1,2,3] представленную выше особенность и предложенную стратегию поведения не описывают, ввиду чего потребовалась разработка соответствующей математической модели.

Блок-схема алгоритма передачи запроса по предложенной стратегии представлена на *рисунке 3*. Цветом выделены блоки, не входящие в стандартный (известный) алгоритм СМД.

Состояние процесса можно охарактеризовать числом узлов, находящихся в режиме повторной передачи:

$$n=\{0,1,\ldots,N\} \quad (1)$$

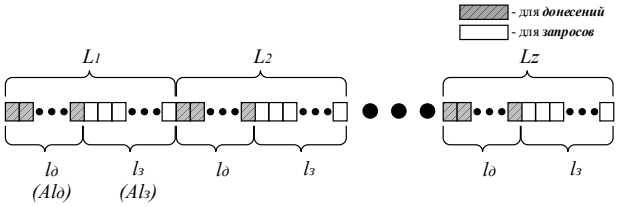


Рис. 1. Схема двойного использования запросного канала (*L* – размер периода двойного использования, *lд* – слоты для передачи донесений, *lз* – слоты для передачи запросов, *Alд* – алгоритм передачи донесений, *Alз* – алгоритм передачи запросов)

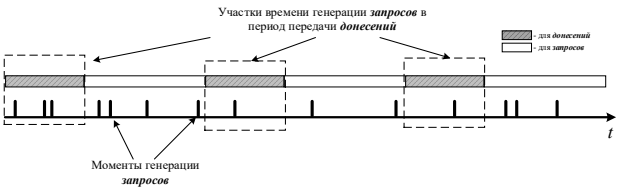


Рис. 2. Особенность работы алгоритма S-Aloha в период двойного использования запросного канала

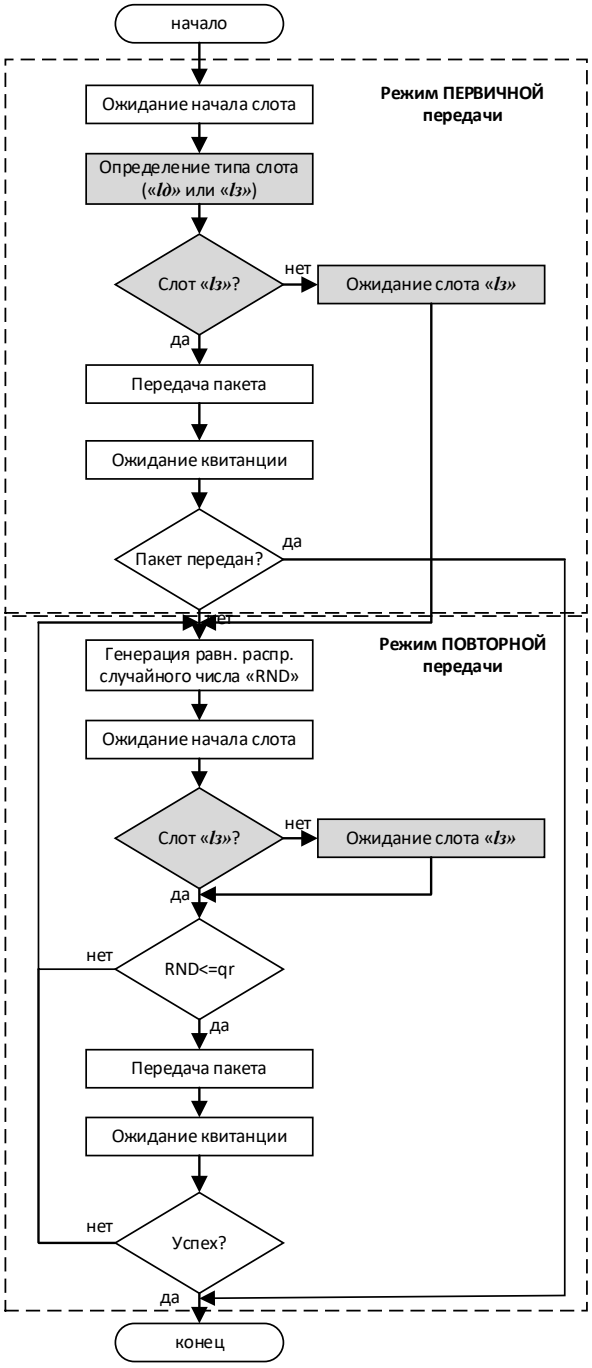


Рис. 3. Блок-схема алгоритма передачи запроса в режиме двойного использования запросного канал

Ввиду особенностей организации многостанционного доступа и алгоритма S-Aloha, процесс передачи запроса представляет собой эргодическую конечную цепь Маркова [4,5]. Граф состояний и переходом представлен на *рисунке 4*.

Отличие представленного графа от известного [4,5] состоит в наличии перехода между состоянием «0» и «1», обусловленное генерацией запроса в период передачи донесений.

Компоненты матрицы вероятностей переходов (МПВ)

$$P_{[(N+1)\times(N+1)]}$$

определяются аналитическим выражением:

$$P_{[n,n+i]}=\begin{cases} Q_a(1,N-n)\begin{pmatrix}(1-K_{ц.и.})+\\+K_{ц.и.}(1-Q_r(0,n))\end{pmatrix}, & i=1,\\ Q_a(i,N-n), & 2\le i\le(N-n),\\ (1-K_{ц.и.})Q_a(0,N-n)+ & \\ +K_{ц.и.}\begin{pmatrix}Q_a(1,N-n)Q_r(0,n)+\\+Q_a(0,N-n)(1-Q_r(1,n))\end{pmatrix}, & i=0,\\ K_{ц.и.}Q_a(0,N-n)Q_r(1,n), & i=-1,\end{cases} \quad (2)$$

где $Q_a(i,n_a)$ – вероятность того что i из n_a узлов, находящихся в режиме первичной генерации сгенерирую и соответственно передадут запрос в запросный канал, определяемая соотношением (3);

q_a – вероятность первичной генерации запроса на периоде длительности слота (t_{slot}), определяемая аналитическим соотношением (4);

$Q_r(i,n_r)$– вероятность того что i из n_r узлов, находящихся в режиме повторной передачи передадут запрос в запросный канал, определяемая аналитическим соотношением (5);

$K_{ц.и.}$– коэффициент целевого использования запросного канала связи, определяемый аналитическим соотношением (6).

$$Q_a(i,n_a)=C_i^{n_a}(1-q_a)^{n_a-i}q_a^i \quad (3)$$

$$q_a=1-e^{-\lambda_0 t_{slot}} \quad (4)$$

$$Q_r(i,n_r)=C_i^{n_r}(1-q_r)^{n_r-i}q_r^i \quad (5)$$

$$K_{ц.и.}=l_з/L \quad (6)$$

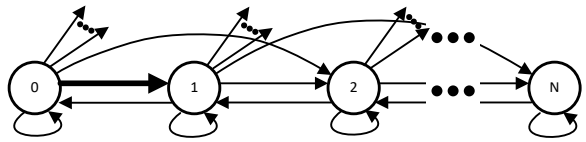


Рис. 4. Граф состояний и переходов процессе передачи запроса в режиме двойного использования запросного канала

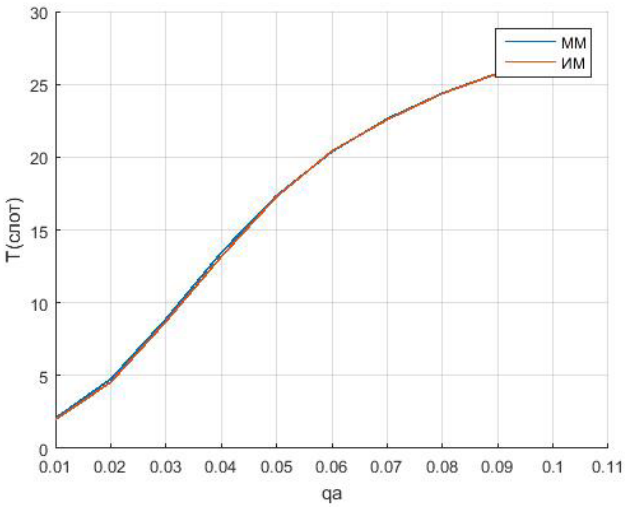


Рис. 6. Расчет средней задержки передачи запроса на основе аналитической (ММ) и имитационной (ИМ) модели

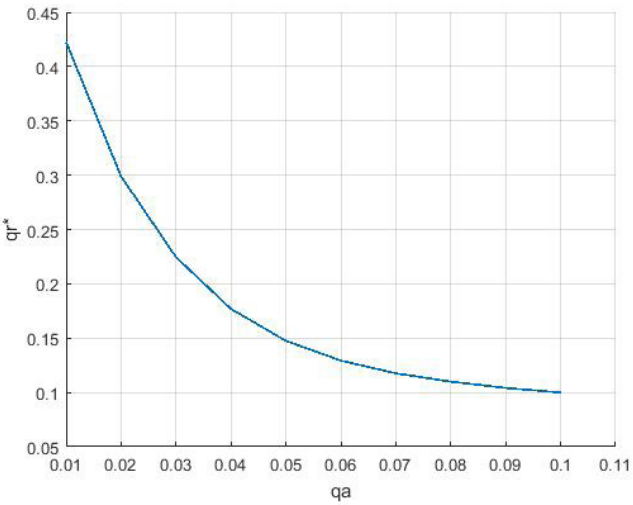


Рис. 5. Зависимость оптимального значения параметра СМД от вероятности первичной генерации

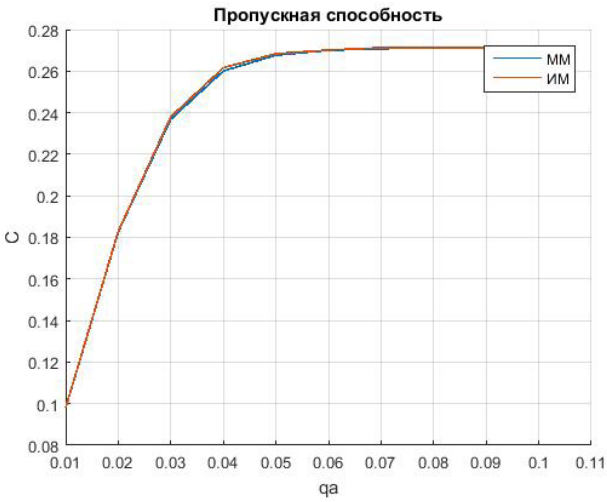


Рис. 7. Расчет пропускной способности алгоритма на основе аналитической (ММ) и имитационной (ИМ) модели

В [4,5] показано, что основными показателями качества каналов, построенных на базе протоколов СМД, являются их относительная пропускная способность, определяемая как математическое ожидание числа успешно передаваемых пакетов, приходящихся на один временной сегмент канала, – C и средняя задержка пакета в канале, выражаемая в временных сегментах, – $\overline{T}$.

Методика расчета указанных характеристик состоит из следующих этапов:

1. Расчет финальных вероятностей цепи, посредством решения системы уравнений

$$\left.\begin{aligned} P_{n+i}^{ф} &= \sum_{(n+i)\in S} P_n^{ф} P_{[n,n]}, i=\overline{0,N} \\ \sum_{n\in S} P_n^{ф} &= 1 \end{aligned}\right\}. \quad (7)$$

2. Расчет для каждого из состояний n относительной пропускной способности.

$$c(n) = K_{ц.и.}\left(Q_a(1,N-n)Q_r(0,n) + Q_a(0,N-n)Q_r(1,n)\right). \quad (8)$$

3. Расчет относительной пропускной способности канала.

$$C = \sum_{n\in S} P_n^{ф} c(n). \quad (9)$$

4. Расчет среднего состояния исследуемого процесса

$$\mathrm{M}[n] = \sum_{n\in S} n P_n^{ф}. \quad (10)$$

5. Расчет средней задержки.

$$\overline{T} = \mathrm{M}[n] / C. \quad (11)$$

Алгоритм СМД имеет единственный параметр – q_r. В работах [1,2,3] показано, что задача оптимизации параметра СМД сводится к поиску значения, обеспечивающего минимальную задержку передачи запроса.

$$q_r^* = \arg_{\{q_r\}}[\overline{T}(q_r) \to \min]. \quad (12)$$

Аналитически решить представленную задачу оптимизации не представляется возможным, поэтому ввиду унимодальности зависимости среднего времени передачи запроса от параметра q_r она решается численно, посредством одного из методов численной оптимизации, к примеру методом «золотого сечения» [6].

Пример зависимости оптимального значения параметра q_r от вероятности первичной генерации для частного случая числа узлов и коэффициента целевого использования представлен на *рисунке 5*.

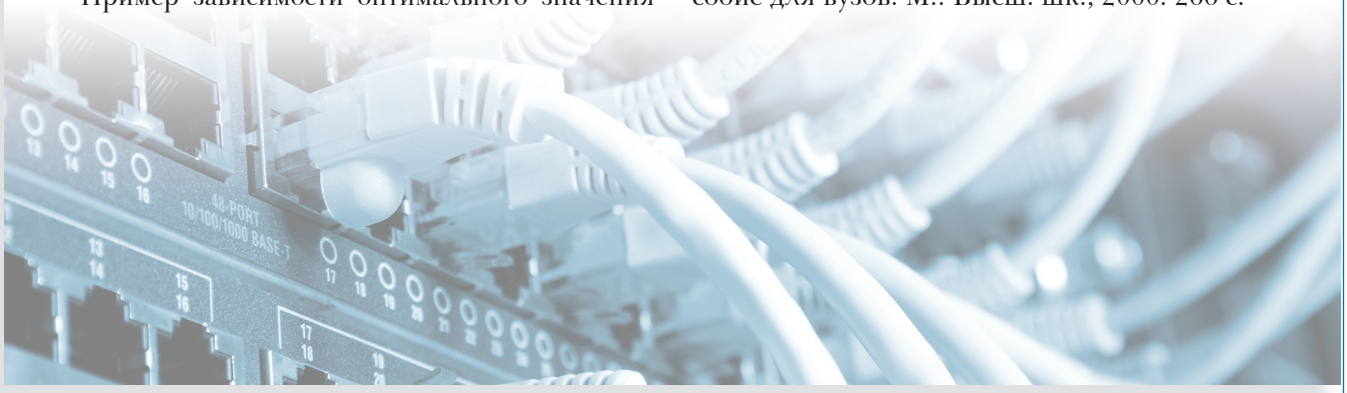
Из графика видно, что каждому значению вероятности первичной генерации (общей входной интенсивности запросов) соответствует свое оптимальное значение параметра СМД, обеспечивающее минимальное значение средней задержки передачи запроса.

Сопоставление результатов аналитического и имитационного моделирования в части расчета средней задержки представлено на *рисунке 6*.

Представленные графики иллюстрирует адекватность составленной аналитической модели – графики средней задержки передачи запроса на всех уровнях вероятности первичной генерации практически совпадают. Небольшое различие обусловлено объемом проводимых экспериментов при имитационном моделировании. Таким образом, представленная аналитическая модель может служить основой методики определения параметров схемы двойного использования запросного канала (числа слот $l_з$ и $l_д$), позволяющих организовать сбор донесений по запросному каналу при контролируемом снижении оперативности (среднего времени) передачи запросов не ниже заданного уровня.

Литература

1. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. М.: Мир, 1989. 544 с.
2. Клейнрок Л. Вычислительные сети с очередями. М.: Мир, 1979. 600с.
3. Войтер А.П. Протоколы случайного множественного доступа для вычислительных сетей с пакетной радиосвязью // Управляющие системы и машины, 1984. №4. С.45-50.
4. Кемени Д.Д., Снелл Д.Л. Конечные цепи Маркова. М.: Наука, 1970. 272 с.
5. Цимбал В.А. Информационный обмен в сетях передачи данных. Марковский подход: монография. М.: Вузовская книга, 2014. 144 с.
6. Вержбицкий В.М. Численные методы (линейная алгебра и нелинейные уравнения): Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2000. 266 с.



УДК 004.738

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ШПС–ФМ КАК СИГНАЛОВ КАДРОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ АНАЛОГОВЫМ И ДИСКРЕТНЫМ СОГЛАСОВАННЫМИ ФИЛЬТРАМИ

MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSING QPSK BROADBAND SIGNALS AS FRAME SYNCHRONIZATION SIGNALS BY DISCRETE ANALOG AND DISCRETE MATCHED FILTERS

Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес:142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д.1 а
Тел.:+7 (985) 141-79-09
E-mail: tsimbalva@mail.ru

Антон Андреевич Парфентьев
адъюнкт
филиал ВА РВСН имени Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес:142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.:+7(985)141-79-09
E-mail: parfi2191@mail.ru

Аннотация

В статье приводится научно-методический аппарат нахождения вероятности кадровой синхронизации в системах связи с временным многостанционным доступом (TDMA), в которой сигнал кадровой синхронизации представлен в виде ШПС-ФМ и его обработка на фоне БГШ в абонентской станции реализуется как аналоговым, так и дискретным согласованным фильтром. Дается численная оценка качеству приема и обработки ШПС-ФМ аналоговым и дискретным согласованными фильтрами.

Ключевые слова: подсистема кадровой синхронизации, широкополосные сигналы, псевдослучайные последовательности, аналоговый согласованный фильтр, дискретный согласованный фильтр.

Summary

The article presents a scientific and methodological apparatus for finding the probability of frame synchronization in communication systems with time multi-station access (TDMA), in which the frame synchronization signal is represented as QPSK broadband signals and its processing against the background of AWGN in the subscriber station is implemented as an analog and discrete matched filter. A numerical estimation of the quality of reception and processing of QPSK broadband signals by analog and discrete matched filters is given.

Keywords: frame synchronization subsystem, broadband signals, pseudo- random sequences, analog matched filter, discrete matched filter.

Введение

Современные системы сотовой, транкинговой и спутниковой связи строятся, как правило, на основе совместного использования абонентскими станциями (АС) общего коммуникационного ресурса, разделяемого во времени, при этом данный коммуникационный ресурс имеется на базовой станции сети, на которой располагается ретранслятор сигналов с их полной или частичной обработкой [1,2]. Такой метод совместного использования АС общего коммуникационного ресурса сети называется методом временного многостанционного доступа (ВМСД), и он требует нахождения всех АС сети в общем кадровом синхронизме, задаваемом базовой станцией (ретранслятором) путем выдачи всем АС сигналов кадровой синхронизации (СКС) [3,11]. На каждой АС имеется подсистема кадровой синхронизации (ПКС), которая обеспечивает ввод и поддержание АС в кадровом синхронизме по принимаемым СКС.

Известно, что в системах связи с ВМСД СКС представляется в виде широкополосного сигнала с фазовой манипуляцией (ШПС-ФМ), при этом прием и обработка ШПС-ФМ реализуется согласованным фильтром (СФ) как в аналоговом (АСФ), так и в дискретном (ДСФ) вариантах исполнения [4,7-9]. Формирование ШПС-ФМ осу-

ществляется на основе псевдослучайных последовательностей (ПСП), ансамбль которых в настоящее время значителен. Критерием использования ПСП в ПКС системы связи с ВМСД является минимум боковых лепестков (БЛ) их автокорреляционных функций (АКФ). В [5] описаны 20-разрядные ПСП, найденные на основе иррациональных чисел и геномных последовательностей, у которых БЛ их АКФ в периодическом режиме равны нулю [6]. В связи с изложенным актуальной является задача сравнительной оценки применимости АСФ и ДСФ для приема и обработки СКС в виде ШПС-ФМ на основе 20-разрядной последовательности в ПКС.

Основная часть

Спецификой решения данной задачи является то, что, во-первых, ШПС-ФМ строятся на основе псевдослучайных последовательностей (ПСП) и, во-вторых, на выходе СФ после обработки ШПС-ФМ имеется автокорреляционная функция (АКФ) ПСП, включающая основной и G-боковых лепестков, наблюдаемых на фоне белого гауссовского шума (БГШ), источником которого является приемное устройство (ПРМУ) и внешние непреднамеренные помехи.

Обработка ПСП в виде ШПС-ФМ АСФ

На *рисунке 1* представлена ПКС, которая содержит анализатор отношения сигнал/шум (Анализатор h_0^2), АСФ, вычислитель порога (Вычислитель U_n), пороговое устройство (ПУ), генератор сигнала кадра (ГСК), временной распределитель.

Анализатор отношения сигнал/шум на основе анализа смеси СКС+БГШ формирует величину h_0^2 и выдает ее в вычислитель порога для нахождения оптимального U_n^*.

Если на вход ПРМУ поступает один повтор СКС на фоне БГШ, то на выходе АСФ имеются пики (G – боковых и основной) непериодической АКФ (НАКФ) СКС на фоне БГШ. Данные случаи показаны в виде временных диаграмм на *рисунке 2*.

Ключевым параметром, определяющим факт наличия/отсутствия СКС по отклику на выходе АСФ, является порог срабатывания U_n ПУ. Так как на входе ПУ всегда имеется БГШ, вынесение решения о приеме СКС (а соответственно, кадровой синхронизации) должно осуществляться на основе теории случайных процессов [10]. Тогда, если смесь «лепестки НАКФ+БГШ» превысит порог U_n при наличии СКС, то будет принято решение о наличии СКС (ПУ в момент превышения порога выдаст сигнал-строб «СКС есть» – верная синхронизация). Если смесь «лепестки НАКФ+БГШ» не превысит порог U_n, то ПУ не выдаст сигнал «СКС есть» (пропуск СКС). Если БГШ превысит порог U_n при отсутствии СКС, то будет принято решение о наличии СКС (ПУ выдаст сигнал «СКС есть» – ложная синхронизация).

Отметим, что в момент превышения порога U_n ПУ выдает сигнал (строб) «СКС есть», который поступает в генератор сигнала кадра (ГСК). При этом ГСК формирует кадровую последовательность, начало которой определяется стробом. Кадровая последовательность поступает во временной распределитель, который формирует во временные окна (ВО) кадра, назначенные

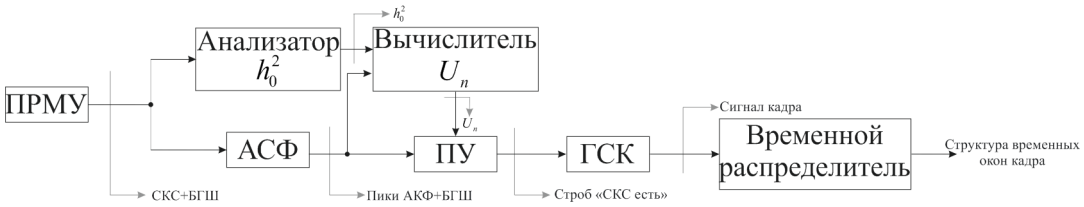


Рис. 1. Структура ПКС с АСФ

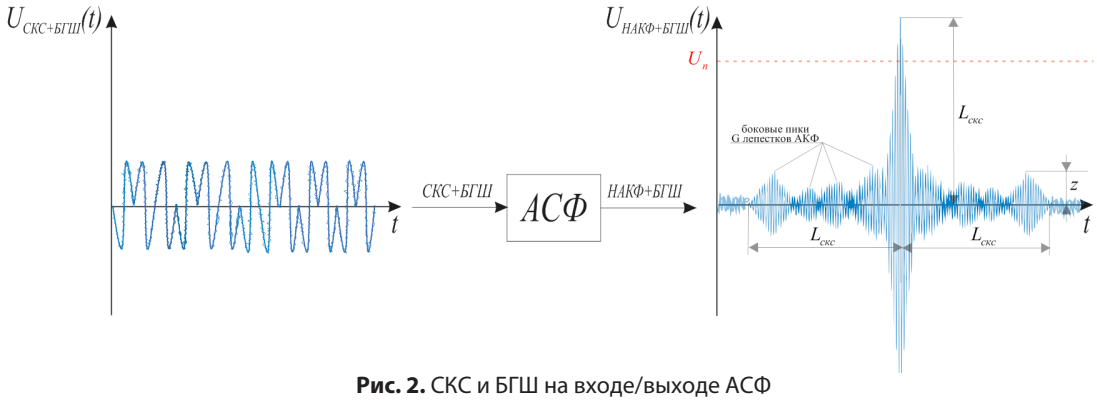


Рис. 2. СКС и БГШ на входе/выходе АСФ

данной АС, синхросигналы, активизирующие блоки, обеспечивающие ведение информационного обмена данной АС.

Наиболее опасными случаями в работе ПКС являются случай ложной синхронизации и случай пропуска СКС. Общий результат проявления данных случаев будем называть несинхронизацией АС. Вероятность ложного формирования СКС определяется как фактом ложного формирования СКС от БГШ ($Q_{лфскс}^{БГШ}$), так и фактом ложного формирования СКС от смеси боковых лепестков и БГШ ($Q_{лфскс}^{Glеп.+БГШ}$).

Итак, на выходе АСФ имеется случайный процесс (НАКФ+БГШ). В ПУ устанавливается порог, превышение которого свидетельствует о приеме СКС или ложного СКС. Однако в момент превышения порога в сечении «поперек» случайного процесса имеется случайная величина, распределенная по закону смеси НАКФ+БГШ, при этом НАКФ есть детерминированная составляющая, определяющая математическое ожидание смеси в сечении. БГШ является случайным процессом, распределенным по нормальному закону с нулевым средним. Тогда вероятность непревышения сигналом кадровой синхронизации установленного порогового значения в АСФ $Q\,(U<U_n)$ можно найти по табулированной функции Лапласа [10].

$$\Phi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{U_n} e^{-\frac{t^2}{2}}dt, \text{ где } t=\frac{U_n-m}{\sigma}, \text{ т.е.} \qquad (1)$$

$$Q(U<U_n)=\Phi(\frac{U_n-m}{\sigma}), \qquad (2)$$

где U_n – пороговое значение, выставляемое в ПУ;

m – математическое ожидание смеси на выходе АСФ;

σ – среднее квадратическое отклонение смеси НАКФ и БГШ.

Найдем вероятность ввода АС в кадровый синхронизм:

$$P_{кс}=1-Q_{общ.} \qquad (3)$$

где $Q_{общ.}$ – вероятность несинхронизации АС, включающая вероятность формирования ложного СКС из БГШ ($Q_{лфскс}^{БГШ}$), вероятность пропуска СКС ($Q_{проп.скс}^{БГШ+СКС}$), вероятность формирования ложного СКС на G-лепестках НАКФ ($Q_{лфскс}^{Glеп.+БГШ}$).

Найдем вероятность формирования ложного СКС из БГШ ($Q_{лфскс}^{БГШ}$). Введем U_n как долю от максимума основного лепестка в виде величины k ($0\le k\le 1$). Тогда:

$$Q_{лфскс}^{БГШ}=1-Q_{непр.пор.}^{БГШ}=1-\Phi[k\sqrt{2L_{скс}h_0^2}], \qquad (4)$$

где $L_{скс}$ – длина СКС;

h_0^2 – отношение сигнал/шум на входе АСФ.

Найдем вероятность пропуска СКС ($Q_{проп.скс}^{БГШ+СКС}$):

$$Q_{проп.скс}^{БГШ+СКС}=\Phi[(k-1)\sqrt{2L_{скс}h_0^2}]. \qquad (5)$$

Найдем вероятность формирования ложного СКС из одного лепестка НАКФ СКС ($Q_{лфскс}^{(1леп.)}$):

$$Q_{лфскс}^{(1леп.)}=1-Q_{непр.пор.}^{(1леп.)}=1-\Phi[(k-\frac{z}{L_{скс}})\sqrt{2L_{скс}h_0^2}], \qquad (6)$$

где z – значение пика бокового лепестка.

Определив вероятность формирования ложного СКС на каждом боковом лепестке НАКФ, можно найти вероятность формирования ложного СКС на всех лепестках НАКФ ($Q_{лфскс}^{(Glеп.)}$) [10]:

$$Q_{лфскс}^{Glеп.+БГШ}=1-(1-Q_{лфскс}^{БГШ})(1-Q_{лфскс}^{(Glеп.)}), \qquad (7)$$

где G – количество лепестков в НАКФ.

Зная вероятность формирования ложного СКС из БГШ и вероятность формирования ложного СКС из боковых лепестков НАКФ, можно найти общую вероятность ложного формирования СКС:

$$Q_{лфскс}^{Glеп.+БГШ}=1-(1-Q_{лфскс}^{БГШ})(1-Q_{лфскс}^{(Glеп.)}). \qquad (8)$$

Тогда вероятность несинхронизации, включающая вероятность формирования ложного СКС и вероятность пропуска СКС, будет равна:

$$Q_{общ.}=1-(1-Q_{лфскс}^{Glеп.+БГШ})(1-Q_{проп.скс}^{БГШ+СКС}). \qquad (9)$$

Следовательно, вычислив вероятность несинхронизации, можно найти вероятность ввода в кадровый синхронизм АС (10). Изменяя уровень порога, можно регулировать вероятность ложного формирования СКС и вероятность пропуска СКС. Так при увеличении порога вероятность ложного формирования СКС уменьшается, а вероятность пропуска увеличивается и, соответственно, при уменьшении порога вероятность ложного формирования СКС увеличивается, а вероятность пропуска уменьшается.

$$P_{кс}=(1-Q_{лфскс}^{Glеп.+БГШ})(1-Q_{проп.скс}^{БГШ+СКС}). \qquad (10)$$

Следовательно:

1) при фиксированной длине СКС и отношении сигнал/шум на входе АСФ существует оптимальное U_n, доставляющее вероятности ввода в кадровый синхронизм в условиях действия БГШ максимум;

2) так как зависимость вероятности ввода в кадровый синхронизм в условиях действия БГШ есть непрерывная функция, имеющая один экстремум (максимум), то можно воспользоваться численными методами его нахождения, что позволит определять оптимальное U_n^* или (k^*), т.е.

$$k^*=\arg\max_{k^*\in(\overline{0,1})}(P_{кс}). \qquad (11)$$

Обработка ПСП в виде ШПС-ФМ ДСФ

На *рисунке 3* представлена ПКС, которая содержит демодулятор, ДСФ, вычислитель количества допустимых ошибок k в ПСП (Вычислитель k), пороговое устройство (ПУ), генератор сигнала кадра (ГСК), временной распределитель.

Принципиальное отличие ДСФ от АСФ состоит в том, что смесь СКС БГШ сначала поступает в демодулятор (*рисунок 3*). На выходе демодулятора формируется ПСП из единиц и нулей с вероятностью ошибки на бит p_0. ДСФ на основе полученной ПСП формирует НАКФ (*рисунок 4*).

На основе вероятности битовой ошибки вычислитель количества допустимых ошибок устанавливает порог допустимых ошибок в ПУ. ПУ в соответствии с полученными сигналами от ДСФ и вычислителя количества допустимых ошибок принимает решение о формировании строба «СКС есть». Так же, как и при использовании АСФ в ДСФ может произойти как пропуск СКС, так и ложный прием СКС из БГШ.

Найдем вероятность пропуска СКС [12]:

$$Q_{проп.скс}^{БГШ+СКС} = \sum_{i=k+1}^{L_{скс}} C_{L_{скс}}^{i} p_0^{\,i} (1-p_0)^{L_{скс}-i}. \qquad (12)$$

Вероятность битовой ошибки для ФМ-сигнала на выходе демодулятора связана с отношением сигнал/шум так:

$$p_0 = \frac{1}{2}(1 - K(\sqrt{2h_0^2})), \qquad (13)$$

где $K(x)$ есть интеграл вероятности (функция Крампа).

$$K(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{\frac{-t^2}{2}} dt. \qquad (14)$$

Найдем вероятность ложного формирования СКС из БГШ [12]:

$$Q_{лфскс}^{БГШ} = \frac{1}{2^{L_{скс}}} \sum_{i=0}^{k} C_{L_{скс}}^{i}. \qquad (15)$$

Найдем общую вероятность неввода в синхронизм:

$$Q_{общ.} = Q_{проп.скс}^{БГШ+СКС} + Q_{лфскс}^{БГШ}. \qquad (16)$$

Следовательно, вероятность ввода АС в кадровый синхронизм будет равна:

$$P_{кс} = 1 - Q_{общ.}. \qquad (17)$$

Сравнение результатов обработки ПСП в виде ШПС-ФМ АСФ и ДСФ

На основе полученных аналитических соотношений для вероятности кадровой синхронизации как для АСФ, так и для ДСФ были проведены расчеты искомой вероятности применительно к 20-разрядной ПСП со структурой 11111111100100111000 [5,6].

Результаты расчета представлены на графике *рисунка 5*.

По данным графика можно сделать следующие выводы:

1) во всем диапазоне значений h_0^2 АСФ обеспечивает более высокий уровень вероятности кадровой синхронизации по отношению к ДСФ;

2) при $h_0^2 > 1$ вероятность кадровой синхронизации при АСФ и ДСФ одинакова.

Заключение

Разработан научно-методический аппарат нахождения вероятности кадровой синхронизации в ПКС системы связи с ВМСД, построенной как в варианте АСФ, так и в варианте ДСФ при использовании СКС в виде ШПС-ФМ на базе любых ПСП. Дана сравнительная характеристика применения АСФ и ДСФ при использовании в качестве СКС 20-разрядной ПСП с улучшенными автокорреляционными свойствами.

Литература

1. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебное пособие. М.: Эко-Трендз, 2005. 392 с.

2. Степунин А.Н., Николаев А.Д. Мобильная

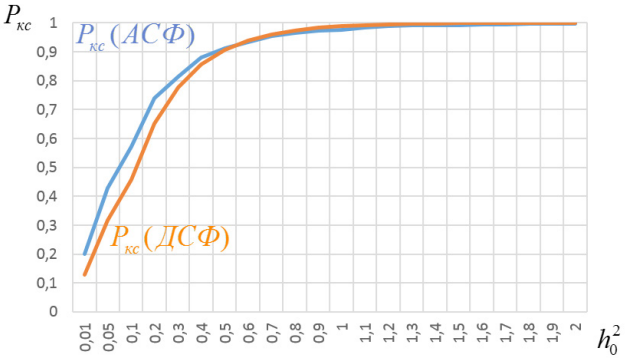


Рис. 5. График зависимости вероятности КС от h_0^2 при АСФ и ДСФ

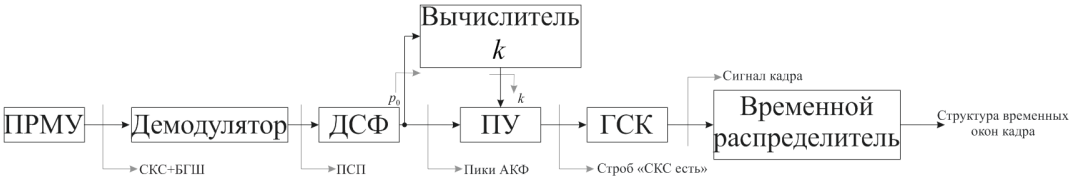


Рис. 3. Структура ПКС с ДСФ

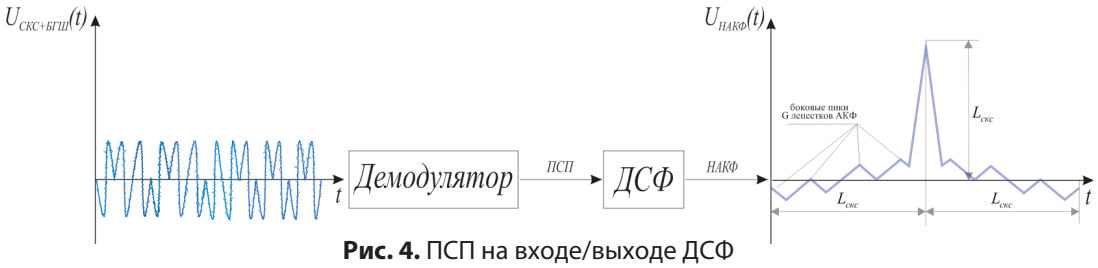
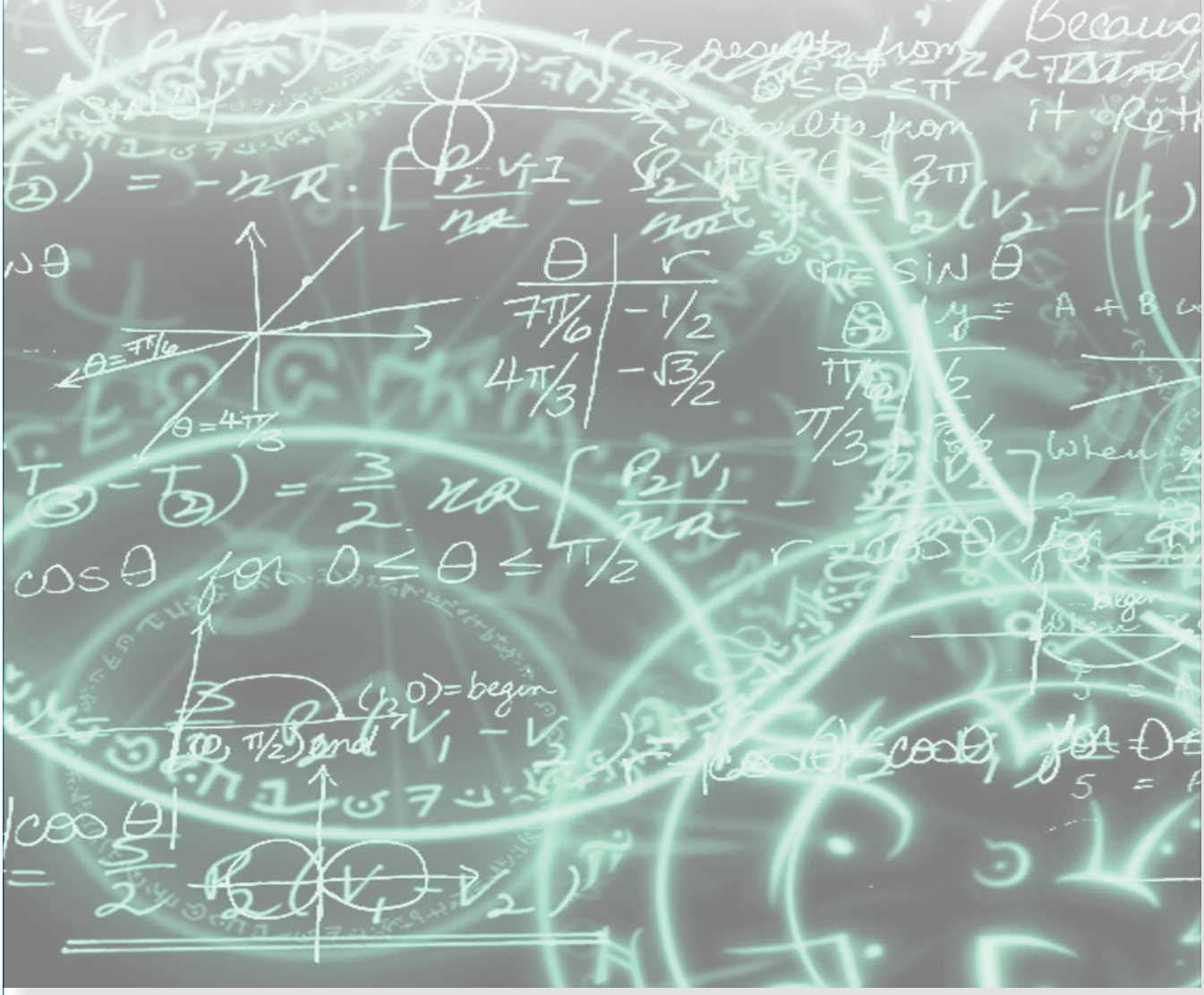
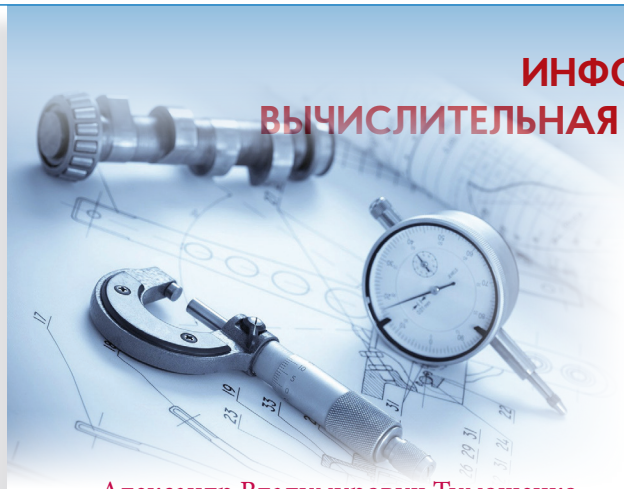


Рис. 4. ПСП на входе/выходе ДСФ

связь на пути к 6G. В 2 т. Т.1. 2-е изд. Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 384 с.
3. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи: Учебное пособие. 2-е изд. М.: ООО «Военный парад», 2010. 608 с.
4. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е., Шестопалов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляцией псевдослучайной последовательностью М.: РадиоСофт, 2011. 550 с.
5. Цимбал В.А. Информационная безопасность: методы шифрования / Под ред. Е.М. Сухарева. Кн. 7. М.: Радиотехника, 2011. 208 с.
6. Цимбал В.А., Дегтярев В.Б., Богатырев А.Н. Поиск псевдослучайных последовательностей для систем связи с широкополосными сигналами на основе иррациональных чисел и геномных последовательностей // Известия Института инженерной физики, 2011. №1(19). С.61-64.
7. Тузов Г.И. Статистическая теория приема сложных сигналов. М.: Советское радио, 1977. 400 с.
8. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
9. Диксон Р.К. Широкополосные системы: Пер. с англ. / Под ред. В.И. Журавлева. М.: Связь, 1979. 304 с.
10. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Учебное пособие для втузов. М.: Высшая школа, 2000. 383 с.
11. Парфентьев А.А. Математическая модель подсистемы кадровой синхронизации системы ДКМВ радиосвязи с вынесенным ретранслятором и временным многостанционным доступом // Всероссийская конференция «Современные технологии обработки сигналов» (СТОС-2019); Тр. Рос. науч.-техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. М.: ООО «БРИС-М», 2019. Вып.II. С.86-89.
12. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2013. 1104 с.





УДК 51-74

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СТРУКТУРНОЙ ЖИВУЧЕСТИ МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА С УЧЕТОМ ФОРС-МАЖОРНЫХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВ*

A PROBABILISTIC APPROACH TO ASSESSING THE STRUCTURAL SURVIVABILITY OF NETWORK SPATIALLY DISTRIBUTED MONITORING SYSTEMS

Александр Владимирович Тимошенко
доктор технических наук, профессор
заместитель генерального конструктора
АО «Радиотехнический институт
имени академика А.Л. Минца»
Адрес: 127083, Москва, ул. 8 Марта, д. 10, стр. 1
Тел.: 8 (495) 612-99-99 доб. 1753
E-mail: atimoshenko@rti-mints.ru

Анатолий Александрович Мурашов
доктор технических наук, доцент
профессор кафедры математики ЯВВУ ПВО
Адрес: 150001, г. Ярославль,
Московский проспект, д. 28
Тел.: 8 (4852) 20-08-14
E-mail: yavvu_umo@mil.ru

Азрет Ахматович Кочкаров
кандидат физико-математических наук
доцент департамента анализа данных
Финансовый университет при Правительстве РФ
главный специалист АО «РТИ»
Адрес: 125993, Москва,
Ленинградский просп., д. 49
Тел.: 8 (495) 612-99-99 доб. 3689
E-mail: AKochkarov@aorti.ru

Владимир Ахметович Бадоев
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
доцент кафедры математики
ЯВВУ ПВО
Адрес: 150001, г. Ярославль,
Московский проспект, д. 28
Тел.: 8 (4852) 20-08-14
E-mail: yavvu_umo@mil.ru

Дмитрий Иванович Буханец
доктор технических наук
ученый секретарь – начальник отдела
АО «Радиотехнический институт
имени академика А.Л.Минца»
Адрес: 127083, Москва, ул. 8 Марта, д. 10, стр. 1
Тел.: 8 (495) 612-99-99 доб. 2096
E-mail: dbukhanets@rti-mints.ru

Аннотация
Рассмотрены предложения по организации метрологического обеспечения средств измерений азимута, на которое в настоящее время отсутствует единая нормативная база.
Ключевые слова: средства измерений азимута, метрологическое обеспечение, эталоны, поверочная схема, геодезические и астрономические измерения.

Summary
Considered are proposals for organizing metrological support for azimuth measuring instruments, for which there is currently no single regulatory framework.
Keywords: azimuth measuring instruments, metrological support, standards, calibration scheme, geodetic and astronomical measurements.

1. Введение

Современные сетевые пространственно-распределенные системы мониторинга (СПРС) представляют собой комплексы взаимодействующих информационных средств *(рисунок 1)*.

Как правило, СПРС формируются из локальных систем мониторинга, объединяемых одним типом носителя информационных средств или средой мониторинга. По этой причине для каждой из локальных систем мониторинга, участвующих в формировании СПРС, используются свои специфические критерии и показатели функционирования [1].

Вместе с тем для оценки эффективности функционирования систем мониторинга традиционно принято использовать вероятность ложных информации всей системы или вероятность ложных тревог отдельных информационных средств локальных подсистем [2]. Но такой показатель эффективности функционирования СПРС сложно оценить из значений аналогичный показателей локальных систем мониторин-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ КОМФИ 18-00-01103.

га, интегрируемых в целостную СПРС.

Следует также обметить, что такой показатель не учитывает ряд важных свойств СПРС таких, как подвижность информационных средств (т.е. динамичность топологии сети), и возможность восстановления функциональности самой системы при внешних воздействиях на ее информационные средства и сеть связи между ними.

Для описания эффективности функционирования систем в условиях внешних воздействий принято использовать фундаментальное понятие живучести. Показатели живучести для оценки эффективности систем мониторинга в условиях внешних воздействий формируются на основе моделей функционирования самой системы. Отличительной особенностью и требованием к модели живучести СПРС является необходимость учета динамической топологии сети информационных средств системы. По этой причине для оценки эффективности функционирования СПРС в виде показателя структурной живучести наиболее целесообразно использовать иерархическую модель взаимодействия информационных средств с применением динамических графов.

Формируя и реализуя сценарий восстановления разрушающейся структуры СПРС (перестройка или дополнение структуры новыми вершинами и ребрами) можно увеличивать структурную живучесть.

СПРС специального назначения или функционирующие в условиях агрессивной внешней среды подвержены внешним негативным воздействиям. Как правило, такие воздействия приведут к нарушению взаимодействия между информационными средствами в СПРС или выходу из строя самих информационных средств. Различные комбинации внешних воздействий формируют варианты сценариев воздействий на СПРС, что, в свою очередь, отражается на структуре СПРС. Последствия (отказы каналов связи между информационными средствами и выходы из строя самих информационных средств) описываются на графе структуре СПРС как удаление вершин или ребер. Изменение структуры СПРС можно представать в виде последовательности графов, которую можно описать как кортежи графов или динамический граф. Последовательность графов также может быть сформирована на основе модели структурного разрушения СПРС, которая устанавливает соответствие между конкретными сценариями внешних воздействий и последовательностью графов.

Определив формат (тип) сценария внешнего воздействия как последовательность удаляемых вершин и/или ребер из графа структуры СПРС и критерий функциональности СПРС (заданный диаметр графа, связность графа, компоненты графа, специальный подграф графа), можно из общей последовательности графов, соответствую-

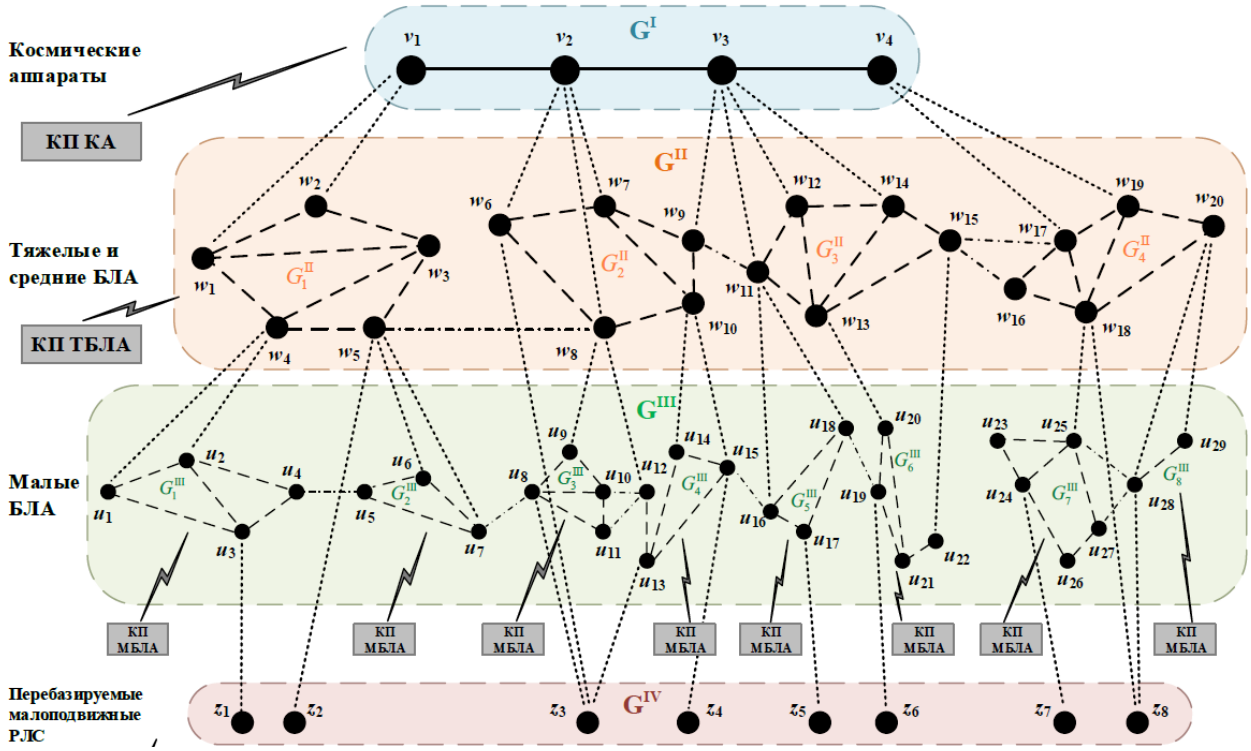


Рис. 1. Структурно-динамическая модель пространственно-распределенной сетевой системы мониторинга

щих различным сценариям разрушения (из кортежа графов), выделить графы, соответствующие вариантам структур функционирующей системы.

Структурную живучесть разумно определить как вероятность достижения системой критериев функциональность при различных внешних воздействиях.

Структурную живучесть для конкретного сценария структурного разрушения (последовательность графов, кортеж графов) можно рассчитать как отношение количества графов структур нефункционирующей системы к общему количеству всевозможных графов структур СПРС.

2. Функциональность СПРС

Внешние воздействия переходят СПРС в некоторое другое состояние, в котором могут быть нарушено функционирование как самих элементов (информационных средств) системы, так и связей между ними. Будем считать, что известны вероятности выхода из строя каждого из элементов системы. Выход из строя одновременно двух элементов, соединенных одним ребром, означает полную потерю данного информационного участка. Каждому состоянию после внешних воздействий будет соответствовать подграф, который в совокупности с другими будет образовывать кортеж подграфов состояний [3].

Каждому подграфу состояния будет соответствовать вектор, компонента которого будет равна 1, если объект информационной системы по результатам внешних воздействий сохранил свои функции, и 0 в противном случае. Заметим, что этот вектор изначально состоит из единиц. А всем информационным связям будет соответствовать матрица размером nxn, где n – число элементов системы. Если между элементами есть связь, значения элемента матрицы будут равны 1, а если нет, то 0. В условиях внешних воздействий, очевидно, связи между информационными средствами нарушается и количество нулей матрицы возрастает, а единиц уменьшается. Для каждой матрицы соответствующей функциональности системы можно вычислить вероятность выполнения системой своих функций.

Будем считать, что СПРС состоит из 4 локальных систем мониторига, в каждой из которых n_1, n_2, n_3, n_4 однотипных устройств соотвественно. Вероятности выхода из строя элемента для каждой локальной системы соотвественнно равны p_1, p_2, p_3, p_4. После поражающих воздействаий в каждой локальной системе мониторингавозможен выход из строя k_1, k_2, k_3, k_4 элементов.

Используя формулу Бернулли для каждой группы имеем вероятность выхода из строя k_i элементов:

$$P_{n_i}(k_i) = C_{n_i}^{k_i} p_i^{k_i} (1-p_i)^{n_i-k_i}, \; i=1,2,3,4. \quad (1)$$

Вероятность выхода из строя k_1, k_2, k_3, k_4 элементов в соотвествующих локальных системах мониторинга и соотвественно получения какого-то (интересующего нас) подграфа имеет вид:

$$P(k_1,k_2,k_3,k_4) = \prod_{i=1}^{4} P_{n_i}(k_i). \quad (2)$$

Для изначального графа СПРС после поражающих воздействий общее количество исходов (количества элементов множества кортежей), очевидно, будет равно:

$$P(A) = \sum_{i=1}^{N} P(K_i)P(A/K_i). \quad (3)$$

3. Вероятностный подход к расчету структурной живучести

Можно выделить такие состояния СПРС по итогам внешних воздействий, в которых система не сможет выполнять свои функции полностью. Такие состояния следует учесть при определении вероятностей работы системы после внешних воздействий.

С помощью комбинаторных рассуждений можно определить общее количество матриц состояний, которые будут соответствовать подграфам состояний и построить их. В результате необходимо будет решить обратную задачу – по всем матрицам построить подграфы состояний.

Живучесть СПРС определяется как вероятность выполнений системой своих функций после внешних воздействий [4]. Каждое состояние СПРС после поражающих воздействий обозначим символом K_i, где i – номер состояния, общее число которых равно N, определяемое формулой (3). Каждому состоянию соответствует вероятность $P(K_i)$, которая будет определяться формулой (2). При этом предполагаем, что каждому состоянию K_i соответствует свой набор значений k_1, k_2, k_3, k_4. После внешних воздействий некоторые состояния информационной системы не позволят ей выполнять свои функции. Общее их количество обозначим за $N_{нер}$. Однако в некоторых из них с помощью организационных мероприятий функциональные способности могут быть восстановлены с некоторой вероятностью $P(A/K_i)$, где под A понимается способность системы выполнять свои функции. Множество состояний СПРС после внешних воздействий будет обеспечивать ее функциональные возможности. В этом случае вероятности восстановления своих функций $P(A/K_i)$ будут равны 1. Соответственно для тех состояний, в которых невозможно восстановить функциональные способности СПРС, вероятности восстановления их функций $P(A/K_i)$ будут равны 0. Тогда в соответствии с формулой полной вероятности для живучести СПРС имеем

$$P(A)=\sum_{i=1}^{N}P(K_i)P(A/K_i). \qquad (4)$$

Фактически общее число слагаемых в сумме будет меньше N, поскольку часть слагаемых войдут с нулевыми весами. Тогда из суммы надо исключить все состояния, для которых восстановление функциональных способностей невозможно. В результате имеем

$$P(A)=\sum_{i=1}^{M}P(K_i)P(A/K_i), \qquad (5)$$

где M – число состояний системы, в которых она способна выполнять свои функции, или способна к их восстановлению, определяется выражением:

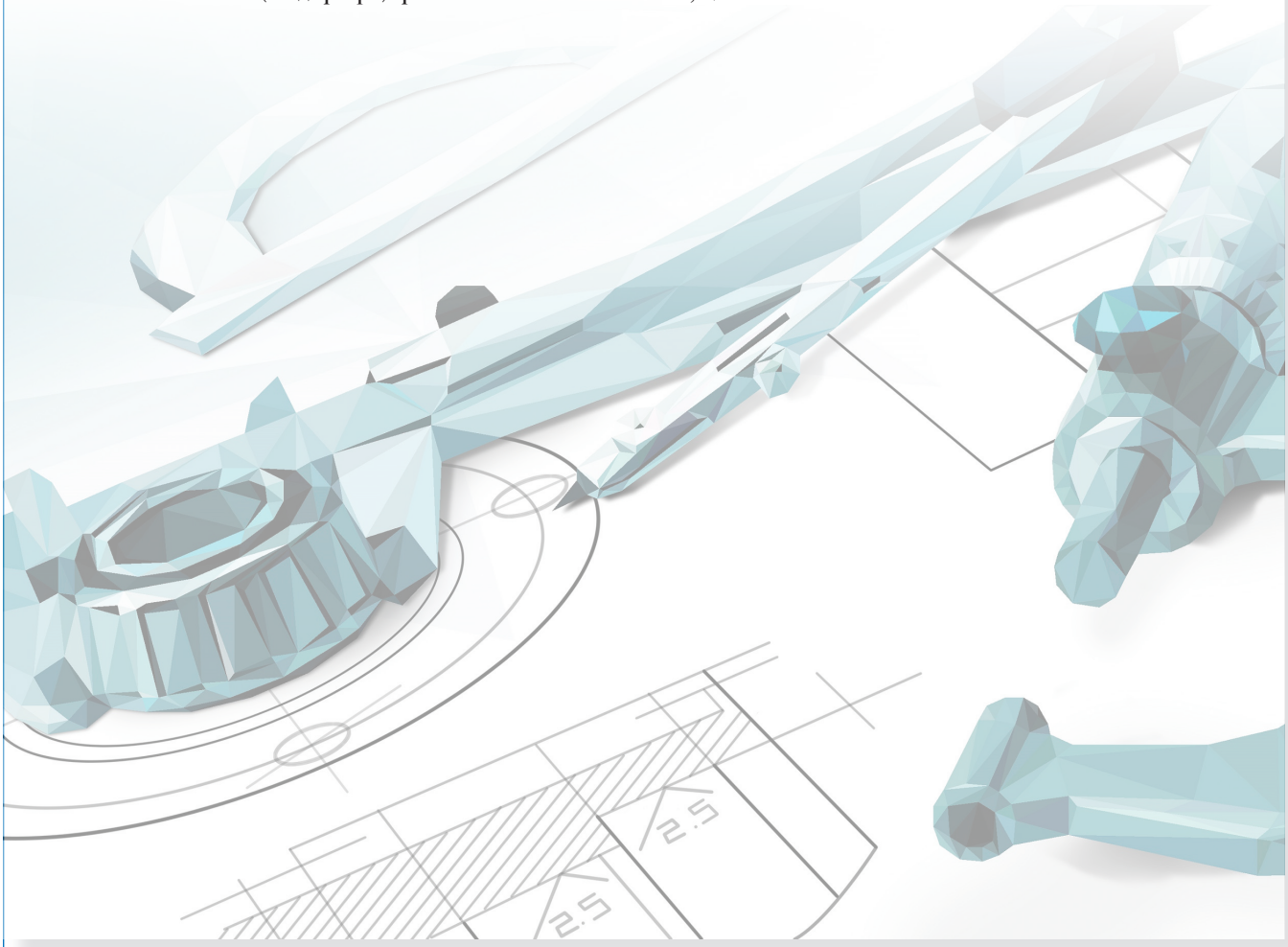
$$M=N-N_{пер}. \qquad (6)$$

Заключение

Предложен вероятностный подход к оценке структурной живучести СПРС мониторинга. Рассмотрены все варианты перехода исходной системы в произвольное состояние в результате внешнего воздействия. При этом, каждое состояние рассматривается как подграф графа исходного состояния. Совместное использование графо-аналитического и вероятностного подходов позволили определить вероятности каждого состояния системы (подграфа) разбивая все множество состояний (подграфов) системы после воздействия на три основных класса: абсолютно не функциональное, не функциональное, но с возможностью восстановления и функциональное при использовании вероятностного подхода получена формула для структурной живучести. Общность подхода позволяет использовать полученные результаты для произвольной СПРС.

Литература

1. Кочкаров А.А. Моделирование взаимодействия в информационно-разведывательных системах с динамической структурой связей // Успехи современной радиоэлектроники, 2017. №11. С.58-62.
2. Боев С.Ф., Ступин Д.Д., Кочкаров А.А. и др. Мощные надгоризонтные РЛС дальнего обнаружения: разработка, испытания, функционирование. Коллективная монография / Под ред. С.Ф. Боева. М.: Радиотехника, 2013. 168 с.
3. Овчинников В.А. Графы в задачах анализа и синтеза структур сложных систем. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.
4. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2000.



УДК 539.182

ТЕРНАРНЫЕ НЕАБЕЛЕВЫ СИММЕТРИИ О ЗАПУТЫВАНИИ МНОГОМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВ

TERNARY NON-ABELIAN SYMMETRIES ON THE MULTIDIMENSIONAL SPACE ENTANGLEMENT

Алексей Николаевич Царьков
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
Президент Института –
Председатель Правления Института
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210 Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967) 35-31-93
E-mail: info@iifmail.ru

Сергей Владимирович Смуров
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, профессор
Первый Вице-президент Института –
Главный конструктор
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: Svs_iif@mail.ru

Геннадий Германович Волков
доктор физико-математических наук, профессор
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: gennadii.volkov@rambler.ru

Аннотация

Исследование тернарной неабелевой симметрии TSU(3) и ее алгебры в рамках квадратных и кубических матриц открывают новые возможности расширения ряда основных положений квантовой физики как расширение понятий антикоммутативности, тождественности частиц, принципа суперпозиции, геометрии кутритов, необычным спинорным квантовым свойствам невидимой материи и мааркрионов. Последние могли бы сыграть роль в решении проблемы квантования протона и нейтрона и даже электрона. В этой статье мы рассмотрим геометрию запутывания трех трехмерных пространств в 9-мерном эвклидовом пространстве на основе тернарных симметрий некомпактной группы TSU(3). Абелевы и неабелевы группы симметрии для описания кутритов являются последовательными компонентами бесконечной серии групп и соответствующих им n-арных алгебр. Появление на групповом многообразии TSU(3) новых дифференциальных структур соответствует алгебре с тернарными коммутационными соотношениями, обобщающими бинарные коммутационные соотношения Ли, причем генераторы могут быть реализованы через кубические 3x3x3 матрицы. Весь наш анализ легко расширяется на всю бесконечную сеть *n*-арных групп и соответствующим им алгебрам с матричными генераторами размерности $n \times n \times \ldots \times n$.

Ключевые слова: квантовая физика, квантовая информация, алгебры, группы, спиноры, мааркрионы, кубиты, кутриты.

Summary

The study of the ternary non-Abelian symmetry of TSU (3) and its algebra in the framework of square and cubic matrices opens up new possibilities for expanding a number of the basic principles of quantum physics as expanding the concepts of anticommutativity, particle identity, the principle of superposition, geometry of qutrites, unusual spinor quantum properties of invisible matter and maarcrions. The latter could play a role in solving the problem of quantization of a proton and neutron, and even an electron. In this article, we consider the entanglement geometry of three three-dimensional spaces in a 9-dimensional Euclidean space based on ternary symmetries of the non-compact group TSU (3). Abelian and non-Abelian symmetry groups for describing qutrites are sequential components of an infinite series of groups and their corresponding n-ary algebras. The appearance on the group variety TSU (3) of new differential structures corresponds to an algebra with ternary commutation relations generalizing binary commutation Lie relations, and generators can be realized through cubic 3x3x3 matrices. Our entire analysis easily extends to the entire infinite network of *n*-ary groups and their corresponding algebras with matrix generators of dimension $n \times n \times \ldots \times n$.

Keywords: quantum physics, quantum information, algebras, groups, spinors, maarkrions, qubits, qutrits.

В последних двух статьях [1,2] были затронуты вопросы расширения основ квантовой физики, которые возникли при общем взгляде на современные ситуации в Стандартной Модели кварк-лептонной материи видимой Вселенной со спонтанно-нарушенной калибровочной симметрией

$$U(1_Y)\times SU(2_{IW})\times SU(3^c)\text{->}U(1_{EM})\times SU(3^c),$$

базирующейся на $D=(3s+1t)=4$-х-мерных перенормируемых теориях квантовых полей [3], в Стандартной Космологической Модели-Лямбда-CDM-модели с холодной темной материей [4], и, наконец, в Квантовой Информации [5,6,7], достигнувшей огромных успехов в квантовом запутывании многокубитных систем, используемых в создании квантовых компьютеров и в экспериментах квантовой телепортации. Все эти три области объединяют широчайшие дистанционные масштабы, от Де-Бройлевских сверхмалых расстояний

$$\lambda \approx \mathrm{h}/\mathrm{E}\left(\text{с.ц.м}\right) \in 10^{-17-18}\,\mathrm{m},$$

достигнутых на коллайдерах сверхвысоких энергий

$$\mathrm{E}\left(\text{с.ц.м}\right) \in 100\ldots1000\,\text{ГэВ},$$

где E(с.ц.м) – энергия коллайдерных протонных пучков в системе центра масс;

$h\approx6{,}6\cdot10^{-34}$Дж·сек$=4{,}1\cdot10^{-15}$эВ·сек – постоянная Планка,

до размеров видимой вселенной, точнее тех астрофизических дистанций

$$R\leq(1\ldots10)\cdot10^{9}\text{свет.лет}\approx(1\ldots10)\cdot10^{25}\text{м},$$

с которых световые сигналы, рожденные в космических глубинах, достигали земные детекторы и смогли быть изучены. На данном этапе квантовая информация базируется на промежуточных расстояниях

$$1\text{нм}=10^{-9}\text{м}\geq r\geq10^{-15}\text{м},$$

связанных с квантовыми состояниями атомарных и ядерных систем. Общие вопросы, которые возникли для всех обсужденных выше областей современной квантовой физики и квантовой информации, связаны с изучением многомерных пространств и поисками новых непрерывных симметрий за пределами уже хорошо изученных симметрий [8-12], например, таких как группы Ли [13-15]. В квантовой физике высоких энергий – Стандартной Модели кварков и лептонов, и нейтрино – давно уже назрел вопрос расширения геометрии 4-х мерного пространства-времени Лобачевского-Минковского и соответствующей глобальной симметрии Лоренца-Пуанкаре. В квантовой информации единицами квантовой информации являются кубиты,кутриты и высше-мерные кудиты, среди которых геометрия кубита – $D=2$-мерная сфера Блоха, точки на которой соответствуют визуально связной картине между ½-спиновыми состояниями спинорного представления группы SU(2) и группой 3-х мерных вращений SO(3), что позволяет полностью управлять кубитом [5,6]. Геометрические размерности кутритов $D=4$, кувартитов $D=6$ и выше выходят за рамки явного визуального управления, что представляет значительные проблемы для дальнейшего прогресса в практических применениях квантовой информации. Аналогичные проблемы расширения размерности 4-х мерного пространства-времени Лобачевского-Минковского возникают в связи с обсуждениями глобальных вопросов как начала внутренней симметрии Стандартной Модели,

$$U(1_Y)\times SU(2_{IW})\times SU(3^c)$$

и $N_g=3(N_g=3+1)$-кварк-лептонных поколений с возможной гипотетической калибровочной горизонтальной симметрии $SU(3_H)xU(1_H)$, которая может сыграть важнейшую роль в объяснении иерархии масс кварков и заряженных лептонов [16]. а также такие направления, как модель 6-мерного нейтрино [8-10], темная материя и «невидимые» распады протона и всей кварк-лептонной материи [8], мааркрионы [1,2,8-12] и проблема запирания кварков и цвета в адронах [12], D-мерные суперсимметричные струны/мембран, теория $D=3$ мерных мембран и выше.

Поиски многомерных многообразий и новых симметрий тесным образом взаимосвязаны. Исторически пройденный путь уходил своими корнями с одной стороны, к последовательному созданию теории чисел, алгебр, дискретных и непрерывных групп симметрий и их неприводимых представлений, а с другой – от начала аксиоматики геометрии Эвклида до геометрии Лобачевского, Римана, Берже и прочих, причем в группах Ли произошло соединение этих двух направлений, которое, в конечном итоге, привело к созданию математического фундамента современной квантовой физики. В результате, именно теория комплексных чисел и гиперкомплексных чисел ($n=2$) (абелевых и неабелевых – кватернионов) стала тем инструментом. который позволил физикам приоткрыть некоторые тайны загадочного микромира. Теория n-арных ($n>2$) комплексных чисел позволила построить бесконечные серии n-арных Абелевых групп симметрий с соответствующими геометрическими их представлениями, а теория гиперкомплексных n-арных чисел – открыть бесконечную цепочку n-арных обобщений хорошо известных групп Ли – SU(3)→TSU(3), SU(4)→QSU(4), .., SU(n)→NSU(n) с n-арными коммутационными и антикоммутиционными соотношениями, которые могут быть использованы как в квантовой

физике частиц, так и теории информации кутритов в рамках TSU(3), куквартитов в QSU(4),… для альтернативного их описания [1,2,8-12,17,18]. В данной статье будет обсуждено геометрическое начало тернарной алгебры TSU(3), замкнутой относительно тернарного коммутационного правила композиции и, соответственно, расширение бинарных матриц на кубические [2]. В результате, можно предполагать, что расширение поля комплексных и гиперкомплексных чисел на n-арные комплексные и гиперкомплексные числа ($n>2$) и, в частности, на тернарные - намечает путь к расширению аксиом самой квантовой физики [1,2].

Кубит является фундаментальной единицей передачи квантовой информации. Он состоит из двух состояний квантовой системы, например, частица или композитное состояние нескольких частиц со спином 1/2,

$$D=2: |\Phi>=\alpha|0>+\beta|1>,$$

которые могут быть представлены на двумерной единичной сфере Блоха. Для кутрита

$$D=3: |\Phi>=\alpha|0>+\beta|1>+\gamma|2>,$$

$$\alpha,\beta,\gamma \in C$$

являются комплексными числами, которые удовлетворяют условию нормировки

$$\{|\alpha|^2+|\beta|^2+|\gamma|^2=1\}=S^5.$$

Состояние кутрита гомеоморфно двумерному комплексному проективному пространству (вещественная размерность равна 4!)

$$CP^2 \approx S^5/S^1; CP^2=\{(z_1,z_2,z_3)\in C^3, z_m=\lambda z_m, z_m\neq 0; \lambda\in C, \lambda\neq 0\}$$

Аналогично для кудитов высших размерностей пространство чистых состояний образует комплексное проективное пространство CP^{D-1}. Динамика открытой D-мерной квантовой системы обычно моделируется уравнением Лиувилля-фон-Неймана

$$i\hbar\partial\rho/\partial t=[\hat{H},\rho], \rho(t=0)=\rho_0$$

описывающим эволюцию оператора плотности ρ системы, для которой гамильтониан $\hat{H}$ строится с помощью (D^2-1) набором эрмитовых генераторов группы Ли унитарных преобразований SU(D).

Так как группы Ли являются аналитическим многообразием, то для них можно использовать аппарат дифференциальной геометрии, который позволяет использовать весь арсенал векторных полей и других тензорных структур на многообразии. Оказалось. что почти вся информация групп Ли содержится в касательном пространстве единицы группы, Ли алгебры [13-15]. Касательные вектора группы Ли G в точке $g\in G$ как дифференциальные операторы X, образуют касательное векторное пространство, а множество всех касательных векторных пространств для всех $g\in G$ образуют расслоение $T=\cup T_g$. Векторное поле это расширение X(g) на всю группу $g\in G$. Векторные поля образуют не только векторное пространство, но и бесконечномерную алгебру относительно операции коммутатора, [X,Y], называемую Ли алгеброй. В результате, векторные поля образуют Ли алгебру на любом многообразии, но на групповом многообразии можно ввести подпространство инвариантных векторных полей, которые образуют конечномерную алгебру Ли размерности, совпадающей с размерностью многообразия G [13-15]. Более того, вся структура таких инвариантных векторных полей движением касательного пространства может быть определена в любой точке g многообразия G , в частности, в касательном пространстве T_eG соответствующему единице группы $g=e$. Другое важное свойство касается кривизны. которая всюду на многообразии одинакова [14]. Переход от алгебр Ли к группам Ли осуществляется с помощью взаимно однозначного соответствия между однопараметрическими абелевыми подгруппами и инвариантными полями. Для Ли алгебр классических матричных групп, которые являются подгруппами $GL(n,\mathbf{C})$ и $Gl(n,R)$, касательные вектора определяются как производные g(t) однопараметрических кривых при $g(0)=e$, то есть вблизи единицы можно разложить в виде

$$g(t)=e+tA+O(t^2)$$

с некоторой матрицей A, являющейся компонентной матрицей касательного вектора, и касательное пространство следует из ограничений на группу и, тем самым, определяются свойства матрицы A [13-15].

Для матричных групп возникновение скобки Ли вытекает из коммутанта

$$g(t')=g_1(t)g_2(t)g_1^{-1}(t)g_2^{-1}(t)\in G,$$

двух эквивалентных кривых (одному ростку $X_i\in A(G)$, проходящих через точку e, и соответствующих касательным векторам x_i [15]

$$g_i(t')=e+tX_i+t^2Y_i+O(t^3),\ i=1,2.$$

Вычисления показывают, что

$$g(t')=e+t[X_1,X_2]+O(t^3), [X_1,X_2]\in A(G)$$

В рамках тернарной неабелевой G=TSU(3) группы симметрии [10-12] помимо бинарных коммутационных соотношений 8-генераторов tsu(3) удовлетворяла тернарному коммутационному соотношению [2,10]

$$[XYZ]=XYZ+jYZX+j^2ZXY$$

Появление в алгебре tsu(3) тернарного коммутатора [2] можно объяснить тернарным коммутантом

$$U=[\exp(tX)\exp(uY)\exp(vZ)]$$
$$[\exp(jtX)\exp(juY)\exp(jvZ)][\exp(j^2tX)\exp(j^2uY)\exp(j^2vZ)],$$

где $j^3=1, 1+j+j^2=0$.

Вычисляя этот коммутант в приближении с точностью до 4-го порядка малости по t,u,v можно проверить, что если

$$e^{tX}, e^{tY}, e^{tZ} \in G,$$

то

$$U \in G = TSU(3)$$

и тернарный коммутатор

$$[X.Y,Z] \in tsu(3).$$

Возникновение новой дифференциальной структуры можно было бы объяснить тем, что TSU(3)-многообразие не является пространством постоянной кривизны. Известно, что для пространств постоянной кривизны или как их называют – локально-симметрические пространства, ковариантная производная тензора кривизны Римана R_{mnkl} симметричной связности, согласованной с метрикой, удовлетворяет соотношению ∇R_{mnkl}, в частности, скалярная кривизна постоянна $R=const$ [3].

Для понимания особенностей 8-мерного TSU(3)-многообразия полезно рассмотреть все его Абелевы TU(1) 2-мерные подмногообразия. $TS^1 \approx TU(1)$ –Тернарно-унитарная Абелева группа единичных тернарных комплексных чисел $z \in TC$ с нормой $|z|^3 = z \cdot \tilde{z} \cdot \tilde{\tilde{z}}$ [17]:

$$z = \left(x_0 q_0 + x_1 q + x_2 q^2\right), \ \tilde{z} = \left(x_0 q_0 + j x_2 q + j^2 x_2 q^2\right),$$
$$\tilde{\tilde{z}} = \left(x_0 q_0 + j^2 x_1 q + j x_2 q^2\right).$$

Тернарное сопряжение – автоморфизм

$$\Re^3(x_0, x_1, x_2): \tilde{q} = jq, \tilde{\tilde{q}} = j^2 q; j = e^{2\pi i/3}$$

Внутреннюю метрику этой поверхности (см. *рисунок 1*) можно построить, вводя координату расстояния на трисектрисе $a=x_0+x_1+x_2$ и полярные координаты (r,θ):

$$x_o = \frac{\rho^3}{3a^2}(1 - 2\varepsilon\cos\theta), x_1 = \frac{\rho^3}{3a^2}\left[1 + \varepsilon\left(\cos\theta + \sqrt{3}\sin\theta\right)\right],$$

$$x_2 = \frac{\rho^3}{3a^2}\left[1 - \varepsilon\left(\cos\theta - \sqrt{3}\sin\theta\right)\right], \ \varepsilon = \frac{a^3}{\rho^3}.$$

Поверхность в этих координатах имеет простое уравнение $ar^2=\rho^3$. Метрика на поверхности и кривизна R, зависящая от внутреннего параметра $a=x_0+x_1+x_2$ (или r радиус окружности поверхности, приобретают следующий вид.

$$ds^2 = \frac{2}{3}\left(1 + 2\frac{\rho^6}{r^6}\right)dr^2 + \frac{2}{3}r^2 d\theta^2, R = -\frac{24a^4}{\left(4a^3 + \rho^3\right)^2}$$

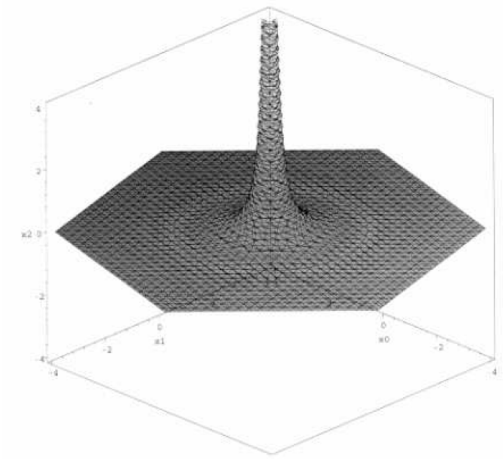


Рис. 1. Тернарная унимодулярная сфера Аппеля $TS^1=\{|z|^3=x_0^3+x_1^3+x_2^3-3x_ox_1x_2=1\}$ (рис. из [17])

Неабелево расширение тернарных комплексных чисел приводит к тернарно-унитарной группе TSU(3) [10]:

$$TSU(3) \approx M^{(3)} = \{|z_0|^3 + |z_1|^3 + |z_2|^3 - 3\langle z_1 z_2 z_3\rangle = 1\}$$

где $M^{(3)} \subset (C_{ter})^3$ – кубическая гиперповерхность, зависящая от трех тернарных комплексных чисел $z_i \in C_{ter}$:

$$z_0 = (x_0 q_0 + x_7 q + x_8 q^2), z_1 = (x_1 q_0 + x_2 q + x_3^2), z_2 = (x_4 q_0 + x_5 q + x_6 q^2),$$

или от 9-вещественных координат

$$(x_0, x_1, \ldots, x_8) \in R^9$$

$$M^{(3)} = F(x_0, \ldots, x_8) = x_0^3 + x_1^3 + x_2^3 + x_3^3 + x_4^3 + x_5^3 + x_6^3 + x_7^3 + x_8^3 - 3(x_0 x_7 x_8 + x_1 x_2 x_3 + x_4 x_5 x_6) - 3x_0(x_1 x_4 + x_2 x_5 + x_3 x_6) - 3x_7(x_1 x_5 + x_2 x_6 + x_3 x_4) - 3x_8(x_1 x_6 + x_2 x_4 + x_3 x_5) = 1$$

В данном уравнении просматриваются слагаемые $|z_i|^3=f_i$, $i=0,1,2$, которые могут представлять уже известную кубическую поверхность, изоморфную тернарной Абелевой группе $TS^1 \approx TU(1)$:

$$|z_0|^3 = x_0^3 + x_7^3 + x_8^3 - 3x_0 x_7 x_8 = f_0,$$
$$|z_1|^3 = x_1^3 + x_2^3 + x_3^3 - 3x_1 x_2 x_3 = f_1,$$
$$|z_2|^3 = x_4^3 + x_5^3 + x_6^3 - 3x_4 x_5 x_6 = f_2.$$

Для изучения симметрии кубической гиперповерхности надо учесть, что в его уравнении можно выделять тройки сепарабельных вкладов

$$|z_i|^3 = \rho_i^3, \{x_m, x_n, x_p\} \in \{R^3\}_i$$

и соответствующую ее запутыванию связь:

$$\langle z_0 z_1 z_2 \rangle = z_0 \tilde{z}_1 \tilde{\tilde{z}}_2 + \tilde{z}_0 \tilde{\tilde{z}}_1 z_2 + \tilde{\tilde{z}}_0 z_1 \tilde{z}_2$$

Или в рассматриваемом варианте

$$\langle z_0 z_1 z_2 \rangle = x_0(x_1 x_4 + x_2 x_5 + x_3 x_6) + x_7(x_1 x_5 + x_2 x_6 + x_3 x_4) + x_8(x_1 x_6 + x_2 x_4 + x_3 x_5) = (k_0)_p [(k_1)_m O^p_{ml} (k_2)_l] = (k_0)_p (k_1)_m (k_2)_l \Gamma_{pml},$$

где были введены следующие 3-х мерные вектора:

$$(k_0)^t = (x_0, x_7, x_8); |k_0|^3 = |z_0|^3; z_0 = x_0 q_0 + x_7 q + x_8 q^2,$$
$$(k_1)^t = (x_1, x_2, x_3); |k_1|^3 = |z_1|^3; z_1 = x_1 q_0 + x_2 q + x_3 q^2,$$
$$(k_2)t = (x_4, x_5, x_6); |k_2|^3 = |z_2|^3, z_2 = x_4 q_0 + x_5 q + x_6 q^2$$

и соответствующая этому выбору кубическая матрица:

$$Q^p_{ml} = \left\{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}\right\}.$$

Связь $\langle z_0 z_1 z_2 \rangle$ фактически указывает на появление в TSU(3)-групповом многообразии новой дифференциальной структуры [10], связанной с кубическими матрицами $\Gamma_{pml}(Q^p_{ml})$, которая в определении алгебры генераторов группы со-

ответствует тернарному коммутационному соотношении [2,10].

Кубическая гиперповерхность $M^{(3)} \approx TSU(3)$ [10], заданная в виде алгебраического уравнения в 9-мерном эвклидовом пространстве R^9 является групповым 8-параметрическим многообразием, для анализа которой следует обратиться к трем абелевым подмногообразиям

$$TU(1) \subset TSU(3):$$

$$|k_m|^3 = |z_m|^3 = \rho_m^3, m = 0,1,2,$$

где

$$U_T \in TU(1) = \left\{ e^{(\alpha q + \beta q^2)} = e^{(q+q^2)\varphi} \cdot e^{(q-q^2)\theta/\sqrt{3}} = U_{TP}(\varphi) \cdot U_{TC}(\theta) \right\},$$

$$\varphi = \frac{\alpha+\beta}{2}, \theta = \frac{\sqrt{3}}{2}(\alpha - \beta)$$

двух параметрическая абелева группа, состоящая из коммутирующих между собой компактной $U_{TC}(\theta)$ и некомпактной $U_{TP}(\varphi)$ -подгрупп, которые вместе и по отдельности удовлетворяют тернарной унитарности:

$$U_T U_T^{+} U_T^{++} = 1_e,$$

где

$$U_T^{+} = e^{(jq\alpha + j^2 q^2 \beta)}; U_T^{++} = e^{(j^2 q\alpha + jq^2\beta)}; 1 + j + j^2 = 0, j = e^{2\pi i/3}.$$

Или в матричном тернарно-симметричном представлении

$$U_T = \begin{pmatrix} m_0 & gm_1 & gm_2 \\ gm_2 & m_0 & gm_1 \\ gm_1 & gm_2 & m_0 \end{pmatrix},$$

где в качестве генераторов был сделан следующий набор

$$q_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, q = g\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, q^2 = g^2\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

с мнимой тернарной единицей

$$g^3 = 1, \tilde{g} = jg, \tilde{\tilde{g}} = j^2 g, \tilde{\tilde{\tilde{g}}} = g$$

В результате можно получить следующие матричные представления некомпактной и компактной однопараметрических подгрупп:

$$U_P = \frac{1}{3}\begin{pmatrix} e^{2\varphi} + 2e^{-\varphi} & g(e^{2\varphi} - e^{-\varphi}) & g^2(e^{2\varphi} - e^{-\varphi}) \\ g^2(e^{2\varphi} - e^{-\varphi}) & e^{2\varphi} + 2e^{-\phi} & g(e^{2\varphi} - e^{-\varphi}) \\ g(e^{2\varphi} - e^{-\varphi}) & g^2(e^{2\varphi} - e^{-\varphi}) & e^{2\varphi} + e^{-\varphi} \end{pmatrix},$$

$$U_{TC} = \frac{1}{3}\begin{pmatrix} 1 + 2\cos\theta & g(1 - \cos\theta + \sqrt{3}\sin\theta) & g^2(1 - \cos\theta - \sqrt{3}\sin\theta) \\ g^2(1 - \cos\theta - \sqrt{3}\sin\theta) & 1 + 2\cos\theta & g(1 - \cos\theta + \sqrt{3}\sin\theta) \\ g(1 - \cos\theta + \sqrt{3}\sin\theta) & g^2(1 - \cos\theta - \sqrt{3}\sin\theta) & 1 + 2\cos\theta \end{pmatrix}.$$

Эта тернарно-унитарная двухпараметрическая группа изоморфна тернарной псевдо-ортогональной группе

$$TU(1) \approx SO_T(2) x SP_T(1,1)$$

матрицы, которой удовлетворяют условию тернарной ортогональности, определяемой через тернарное транспонирование: 1→2→3→1:

$$MM^{(T)}M^{(TT)} = m_0^3 + m_1^3 + m_2^3 - 3m_0 m_1 m_2 = 1,$$

где

$$M = \begin{pmatrix} m_0 & m_1 & jm_2 \\ m_2 & m_0 & jm_1 \\ j^2 m_1 & j^2 m_2 & m_0 \end{pmatrix}, M^T = \begin{pmatrix} m_0 & j^2 m_1 & j^2 m_2 \\ jm_2 & m_0 & m_1 \\ jm_1 & m_2 & m_0 \end{pmatrix}, M^{TT} = \begin{pmatrix} m_0 & jm_1 & m_2 \\ j^2 m_2 & m_0 & j^2 m_1 \\ m_1 & jm_2 & m_0 \end{pmatrix}$$

Для иллюстрации TSU(3)-инвариантности многообразия рассмотрим следующие TU(1)-преобразования в каждом из трех эвклидовых пространствах

$$R^3(x_0, x_7, x_8) \otimes R^3(x_1, x_2, x_3) \otimes R^3(x_4, x_5, x_6):$$

$$\vec{k}_0' = \rho_0 \hat{M} \vec{k}_0; \begin{pmatrix} x_0' \\ x_7' \\ x_8' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_0 & gm_1 & g^2 m_2 \\ g^2 m_2 & m_0 & gm_1 \\ gm_1 & g^2 m_2 & m_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_7 \\ x_8 \end{pmatrix}; \hat{M} = U_T(\varphi_0, \theta_0) \in TU(1),$$

$$\vec{k}_1' = \rho_1 \hat{A} \vec{k}_1; \begin{pmatrix} x_1' \\ x_2' \\ x_3' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 & ga_1 & g^2 a_2 \\ g^2 a_2 & a_0 & ga_1 \\ ga_1 & g^2 a_2 & a_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}; \hat{A} = U_T(\varphi_1, \theta_1) \in TU(1),$$

$$\vec{k}_2' = \rho_2 \hat{B} \vec{k}_2; \begin{pmatrix} x_4' \\ x_5' \\ x_6' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_0 & gb_1 & g^2 b_2 \\ g^2 b_2 & b_0 & gb_1 \\ gb_1 & g^2 b_2 & b_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_4 \\ x_5 \\ x6 \end{pmatrix}; \hat{B} = U_T(\varphi_2, \theta_2) \in TU(1),$$

где матрицы

$$\hat{M} = U_T^{(0)}(\varphi_0, \theta_0)\ \hat{A} = U_T^{(1)}(\varphi_1, \theta_1)\ \hat{B} = U_T^{(2)}(\varphi_2, \theta_2)$$

преобразования сохраняют следующие кубические формы:

$$|\vec{k}_0|^3 = x_0^3 + x_7^3 + x_8^3 - 3x_0 x_7 x_8 = \rho_0^3,$$

$$|\vec{k}_1|^3 = x_1^3 + x_2^3 + x_3^3 - 3x_1 x_2 x_3 = \rho_1^3,$$

$$|\vec{k}_2|^3 = x_4^3 + x_5^3 + x_6^3 - 3x_4 x_5 x_6 = \rho_2^3,$$

Теперь мы хотели бы найти подгруппу преобразований

$$\hat{M} \in U_T^{(0)} \mapsto R^3(x_0, x_7, x_8)\ \hat{A} \in U_T^{(1)} \mapsto R^3(x_1, x_2, x_3)\ \hat{B} \in U_T^{(2)} \mapsto R^3(x_4, x_5, x_6),$$

которые, сохраняя кубические формы

$$|z_0|^3, |z_1|^3, |z_2|^3, <z_0, z_1, z_2>$$

по отдельности, сохраняли их одновременно в кубическом уравнении TSU(3) –гиперповерхности

$$TSU(3) \approx M^{\{3\}} = \{|z_0|^3 + |z_1|^3 + |z_2|^3 - 3<z_0 z_1 z_2> = 1\}$$

в 9-мерном эвклидовом пространстве $R^9(x_0,\ldots,x_8)$.

Появление слагаемого $<z_0,z_1,z_2>$ в уравнении гиперповерхности, запутывающего три сепарабельных слагаемых, является новым, если сравнивать с уравнениями гиперповерхностей для единичных бинарныых гиперкомплексных чисел, кватернионов

$$\{|z_1|^2 + |z_2|^2 = 1\} = S^3 \approx SU(2).$$

Подобное разложение уравнения общей гиперповерхности слагаемых на рассмотренные группы слагаемых (их окажется четыре см. *рисунки 2-5*) объединяет тройку абелевых многообразий $U_T^{(0)}, U_T^{(1)}, U_T^{(2)}$ в единое групповое многообразие с группой, транзитивное действие которой уже распространяется на всю гиперповерхность, фактически запутывающее в $R^9(x_0,\ldots,x_8)$

структуры(топологические и дифференциальные) трех абелевых многообразий, определяемых независимо в каждом из трех эвклидовых пространств

$$R^3(x_0,x_7,x_8), R^3(x_1,x_2,x_3), R^3(x_4,x_5,x_6):$$
$$< z_0 z_1 z_2 > = \vec{k}_0 \cdot \vec{p} = x_0(x_1x_4 + x_2x_5 + x_3x_6) +$$
$$+ x_7(x_1x_5 + x_2x_6 + x_3x_4) + x_8(x_1x_6 + x_2x_4 + x_3x_5)$$

где вектор $\vec{p}$ можно также представить в виде билинейной формы «произведения» двух трехмерных векторов из двух разных копий R^3-пространств,

$$(\vec{k}_1)^t = (x_1, x_2, x_3) \in R^{3'},$$
$$(\vec{k}_2)^t = (x_4, x_5, x_6) \in R^{3''},$$

образуя вектор в третьем пространстве

$$R^3(x_0,x_7,x_8):$$
$$(\vec{p})_n = k_{1m} Q^n_{ml} k_{2l} = (x_1, x_2, x_3) \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \right\} \begin{pmatrix} x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix}$$

При преобразованиях векторов

$$\vec{k}_1 \mapsto \vec{k}_1' = \hat{A}\vec{k}_1, \vec{k}_2 \mapsto \vec{k}_2' = \hat{B}\vec{k}_2, \vec{k}_0 \mapsto \vec{k}_0' = \hat{M}\vec{k}_0,$$

так что

$$\vec{p} \mapsto \vec{p}' = \hat{P}\vec{p}, \hat{M} \cdot \hat{A} \cdot \hat{B} = \hat{1}_3 .$$

Этот путь позволяет непосредственно убедиться в том, что уравнение кубической гиперповерхности $M^{(3)}$, расположенной в эвклидовом пространстве R^9, инвариантно относительно 8-параметрической группы преобразований TSU(3) [2,10]. Для этого надо рассмотреть все 4-случая в выборе в уравнении 3-х сепарабельных двух-параметрических абелевых подгрупповых многообразий $\{U_{Tm}, U_{Ta}, U_{Tb}\}$ и соответствующей связи $<z_m, z_a, z_b>$. Появление открывающейся возможности использования этих 4-случаев связано с наличием дискретной симметрии гиперповерхности $M^{(3)} \approx TSU(3)$, которые будут последовательно приведены ниже (см. *рисунки 2-6*).

Этот случай фактически уже был рассмотрен ранее в тексте. Поэтому здесь приводятся только основные выводы:

$$M^{(3)} = \{ |z_0|^3 + |z_1|^3 + |z_2|^3 - 3 < z_0 z_1 z_2 > = 1$$
$$z_0 = (x_0 q_0 + x_7 q + x_8 q^2),$$
$$z_1 = (x_1 q_0 + x_2 q + x_3 q^2),$$
$$z_2 = (x_4 q_0 + x_5 q + x_6 q^2)$$
$$k_{0m} = (x_0, x_7, x_8); |k_0|^3 = |z_0|^3 = x_0^3 + x_7^3 + x_8^3 - 3x_0x_7x_8,$$
$$k_{1m} = (x_1, x_2, x_3); |k_1|^3 = |z_1|^3 = x_1^3 + x_2^3 + x_3^3 - 3x_1x_2x_3,$$
$$k_{2m} = (x_4, x_5, x_6); |k_2|^3 = |z_2|^3 = x_4^3 + x_5^3 + x_6^3 - 3x_4x_5x_6,$$
$$< z_0 z_1 z_2 > = k_{0n}[k_{1m} Q^n_{ml} k_{2l}] = k_{0n} k_{1m} k_{2l} \Gamma^{nml}$$

Заметим, что возможно добиться того, чтобы связь стала инвариантной относительно абелевой $U_T(1)$ группы преобразований, которые в I-ом случае применяются одинаковыми всех тройках трехмерных эвклидовых пространствах

$$\{R^3(x_0,x_7,x_8),\ R^3(x_1,x_2,x_3), R^3(x_4,x_5,x_6)\}.$$

В этом случае полное уравнение для гиперповерхности TSU(3) инвариантно относительно абелевой двух параметрической $(\varphi^{(I)}, \theta^{(I)})$ – тернарной абелевой $U_T^{(I)}$ подгруппы

$$\vec{k}_i \mapsto \vec{k}_i = U_T^{(I)} \vec{k}_i = U_{TP}(\varphi^{(I)}) \cdot U_{TC}(\theta^{(I)}) \vec{k}_i, i = 0,1,2$$

Согласно перестановочной симметрии можно построить еще три представления, сохраняющие форму $F(x_0,x_1,\ldots,x_8)=1$. Рассмотрим случай II, то есть тройку 3-х мерных эвклидовых пространств, соответствующих выбору следующих троек трехмерных эвклидовых пространств $\{R^3(x_0,x_1,x_4),\ R^3(x_7,x_2,x_6),\ R^3(x_8,x_3,x_5)\}$ *(рисунок 3)*.

$$M^{(3)} = \{ |u_0|^3 + |u_1|^3 + |u_2|^3 - 3 < u_0 u_1 u_2 > = 1$$
$$u_0 = (x_0 q_0 + x_1 q + x_4 q^2),$$
$$u_1 = (x_7 q_0 + x_2 q + x_6 q^2),$$
$$u_2 = (x_8 q_0 + x_3 q + x_5 q^2)$$
$$k_{0n} = (x_0, x_1, x_4); |k_0|^3 = |u_0|^3 = x_0^3 + x_1^3 + x_4^3 - 3x_0x_1x_4,$$
$$k_{1n} = (x_7, x_2, x_6); |k_1|^3 = |u_1|^3 = x_7^3 + x_2^3 + x_6^3 - 3x_7x_2x_6,$$
$$k_{2n} = (x_8, x_3, x_5); |k_2|^3 = |u_2|^3 = x_8^3 + x_3^3 + x_5^3 - 3x_8x_3x_5,$$
$$< u_0 u_1 u_2 > = x_0(x_7x_8 + x_2x_5 + x_6x_3) +$$
$$+ x_1(x_7x_5 + x_2x_3 + x_8x_6) + x_4(x_7x_3 + x_2x_8 + x_6x_5) =$$
$$= k_{0n}[k_{1m} Q^n_{ml} k_{2l}] = k_{0n} k_{1m} k_{2l} \Gamma^{nml}$$

Уравнение для гиперповерхности TSU(3) – в новой записи инвариантно относительно абелевой двух параметрической тернарной абелевой $U_T^{(II)}$ – подгруппы

$$\vec{k}_i \mapsto \vec{k}_i = U_T^{(II)} \vec{k}_i = U_{TP}(\varphi^{(II)}) \cdot U_{TC}(\theta^{(II)}) \vec{k}_i, i = 0,1,2 .$$

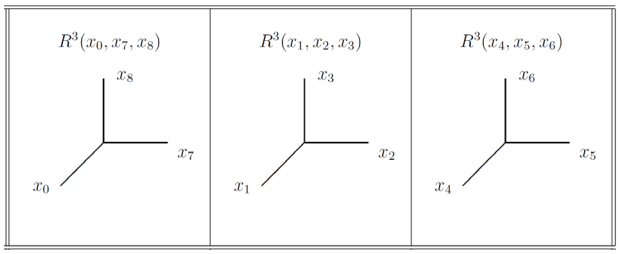


Рис. 2. Случай I. Тернарное сплетение 3-х групповых TU(1)-гиперповерхностей, расположенных в пространствах $R^3(x_0,x_7,x_8)$, $R^3(x_1,x_2,x_3)$, $R^3(x_4,x_5,x_6)$, образующее в результате в эвклидовом пространстве R^9 групповое многообразие TSU(3)

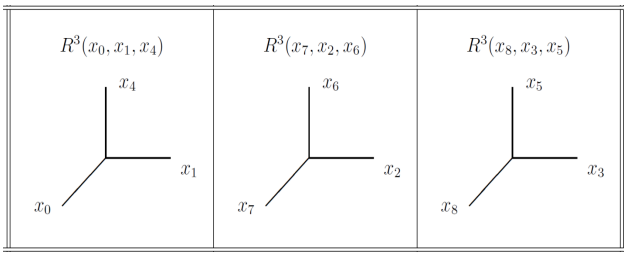


Рис.3. Случай II.Тернарное сплетение 3-х групповых TU(1)-гиперповерхностей, расположенных в пространствах $R^3(x_0,x_1,x_4)$, $R^3(x_7,x_2,x_6)$, $R^3(x_8,x_3,x_5)$, образующее в результате в эвклидовом пространстве R^9 групповое многообразие TSU(3)

Случай III соответствует следующему выбору тройки 3-х мерных эвклидовых пространств $\{R^3(x_0,x_2,x_5), R^3(x_7,x_3,x_4), R^3(x_8,x_1,x_6)\}$ *(рисунок 4)*.

$$M^{(3)}=\{|v_0|^3+|v_1|^3+|v_2|^3-3<v_0v_1v_2>=1$$
$$v_0=(x_0q_0+x_2q+x_5q^2),$$
$$v_1=(x_7q_0+x_3q+x_4q^2),$$
$$v_2=(x_8q_0+x_1q+x_6q^2)$$
$$k_{0n}=(x_0,x_2,x_5);\ |k_0|^3=|v_0|^3=x_0^3+x_2^3+x_5^3-3x_0x_2x_5,$$
$$k_{1n}=(x_7,x_3,x_4);\ |k_1|^3=|v_1|^3=x_7^3+x_3^3+x_4^3-3x_7x_3x_4,$$
$$k_{2n}=(x_8,x_1,x_6);\ |k_2|^3=|v_2|^3=x_8^3+x_1^3+x_6^3-3x_8x_1x_6,$$
$$<v_0v_1v_2>=x_0(x_7x_8+x_3x_1+x_4x_6)+$$
$$+x_2(x_7x_6+x_3x_1+x_4x_8)+x_5(x_7x_1+x_3x_8+x_4x_6)=$$
$$=k_{0n}[k_{1m}\underset{\sim}{Q}^n_{ml}k_{2l}]=k_{0n}k_{1m}k_{2l}\Gamma^{nml}$$

Уравнение для гиперповерхности TSU(3) – в новой записи инвариантно относительно абелевой двух параметрической тернарной абелевой $U_T^{(III)}$ – подгруппы

$$\vec{k}_i \mapsto \vec{k}_i = U_T^{(III)}\vec{k}_i = U_{TP}(\varphi^{(III)})\cdot U_{TC}(\theta^{(III)})\vec{k}_i, i=0,1,2.$$

Случай IV соответствует следующему выбору тройки 3-х мерных эвклидовых пространств $\{R^3(x_0,x_3,x_6), R^3(x_7,x_1,x_5), R^3(x_8,x_2,x_4)\}$ *(рисунок 5)*.

$$M^{(3)}=\{|w_0|^3+|w_1|^3+|w_2|^3-3<w_0w_1w_2>=1$$
$$w_0=(x_0q_0+x_3q+x_6q^2),$$
$$w_1=(x_7q_0+x_1q+x_5q^2),$$
$$w_2=(x_8q_0+x_2q+x_4q^2)$$
$$k_{0n}=(x_0,x_3,x_6);\ |k_0|^3=|w_0|^3=x_0^3+x_3^3+x_6^3-3x_0x_3x_6,$$
$$k_{1n}=(x_7,x_1,x_5);\ |k_1|^3=|w_1|^3=x_7^3+x_1^3+x_5^3-3x_7x_1x_5,$$
$$k_{2n}=(x_8,x_2,x_4);\ |k_2|^3=|w_2|^3=x_8^3+x_2^3+x_4^3-3x_8x_2x_4,$$
$$<w_0w_1w_2>=x_0(x_7x_8+x_1x_4+x_5x_2)+$$
$$+x_3(x_7x_4+x_1x_2+x_5x_8)+x_6(x_7x_2+x_1x_8+x_5x_4)=$$
$$=k_{0n}[k_{1m}\underset{\sim}{Q}^n_{ml}k_{2l}]=k_{0n}k_{1m}k_{2l}\Gamma^{nml}$$

Уравнение для гиперповерхности TSU(3) – в новой записи инвариантно относительно абелевой двух параметрической тернарной абелевой $U_T^{(IV)}$ – подгруппы

$$\vec{k}_i \mapsto \vec{k}_i = U_T^{(IV)}\vec{k}_i = U_{TP}(\varphi^{(IV)})\cdot U_{TC}(\theta^{(IV)})\vec{k}_i, i=0,1,2.$$

Рассмотренные 4-возможности эквивалентных представлений уравнения 8-параметрического тернарного группового многообразия TSU(3) [14] показывают механизм запутывания 4-х троек абелевых тернарных подгрупп

$$G^{(a)}=\{TU(1)^{(0)}\times TU(1)^{(1)}\times TU(1)^{(2)}\}^{(a)},\ a=I,II,II,IV,$$

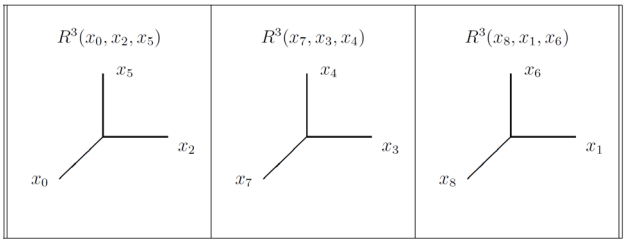


Рис. 4. Случай III. Тернарное сплетение 3-х групповых TU(1)-гиперповерхностей, расположенных в пространствах $R^3(x_0,x_2,x_5)$, $R^3(x_7,x_3,x_4)$, $R^3(x_8,x_1,x_6)$, образующее в результате в эвклидовом пространстве R^9 групповое многообразие TSU(3)

являющиеся 2-х параметрическими многообразиями, что проиллюстрировано на *рисунке 6*. Именно, такое запутывание привело к возникновению алгебры TSU(3), замкнутой относительно тернарных коммутационных соотношений, что является обобщением бинарных алгебр Ли.

Одна из центральных задач, стоящих как перед современной физикой элементарных частиц, Стандартной Модели, так и перед квантовой теорией информации связана с нашими исследованиями и попытками осознания топологических и дифференциальных структур многомерных пространств D>3. Так в исследовании 3-х нейтрино или 3-х цветовой кварковой структуры возникли проблемы, решения которых физики не могут найти уже более 50-лет. Аналогичные проблемы возникли и квантовой теории информации кутритов, куквартитов и далее, и их использовании в квантовом запутывании и телепортации, которые прежде всего связаны с трудностями ассоциации их многомерной геометрии с нашим трехмерным миром, средствами которого мы

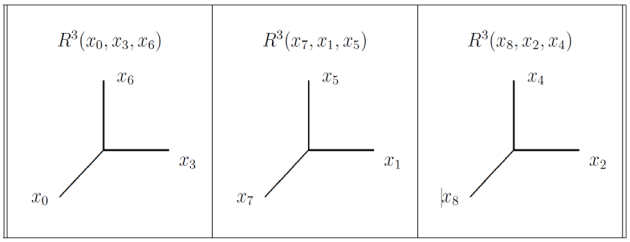


Рис. 5. Случай IV. Тернарное сплетение 3-х групповых TU(1)-гиперповерхностей, расположенных в пространствах $R^3(x_0,x_3,x_6)$, $R^3(x_7,x_1,x_5)$, $R^3(x_8,x_2,x_4)$, образующее в результате в эвклидовом пространстве R^9 групповое многообразие TSU(3)

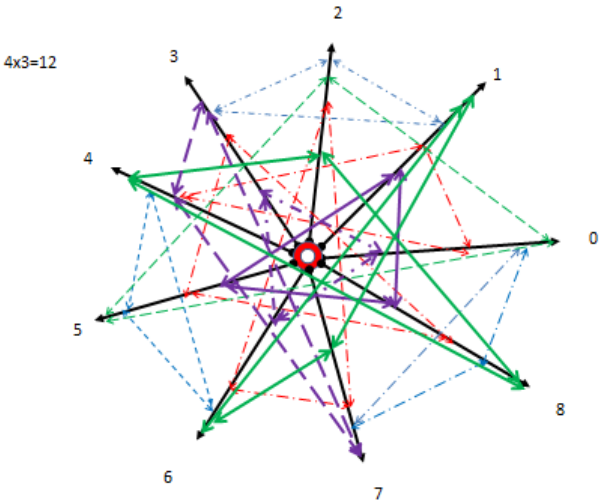


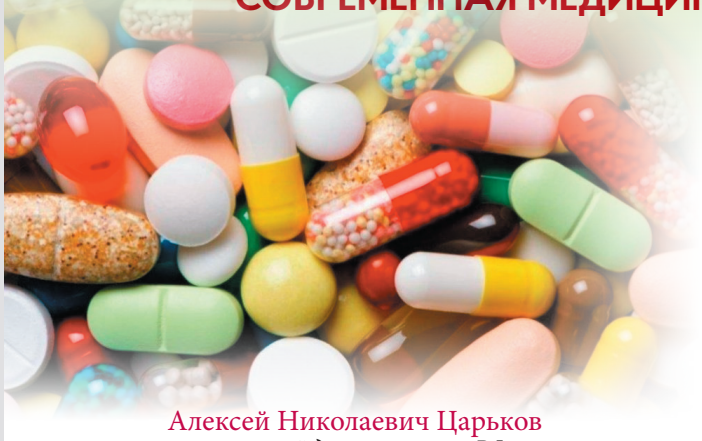
Рис. 6. На рисунке четырьмя разными цветами изображены 4-тройки абелевых двух-параметрических тернарных подгрупп $G^{(a)}=\{TU(1)^{(0)}\times TU(1)^{(1)}\times TU(1)^{(2)}\}^{(a)}$, a=I,II,II,IV группового многообразия *M(3)≈TSU(3)*, причем каждая из подгрупп $G^{(a)}$ действует в соответствующей тройке трехмерных эвклидовых пространств $\{R^3(x_0,x_k,x_l), R^3(x_l,x_m,x_n), R^3(x_p,x_r,x_s)\}$

могли бы управлять этими много-частичными состояниями. Сложилась ситуация, когда вопросы расширения видимой геометрии стали важнейшими для всей квантовой физики, которые как предлагается в наших статьях надо искать в новых симметриях и групповых пространствах [1,2]. Как было обсуждено в статье, предложенный путь может связать высшемерные групповые пространства с трехмерными и, следовательно, дать возможность проникновению туда.

Традиционная геометрия римановых симметричных однородных компактных и некомпактных пространств, исследованная на базе векторных полей, образующих алгебры Ли, фактически связана с классификацией Картан-Ли алгебр, начало которых восходит к абелевым и неабелевым алгебрам двоичных чисел – вещественных, комплексных, кватернионов, октонионы [13-15]. Изученные нами Cn-циклические n-арные гипер-комплексные числа [10-13,17,18] и их групповые свойства, позволили найти бесконечномерную сеть многообразий с соответствующими новыми абелевыми и неабелевыми непрерывными группами симметрий [10-13,1,2]. Для построения алгебр, соответствующим неабелевым симмметриям, были введены n-арные обобщения бинарной скобки Ли, которые совместно с группами симметрий указывают на необходимость расширения философии стандартных квадратичных $n{\times}n(n{\times}m)$-матриц до $n{\times}n{\times}n$-кубических и выше $n{\times}n{\times}\ldots{\times}n$-матриц, которые могли бы стать математическим и физическим базисами науки за пределами квантовой физики [1,2].

Литература

1. Царьков А.Н., Смуров С.В., Волков Г.Г., Масликов А.А., Капитонов И.Ю. Симметрийно-групповые расширения аксиом квантовой физики в динамике квантовых систем // Известия Института инженерной физики, 2019. №4(54). С.84-92.
2. Волков Г.Г., Масликов А.А., Царьков А.Н., Смуров С.В. О геометрии невидимого света Вселенной // Известия Института инженерной физики, 2020. №1(55). С.74-84.
3. Боголюбов Н.Н., Логунов А.А., Оксак А.И., Тодоров И.Т. Общие принципы квантовой теории поля. М.: Наука, 1987. 616 с.
4. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва. М.: URSS, 2020.
5. Прескилл Дж. Квантовая информация и квантовые вычисления. Москва-Ижевск: Издательство: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2008. 463 с.
6. Penrose R. Uncertainty in quantum mechanics: faith or fantasy? 13 December 2011 https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0179
7. Volkov G.G. Geometry of Majorana neutrino and new symmetries, Annales Fond Broiglie, 31. 2006. 227 p.
8. Volkov G. The Possible Signals from the D=6 Space-Time - arXiv:1112.3583 [hep-ph]
9. Смуров С.В., Волков Г.Г., Глотова И.О., Кукин Н.С., Мурадова А.Р. Математические вопросы расширения основ квантовых теорий // Известия Института инженерной физики, 2015. №4(38). С.71-84.
10. Volkov G. Ternary “Quaternions” and Ternary TU(3) algebra, arXiv:1006.5627, 2010.
11. Volkov G.G., Maslikov A.A. Geometry of the Standard Model. Nonlinear Dynamics and Applications,Proc of the XXI- NPCS, Minsk,(2014). P. 257-264.
12. Maslikov A., Volkov G. Ternary SU(3)-group symmetry and its possible applications in hadron-quark substructure. Towards a new spin-or-fermion structure Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics (Baldin ISHEPP XXIV) Dubna, Russia, Sept 17-22, 2018 EPJ Web of Conf. v. 204. 2019.
13. Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия. М.: Наука, 1979.
14. Zuber J.B. Invariances in Physics and Group Theory, 2013.
15. Исаев А.П., Рубаков В.А. Теория групп и симметрий: Конечные группы. Группы и алгебры Ли. М.: URSS, 2018.
16. Maslikov A.A., Sergeev S.M., Volkov G.G. NonAbelian gauge family symmetry in rank 8-16 grand unified string theories // Phys. Rev. D15. V.15. 1994.
17. Lipatov L.N., Rausch de Traunbenberg M., Volkov G. On the ternary complex analysis and its applications, J. Math. Phys. 49, 013502, 2008.
18. Смуров С.В., Волков Г.Г., Глотова И.О., Кукин Н.С., Мурадова А.Р. Введение в геометрию N-арных комплексных чисел. Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40). С.75-84.



УДК 615

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИММУНОТРОПНОГО ИННОВАЦИОННОГО ПРЕПАРАТА «ТАМЕРОН»

THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF THE INNOVATIVE IMMUNOTROPIC DRUG «TAMERON»

Алексей Николаевич Царьков
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
Президент Института –
Председатель Правления Института
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210 Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967) 35-31-93
E-mail: info@iifmail.ru

Юлия Валерьевна Краснова
главный технолог
фармацевтического производства
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8(4967)35-31-93
E-mail: krasnova@iifmail.ru

Елена Александровна Царькова
советник Генерального директора
АО «Столетика»
Адрес: 142210, Московская область,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 12-84-88
E-mail: info@stoletika.ru

Аннотация

В статье представлены основы технологии производства иммунотропного инновационного препарата «ТАМЕРОН» на основе активной фармацевтической субстанции «Аминодигидрофталазиндион натрия». Технологии, разработанные на базе МОУ «Институт инженерной физики», позволяют создать полный цикл производства препарата, начиная с реактива, заканчивая готовым лекарственным средством высокого качества, соответствующего требованиям эффективности и безопасности.

Ключевые слова: здоровье, активная фармацевтическая субстанция, иммунотропный инновационный препарат, «ТАМЕРОН».

Summary

The article presents the basics of the production technology of the innovative immunotropic drug «TAMERON» based on the active pharmaceutical substance Sodium Aminodihydrophthalazinedione. The technologies developed on the basis of the MEI «Institute of Engineering Physics» make it possible to create a complete production cycle of a drug, starting with a reagent, ending with a finished drug of high quality that meets the requirements of efficiency and safety.

Keywords: health, active pharmaceutical substance, immunotropic innovative drug, «TAMERON».

Важной стратегической задачей Российской Федерации является здоровье населения. Без этого ключевого фактора невозможно представить развитие страны. Иммунодефицитное состояние, возникающее вследствие структурных и функциональных дефектов системы иммунитета, является причиной нарушения противоинфекционной защиты, аллергических, аутоиммунных или лимфопролиферативных заболеваний, а также повышения частоты нарушений противоопухолевой защиты [1]. Приобретенный иммунодефицит является следствием не только врожденных патологий, но и инфекций, стресса, облучения и интоксикаций, хирургических вмешательств и побочным эффектом обычной полифармакотерапии и др.

Одним из современных и эффективных иммунотропных препаратов является инновационный лекарственный препарат «ТАМЕРОН» на основе активной фармацевтической субстанции (АФС) «Аминодигидрофталазиндион натрия». Данный лекарственный препарат представляет собой иммуномодулирующее и противовоспалительное средство, механизм действия которого связан с воздействием на функционально-метаболическую активность фагоцитов (моноциты/макрофаги, нейтрофилы, NK-клетки), и опосредованной стимуляцией выработки интерферонов – α, - γ [2-4].

Иммунотропный инновационный препарат (ИИП) «ТАМЕРОН», являясь индуктором интерферона, обладает широким диапазоном антивирусной активности и выраженным иммуномодулирующим эффектом, не обладает антигенностью. Он стимулирует контролируемый организмом синтез эндогенного интерферона без побочных реакций организма, возникающих при введении экзогенных интерферонов [5, 6].

ИИП «ТАМЕРОН» на основе АФС «Аминодигидрофталазиндион натрия» может применяться при лечении острых и хронических воспалительных синдромов, бактериальных или вирусных инфекций желудочно-кишечного тракта (в т.ч. печени), дыхательных и мочевыводящих путей, вторичной иммунной недостаточности, хронических воспалительных заболеваниях и вторичных иммунодефицитах, в т.ч. у онкологических больных, получающих лучевую и химиотерапию; для профилактики гнойных осложнений хирургических операций [2, 5, 7, 8].

На базе МОУ «Институт инженерной физики» с 2015 года ведутся исследования и разработка технологий производства лекарственных средств на основе АФС «Аминодигидрофталазиндион натрия», направленные на создание стабильных, эффективных, безопасных фармацевтических продуктов [10].

В МОУ «Институт инженерной физики» разработан способ получения активной фармацевтической субстанции, представляющей собой «Аминодигидрофталазиндион натрия» [11]. Данный способ позволяет получить субстанцию высокого качества при полном отсутствии механических, химических и биологических примесей с исключением из производственного цикла токсичного гидразингидрата и других сырьевых компонентов.

На основе данной субстанции разработана технология получения ИИП «ТАМЕРОН» в форме лиофилизата для приготовления раствора для внутримышечного введения.

Обеспечение безопасности, повышение качества и эффективности лекарственных средств, разработка воспроизведенных и инновационных препаратов позволяют поддерживать здоровье населения, улучшать качество и продолжительность жизни. В то же время существует проблема сохранения качества лекарственных препаратов, обусловленная неправильным выбором лекарственной формы. Многие вещества теряют свои функциональные свойства в процессе производства и дальнейшего хранения. Низкая стабильность препаратов в жидкой форме, их чувствительность к высоким температурам обработки являются причинами поиска и разработки инновационных технологий производства.

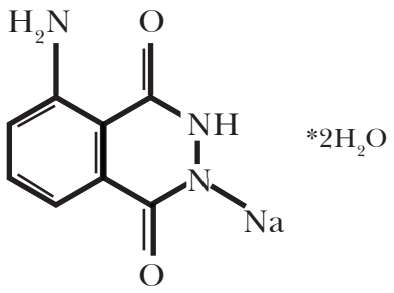


Рис. 1. Структурная формула ИИП «ТАМЕРОН»

Метод лиофилизации применяют для производства лекарственных средств, которые нестабильны при повышенных температурах (термолабильны), гидролитически неустойчивы или растворы которых нестабильны при длительном хранении. Лекарственное средство в форме лиофилизата полностью сохраняет свою фармакологическую активность [9]. Именно поэтому процесс лиофилизации решает проблему сохранения качества лекарственных средств, обеспечивая длительный срок годности и длительный срок годности.

В статье представлены основы технологии производства иммунотропного инновационного препарата «ТАМЕРОН» на основе активной фармацевтической субстанции «Аминодигидрофталазиндион натрия».

Объекты исследования: ИИП «ТАМЕРОН» (*рисунок 1*), стандартный образец аминодигидрофталазиндион натрия с.011216 (МОУ «Институт инженерной физики»), стандартный образец 5-амино-2,3-дигидро-1,4-фталазиндиона натрия фирмы Sigma.

Используемое оборудование: лиофильная сушилка GZLY 0,5, Китай; Титратор Фишера «Эксперт-007М», Россия; Фурье-спектрометр инфракрасный ФСМ2201, Россия, ЯМР спектрометр Bruker Avance 600, Германия.

Используемые методики анализа:

1. Методика определения воды (ОФС.1.2.3.0002.15 метод 1, методика Б [12].

2. Методика ИК-спектроскопии. Спектр поглощения субстанции снимали в дисках с калия бромидом (1 мг субстанции на 300 мг калия бромида), в области от 4000 до 400 см-1.

Совпадение спектров проводится автоматически на приборе.

3. ЯМР-спектр снимали при нагревании образца в ДМСО d6 до 70°С до полного его растворения, рабочая частота 400 МГц. Для сравнения приведен спектр стандартного образца 5-амино-

2,3-дигидро-1,4-фталазиндиона натрия фирмы Sigma (*рисунок 2*).

Условия проведения сушки

Стерильный раствор аминодигидрофталазиндион натрия в воде для инъекций разливали в пенициллиновые флаконы. Сушку проводили по следующим режимам:

Режим 1. Раствор загружали на полку лиофильной сушки при температуре +20°С±2°С, охлаждали полки до -25±2°С, выдерживали продукт при указанной температуре и проводили сушку под вакуумом до температуры +25°С±2°С. Общее время сушки составило 38 часов.

Режим 2. Раствор загружали на полку лиофильной сушки при температуре +20°С±2°С, охлаждали полки до -40±2°С, выдерживали продукт при указанной температуре и проводили сушку под вакуумом до температуры +25°С±2°С. Общее время сушки составило 30 часов.

Режим 3. Раствор загружали на полку лиофильной сушки при температуре +20°С±2°С, охлаждали полки до -30±2°С, выдерживали продукт при указанной температуре и проводили сушку под вакуумом до температуры +25°С±2°С. Общее время сушки составило 35 часов.

В результате проведения сушки по описанным режимам были получены 3 образца, которые исследованы на остаточное содержание влаги и соответствие ИК-спектру стандартного образца.

В *таблице 1* представлены данные по содержанию влаги для каждого образца (№ образца соответствует номеру режима).

Все полученные образцы по содержанию влаги соответствуют установленным требованиям проекта нормативной документации на препарат «ТАМЕРОН» (потеря в массе при высушивании не более 10%).

Далее образцы были исследованы на совпа-

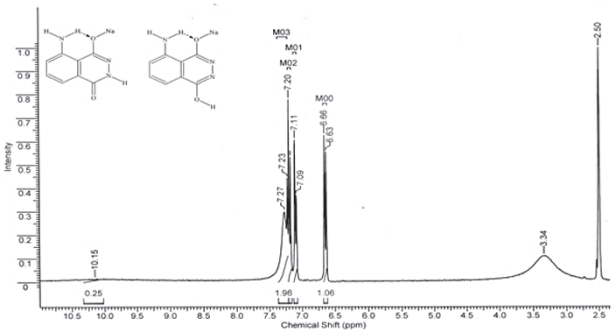


Рис. 2. ЯМР-спектр стандартного образца 5-амино-2,3-дигидро-1,4-фталазиндиона натрия фирмы Sigma

Таблица 1

Содержание влаги в полученных образцах

№ образца	Остаточное содержание влаги, %
1	4,5%
2	2,3%
3	3,8%

Таблица 2

Совпадение ИК-спектров полученных образцов со стандартным образцом (СО) аминодигидрофталазиндион натрия и между собой

№ образца	Образец, с которым произведено сравнение	Совпадение ИК-спектров, %
1	СО	96,96
2	СО	94,50
3	СО	95,30
1	2	99,56
1	3	98,05
2	3	99,00

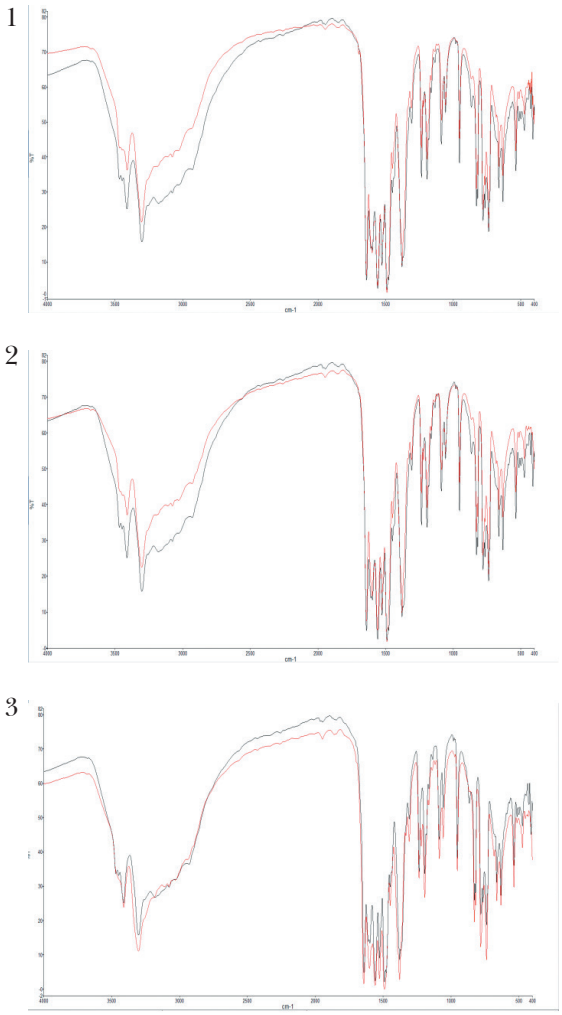


Рис. 3. ИК-спектры полученных образцов черный – СО, красный – образец: 1 – образец №1 и СО (совпадение 96,96%); 2 – образец № 2 и СО (совпадение 94,5%); 3 – образец № 3 и СО (совпадение 95,3%)

дение ИК-спектров со стандартным образцом (СО), а также между собой. В *таблице 2* представлены данные о сходимости изученных спектров.

Как видно из таблицы, ИК-спектры всех продуктов демонстрируют приемлемое совпадение со стандартом, а также хорошую воспроизводимость.

На *рисунке 3* представлены ИК-спектры образцов, полученных по описанным режимам в сравнении со стандартным образцом аминодигидрофталазиндион натрия. Совпадение ИК-спектров находится в пределах погрешности метода автоматического расчета совпадения спектров.

Учитывая результаты проведенных исследований, для технологии лиофильной сушки препарата «ТАМЕРОН» оптимальным является режим №2 ввиду меньших энергозатрат на осуществление сушки.

Образец, полученный по способу №2, был проанализирован методом ЯМР-спектроскопии (*рисунок 4*).

Данные ЯМР H1 спектра указывают на наличие сигналов ароматических протонов (д, 1H, 6.61 м.д.; м, 1H, 7.04 м.д.; т, 1H, 7.17 м.д.) и протонов NH2 группы в области 7.34 м.д. Спектр ЯМР показывает отсутствие посторонних примесей.

Выводы

Подобран оптимальный режим лиофилизации ИИП «ТАМЕРОН» – режим №2. Образцы, полученные в результате сушки, по всем исследуемым режимам соответствуют по содержанию влаги требованиям проекта нормативной документации на препарат «ТАМЕРОН» и соответствуют ИК-спектру СО Аминодигидрофталазиндион натрия. ЯМР-спектр образца, полученного по способу №2, соответствует ЯМР-спектру СО 5-амино-2,3-дигидрофталазин-1,4-дион натрия и показывает отсутствие посторонних примесей.

Результаты исследования легли в основу разработки технологии производства ИИП «ТАМЕРОН» и освещены на российских и международных конференциях [13-15].

В результате проведения доклинических исследований ИИП «ТАМЕРОН» были получены данные, подтверждающие что препарат не токсичен, не обладает местным раздражающим действием при однократном внутримышечном введении, не обладает хронической токсичностью и местным раздражающим действием при многократном применении. Также в результате исследования основных фармакокинетических параметров было установлено, что препарат обладает высокой степенью высвобождения и достигает максимальной концентрации в крови за короткий период времени.

Технологии, разработанные на базе МОУ «Институт инженерной физики», позволяют создать полный цикл производства препарата, начиная с реактива, заканчивая готовым лекарственным средством высокого качества, соответствующего требованиям эффективности и безопасности.

Литература

1. Павленко В.И. Диагностика и лечение иммунодефицитных состояний: учебное пособие. Благовещенск, 2017. 232 с.
2. Мрикаев Б.М. Разработка физико-химических, клеточных и молекулярных моделей изучения эффектов нового отечественного иммуномодулятора «Галавит» (Экспериментальное исследование): дисс. ... канд. мед. наук. М., 2005. 138 с.
3. Государственный реестр лекарственных средств [Электронный ресурс] - Электрон. дан. - Режим доступа: https://grls.rosminzdrav.ru/Grls_View_v2.aspx?routingGuid=9a4584fc-97b7-4b9c-8b45-c94f423d942a&t=.
4. Регистр лекарственных средств России РЛС Энциклопедия лекарств [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: https://www.rlsnet.ru/mnn_index_id_3250.htm.
5. Сологуб Т.В., Осиновец О.Ю. Применение иммуномодулирующего препарата Галавит в комплексной терапии гриппа // Клиницист, 2012. №2. С.76-81.
6. Silin, D.S. Synthetic and natural immuno-modu-

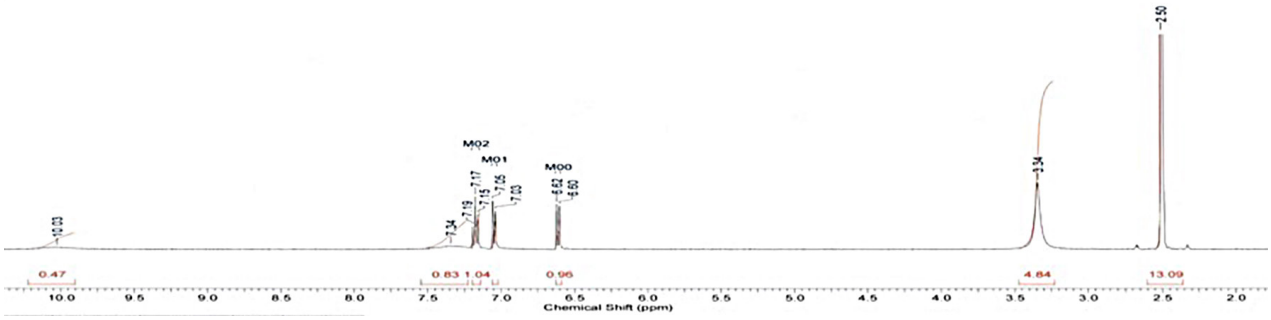


Рис. 4. ЯМР-спектр ИИП «ТАМЕРОН»

lators acting as interferon inducers / D.S. Silin, O.V. Lyubomska, F.I. Ershov, V.M. Frolov, G.A. Kutsyna// Current Pharmaceutical Design, 2009. №15(11). Pp.1238-1247.
7. Казеко Н.И., Ермишина В.И., Грозюк И.П., Менделян Ш.С., Бердичевский Б.А. Иммуномодулирующая терапия вторичного хронического пиелонефрита на фоне мочекаменной болезни // Медицинская наука и образование Урала, 2017. Т.18. №2(90). С.33-38.
8. Муминова, Н.Х. Пути оптимизации диагностики и лечения гнойно-септических осложнений в послеродовом периоде // Российский вестник акушера-гинеколога, 2016. Т.16. №2. С.89-94.
9. Государственная фармакопея Российской Федерации [Электронный ресурс] / МЗ РФ. – XIV изд. - Т.2 - Режим доступа: http://resource.rucml.ru/feml/pharmacopia/14_2/HTML/211/index.html.
10. Царьков А.Н., Маевский Е.И., Смуров С.В., Седова И.В. О медико-биологическом производственном направлении исследований в МОУ «Институт инженерной физики» // Известия Института инженерной физики, 2017. №1(43). С.97-100.
11. Патент № 2673452 Российская Федерация, МПК A61K 31/502 (2006.01), C07D 237/32 (2006.01). Способ получения активной фармацевтической субстанции, представляющей собой аминодигидрофталазиндион натрия: 2017129096: заявл. 15.08.2017: опубл. 27.11.2018/ Царьков А.Н., Смуров С.В., Презент М.А., Вольский В.С., Седова И.В., Краснова Ю.В., Чистякова А.В. - 12 с.
12. Государственная фармакопея Российской Федерации / МЗ РФ. XIII изд. М., 2015. Т.1. 1470 с.
13. Царьков А.Н., Царькова Е.А. Инновационный препарат «ТАМЕРОН» // Известия Института инженерной физики, 2019. №4(54). С.111-115.
14. Маевский Е.И., Царьков А.Н., Ермаков А.М., Богданова Л.А., Царькова Е.А. Иммунотропные препараты в разработках МОУ «Институт инженерной физики» // Труды Четвертой научно-практической школы-конференции «Аллергология и клиническая иммунология», 2018.
15. Маевский Е.И., Царьков А.Н., Царькова Е.А. Влияние препаратов люминола натрия и сукцината аммония на иммунную систему // Труды Пятой научноз-практической школы-конференции «Аллергология и клиническая иммунология», 2019.

УДК 338.268

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ ДУБЛИРУЮЩЕЙ ТЕМАТИКИ ПРОЕКТОВ

METHODICAL APPROACH TO THE IDENTIFICATION OF DUPLICATING TOPICS OF PROJECTS

Юрий Николаевич Артамонов
доктор технических наук
доцент кафедры «Информационные технологии в управлении»
филиал «Котельники»
ФГБОУ ВО Московской области
«Университет «Дубна»
Адрес: 140053, Московская обл.,
г. Котельники, микрорайон Силикат, д. 35
Тел.: +7 (495) 551-42-89

Аннотация
В статье рассмотрен подход к выявлению дублирования информации, сводящийся к сравнению совпадающих коллокаций. Оценивается устойчивость одновременного употребления двух слов (биграмм) в некотором смысловом фрагменте. Для общей коллокации в качестве смыслового фрагмента используется корпус текста отдельного проекта, для частной коллокации внутри корпуса текста отдельного проекта смысловые фрагменты выбираются в виде отдельных предложений и оценивается степень приближения к выполнению свойств транзитивности, симметричности на коллекции документов.
Ключевые слова: научно-технические проекты, дублирование, коллокация, оценка, устойчивость.

Summary
The article considers the approach to identifying duplication of information, by comparison of matching collocations. The stability of the simultaneous use of two words (bigrams) in a certain semantic fragment is estimated. Text corpus of single project is used as a semantic fragment for general collocation. For private collocation within the text corpus of a single project, semantic fragments are selected in the form of separate sentences and the degree of approximation to the fulfillment of the properties of transitivity, symmetry in the collection of documents is estimated.
Keywords: scientific and technical projects, duplication, collocation, evaluation, sustainability.

Вопросы выявления дублирующей, подобной информации могут успешно решаться с использованием семантического анализа [1,2]. Исследования следует проводить на множествах проектов, которые объединены в кластеры. Это уже гарантирует некоторое подобие. Дальнейший анализ следует осуществлять по направлениям поиска устойчивых словосочетаний (коллокаций). Фактически это означает уточнение результатов кластерного анализа. Будем выделять два уровня коллокаций:

- общая коллокация – словосочетание, состоящее из двух или более слов, объединенных в виде семантически целостной единицы, выявленной на анализе всей совокупности текстов кластера;
- частная коллокация – коллокация, выявленная на анализе отдельного текста кластера.

Тогда вопрос подобия или дублирования информации можно свести к сравнению совпадающих коллокаций. Будем оценивать устойчивость одновременного употребления двух слов (биграмм) в некотором смысловом фрагменте. Для общей коллокации таким смысловым фрагментом будет корпус текста отдельного проекта, для частной коллокации внутри корпуса текста отдельного проекта смысловые фрагменты выбираются в виде отдельных предложений. Пусть D – совокупность проектов, ранее объединенных в кластер по смысловому признаку, для общей коллокации формируем обобщенный словарь термов $\{t_1, t_2, \ldots t_n\}$ из всех различных слов вошедших в D; для частной коллокации словарь термов $\{t_1, t_2, \ldots t_n\}$ формируем из различных слов, со-

ставляющих корпус текста проекта. Для поиска устойчивых словосочетаний будем по выбору использовать наиболее распространенные меры:

● коэффициент взаимной информации *MI-score* мера [3-5] (сравнивает зависимые контекстно-связанные частоты с независимыми, как если бы слова появлялись в тексте совершенно случайно. Мера *MI-score* зависит от размера корпуса: чем больше исследуемый корпус, тем выше в среднем получаемые по нему значения меры. Другим недостатком меры является ее свойство завышать значимость редких словосочетаний. Чем более редки слова, образующие коллокацию, тем выше будет для них значение меры, что делает ее «беззащитной» перед опечатками, иностранными словами и другим информационным шумом)

$$MI_{score}(t_1,t_2)=\log_2\left(\frac{f(t_1,t_2)\cdot n}{f(t_1)\cdot f(t_2)}\right), \qquad (1)$$

где $f(t_1,t_2)$ – частота одновременного употребления термов t_1,t_2, рассчитанная по всем смысловым фрагментам;

$f(t_1),f,t_2)$ – независимые частоты употребления термов t_1,t_2 соответственно, рассчитанные по всем смысловым фрагментам;

n – общее число термов в корпусе;

● мера *t-score* [3-5] (мера *t-score*, в отличие от *MI-score*, не преувеличивает значимость редких коллокаций)

$$t_{score}(t_1,t_2)=\frac{f(t_1,t_2)-\frac{f(t_1)\cdot f(t_2)}{n}}{\sqrt{f(t_1,t_2)}}; \qquad (2)$$

● мера *salience* [3-5] (используется например в системе Sketch Engine)

$$salience(t_1,t_2)=14+\log_2\left(\frac{2\cdot f(t_1,t_2)}{f(t_1)+f(t_2)}\right). \qquad (3)$$

Будем считать, что слова образуют коллокацию, если значение меры превосходит некоторое пороговое значение. Результатом использования данных мер будет множество коллокаций:

$$\left\{\langle t_i,t_j\rangle \mid i\neq j, i=1..n, j=1..n, \left(MI_{score}(t_i,t_j)>\right.\right.$$
$$\left.\left.>\delta_1\right)\vee\left(t_{score}(t_i,t_j)>\delta_2\right)\vee\left(salience(t_i,t_j)>\delta_3\right)\right\},$$

где $\delta_1\delta_2\delta_3$ – пороговые значения соответствующих мер.

Пусть A – множество общих коллокаций; B – множество частных коллокаций; D_x,D_y – два проекта, для которых проводится анализ на подобие.

В проекте D_x случайным образом выбираем заданное количество коллокаций из множеств A,B, встречающихся в нем. Если более половины из этого количества также встречается в D_y будем считать, что D_x,D_y – подобные проекты (например, в системе InfoStream [3-5] выбирают 12 ключевых слов, и если встречается более 6 совпадений, то принимается решение о подобии, дублировании документов).

Отметим, что выявление дублирования или подобия – сходные задачи. Однако дублирование есть крайний случай подобия. Фактически дублирование задает на анализируемом множестве некоторое отношение эквивалентности: для любых двух объектов, связанных отношением дублирования, присущи свойства рефлексивности, симметричности, транзитивности. В то время как для отношения подобия свойство рефлексивности выполняется, свойства симметричности, транзитивности не обязаны выполняться. Действительно, если проект D_x подобен D_y, а D_y подобен D_z, то отсюда может не следовать, что D_x подобен D_z. Кроме этого, если D_x является частью D_y (случайно выбранные коллокации из D_x содержатся в D_y, т. е. будет сделан вывод, что D_x подобен D_y), то отсюда не следует, что D_y подобен D_x (ни одна из случайно выбранных коллокаций из D_y не содержится в D_x) – нарушается свойство симметричности.

Таким образом, корректно говорить о дублировании можно только на более широкой коллекции документов. В частности можно оценить степень приближения к выполнению свойств транзитивности, симметричности на коллекции документов (множестве проектов, вошедших в кластер). Для этого каждой паре проектов D_i,D_j поставим в соответствие $a_{i,j}=1$, если D_i подобен проекту D_j и $a_{i,j}=0$ в противном случае. Для оценки приближения к свойству симметричности введем коэффициент асимметричности [6]:

$$\frac{\sum_{i=1}^{|D|}\sum_{j=1}^{|D|}\left|a_{ij}-a_{ji}\right|}{\sum_{i=1}^{|D|}\sum_{j=1}^{|D|}a_{ij}}. \qquad (4)$$

Для оценки приближения к свойству транзитивности введем коэффициент транзитивности [6]:

$$\frac{\sum_{i=1}^{|D|}\sum_{j=1}^{|D|}\sum_{k=1}^{|D|}a_{ij}\cdot a_{jk}\cdot a_{ik}}{\sum_{i=1}^{|D|}\sum_{j=1}^{|D|}a_{ij}}. \qquad (5)$$

Таким образом, при высокой степени приближения к свойствам транзитивности и симметричности коэффициент антисимметричности должен принимать малое, близкое к нулю значение, а коэффициент транзитивности должен приближаться к единице. Сама по себе проверка коэффициентов асимметричности и транзитивности может использоваться для проверки приближения к эквивалентности на коллекции документов, однако решение о содержательном дублировании информации должно оставаться за экспертами.

Литература

1. Артамонов Ю.Н. Синтез элементов методологии обеспечения функций управления ходом разработки и реализации федеральных целевых программ // Сборник трудов участников XXXII Всероссийской научно-технической конференции «Современное непрерывное образование» под редакцией проф. А.Н. Царькова и проф. И.А. Бугакова. МОУ «ИИФ», 2013. С.176-179.
2. Артамонов Ю.Н. Метод автоматической классификации научно-технических проектов для оценки их качества // Сборник трудов участников. XXXI Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем», 2012. С.19-23.
3. Киселев М.В. Метод кластеризации текстов, основанный на попарной близости термов, характеризующих тексты, и его сравнение с метрическими методами кластеризации // Сборник работ участников конкурса «Интернет-математика 2007», 2007. С.74-83.
4. Лукашевич Н.В. Тезаурусы в задачах информационного поиска. М.: Изд-во МГУ имени М.В. Ломоносова, 2011. 396 с.
5. Шабанов В.И. Метод классификации текстовых документов, основанный на полнотекстовом поиске // Труды первого российского семинара по оценке методов информационного поиска. СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 2003.
6. Ландэ Д.В., Снарский А.А., Безсуднов И.В. ИНТЕРНЕТИКА. Навигация в сложных сетях: модели и алгоритмы. М.: URSS, 2009. 264 с.

УДК 65.012.1

НАУКОГРАДЫ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ: ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

SCIENCE CITIES OF THE SOUTHERN MOSCOW REGION: DEVELOPMENT DYNAMICS AND PROSPECTS

Николай Михайлович Емелин
заслуженный деятель науки и техники РСФСР
доктор технических наук, профессор
главный научный сотрудник
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 115093, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.:+7(499)706-81-24
E-mail: nme47@mail.ru

Павел Андреевич Рябов
кандидат педагогических наук
старший научный сотрудник
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 115093, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.:+7(499)706-81-24
E-mail: ryabov.pavel90@yandex.ru

Аннотация

В статье проведен анализ индикаторов мониторинга деятельности научно-производственных комплексов наукоградов Российской Федерации, которые включают в себя 3 основных индикатора И1-И3 (доля численности работников НПК в составе наукограда, доля численности исследователей НПК, доля отгруженных товаров НПК в общем объеме отгруженных товаров наукограда). Отдельно, в данном анализе, выделено место наукоградов Южного Подмосковья (Протвино и Пущино), а также составлен рейтинг наукоградов по результатам выполнения И1-И3 в 2018 году, в котором Пущино и Протвино занимают 7 и 10 строчку, соответственно. Для дальнейшей оценки динамики развития наукоградов Южного Подмосковья были выбраны 10 показателей П1-П10 и был проведен анализ результатов наукоградов Южного Подмосковья по данным показателям.

Ключевые слова: наукограды, научно-производственный комплекс, динамика, рейтинг, показатели.

Summary

This article analyzes the indicators for monitoring the activities of scientific and production complexes of science cities of the Russian Federation, which include 3 main indicators И1-И3 (the proportion of the number of employees of the RPC in the science city, the share of the number of researchers of the RPC, the share of shipped goods of the RPC in the total volume of shipped goods of the science city). The place of the scientific cities of the Southern Moscow Region (Protvino and Pushchino) is highlighted in this analysis, as well as the rating of scientific cities based on the results of И1-И3 in 2018, in which Pushchino and Protvino occupy 7th and 10th lines, respectively is compiled. To further evaluate the dynamics of the development of science cities of the Southern Moscow Region, 10 indicators П1-П10 were selected and an analysis of the results of the science cities of the Southern Moscow Region was carried out according to these indicators.

Keywords: science cities, research and production complex, dynamics, rating, indicators.

География наукоградов Российской Федерации довольно обширна и включает в себя 6 регионов и 13 муниципальных образований, которым на сегодняшний день присвоен статус наукограда Российской Федерации (*рисунок 1*). Восемь из 13 наукоградов расположены на территории Московской области, из них – на юге Московской области: это Протвино и Пущино. Анализ эффективности деятельности наукоградов проведем по результатам ежегодного мониторинга, осуществляемого в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 1 июля 2016 года № 620 [1]. Прежде всего оценим соответствие показателей научно-производственных комплексов (НПК) наукоградов Российской Федерации условиям, определенным пунктом 8 статьи 2 №70-ФЗ «О статусе наукограда Российской Федерации». Эти показатели принято называть индикаторами мониторинга, и для них установлены следующие пороговые значения:

- ***индикатор И1*** – доля работников НПК наукограда (должна быть не ниже 20%);
- ***индикатор И2*** – доля исследователей в НПК наукограда (должна быть не ниже 20%);
- ***индикатор И3*** – доля товаров, отгруженных НПК (должна быть не ниже 50%).

Сразу отметим, что результаты мониторинга НПК наукоградов Российской Федерации, достаточно полно представленные в работах [2-3], позволяют сделать вывод о выполнении уста-

Рис. 1. Наукограды Российской Федерации

новленных требований к индикаторам ***И1-И3*** всеми наукоградами. Но каково же место наукоградов Южного Подмосковья в ряду наукоградов России? Проанализируем эти индикаторы.

Индикатор И1 – доля численности работников НПК в составе наукограда.

Протвино с 2016 года стабилизировал данный индикатор на границе предельно допустимого значения (20%), однако, в 2018 году показал значительный рост данного показателя до 27%. Что касается Пущино, то по ***И1*** он стабильно показывал результаты выше предельно допустимой границы, в 2018 году показал результат 26%.

Индикатор И2 – доля численности исследователей НПК.

Протвино показал большой прирост по данному показателю с 2017 года, улучшив результат с 24% в 2016 году до 47% в 2018 году. С таким результатом Протвино занимает второе место по ***И2*** в 2018 году, кстати сразу за Пущино, который из года в год стабильно выполнял данный индикатор значительно выше предельно допустимой границы (20%) и в 2018 году показал результат 55%.

Индикатор И3 – доля отгруженных товаров НПК в общем объеме отгруженных товаров наукограда.

Рис. 2. Лепестковые диаграммы выполнения индикаторов ***И1-И3*** в 2018 году

Протвино с 2016 года стабильно показывает результат по данному индикатору на границе предельно допустимого значения (50%), за исключением 2017 года, когда Протвино показал рост данного индикатора до 63%. Пущино же, с 2016 года стабилизировал данный индикатор на границе предельно допустимого значения, в 2018 году показав результат 56%.

Близость значений индикаторов мониторинга ***И1-И3*** всех наукоградов к пороговым значениям наглядно показана на лепестковых диаграммах (*рисунок 2*).

А как выглядят наукограды Пущино и Протвино по отношению к другим наукоградам? Для этого построим рейтинг наукоградов, используя ранее применявшиеся подходы [3-6], в частности, метод нормирования показателей по среднему и метод линейного преобразования при расчете интегрального показателя. Полученные значения интегрального показателя и рейтинг наукоградов по ***И1-И3*** приведены в *таблице 1*. Из этого рейтинга видно, что Пущино и Протвино занимают 7 и 10 строчку, соответственно.

Для дальнейшего исследования динамики развития наукоградов Южного Подмосковья следует определить показатели, которые позволяют наилучшим образом оценить научно-технологическую и инновационную деятельность НПК наукоградов. Для этого из показателей, заданных в письме Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ МН – 23.2/488 от 16.08.2019 г.), были выбраны десять показателей ***П1-П10***:

- ***П1*** Доля молодых исследователей в возрасте до 39 лет (включительно) в общей численности исследователей НПК наукограда;
- ***П2*** Доля исследователей высшей научной квалификации (кандидаты и доктора наук) в общей численности исследователей в возрасте до 39 лет (включительно);
- ***П3*** Количество публикаций (статей) в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития, в изданиях, индексируемых в международных базах данных, приходящихся на одного научного работника НПК наукограда;
- ***П4*** Количество заявок от организаций НПК наукограда на получение патентов на изобретение, приходящихся на одного научного работника НПК наукограда;
- ***П5*** Количество публикаций в научных журналах, входящих в перечень, утвержденный Высшей аттестационной комиссией, приходящихся на одного научного работника НПК наукограда;
- ***П6*** Удельный вес стоимости машин и оборудования (в возрасте до 5 лет) в общей стоимости машин и оборудования в организациях, выполняющих научные исследования и разработки;
- ***П7*** Доля затрат на приобретение машин, оборудования, программных средств в общем объеме затрат на технологические инновации;
- ***П8*** Доля инновационной продукции (товаров и услуг) в общем объеме реализованной продукции (товаров и услуг) в сфере научных исследований и разработок;
- ***П9*** Доля экспорта научно-технической продукции;

Таблица 1

Рейтинг наукоградов по И1-И3

	Исходные данные в %			Нормирование по среднему			Интегральное значение	Рейтинг
	И1	И2	И3	И1	И2	И3	Линейная сумма	Линейная сумма
Бийск	20	22	55	0,50	0,63	0,73	1,85	13
Дубна	32	22	97	0,80	0,63	1,29	2,71	9
Жуковский	40	40	59	0,99	1,14	0,78	2,92	8
Кольцово	74	36	96	1,84	1,03	1,27	4,14	1
Королев	47	32	79	1,17	0,91	1,05	3,13	5
Мичуринск	30	26	79	0,75	0,74	1,05	2,53	11
Обнинск	22	21	71	0,55	0,60	0,94	2,09	12
Протвино	27	47	50	0,67	1,34	0,66	2,67	10
Пущино	26	55	56	0,65	1,57	0,74	2,96	7
Реутов	64	40	89	1,59	1,14	1,18	3,91	2
Троицк	45	55	88	1,12	1,57	1,17	3,85	3
Фрязино	54	22	96	1,34	0,63	1,27	3,24	4
Черноголовка	42	38	65	1,04	1,08	0,86	2,99	6

● ***П10*** Внутренние затраты на исследования и разработки за счет всех источников, приходящиеся на одного работника НПК наукограда.

Статистические данные по выбранным показателям ***П1-П10*** за 2016-2018 гг. были получены напрямую от наукоградов по запросу Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (письмо № МН – 23.2/488 от 16.08.2019 г.).

Рейтинговые места наукоградов Южного Подмосковья, полученные по показателям ***П1-П10*** за 2016-2018 годы представлены в *таблице 2*. Проанализируем динамику изменения рейтинга по этим показателям.

П1. *Доля общей численности молодых исследователей в организациях НПК наукограда в возрасте до 39 лет (включительно) в общей численности исследователей в организациях НПК наукограда.* Видно, что оба наукограда по данному показателю ежегодно занимают одни из последних строчек рейтинга, что говорит о более низкой концентрации молодых ученых в данных наукоградах, по сравнению с другими. Но все же стоит выделить положительный рост данного показателя в наукограде Протвино, который в 2018 году поднялся до 9-го места.

П2. *Доля исследователей высшей научной квалификации (кандидаты и доктора наук) в общей численности исследователей в возрасте до 39 лет (включительно).* Протвино по данному показателю из года в год занимает всего лишь 11-е место. Что касается Пущино, то здесь картина немного другая: в 2016 году наукоград замыкал четверку лидеров по данному показателю, но в дальнейшем данный показатель пошел на спад – 7-е место в 2017 году и уже 9-е место в 2018 году.

Таблица 2

Результаты наукоградов Южного Подмосковья по П1-П10

	Протвино			Пущино		
	2016	***2017***	***2018***	***2016***	***2017***	***2018***
П1	11	10	9	12	12	13
П2	11	11	11	4	7	9
П3	3	5	4	5	4	5
П4	6	13	13	12	11	11
П5	9	11	12	4	4	3
П6	5	2	3	13	13	13
П7	7	4	7	1	1	3
П8	4	4	3	12	12	12
П9	8	9	9	3	2	1
П10	1	1	1	12	12	11

П3. *Количество публикаций (статей) в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития, в изданиях, индексируемых в международных базах данных, приходящихся на одного научного работника НПК наукограда.* По данному показателю оба наукограда показали неплохие результаты – последние 2 года между собой делили 4 и 5 место. Можно сказать, что оба наукограда уделяют большое внимание исследованиям в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития и стабильно, из года в год, показывают хороший результат.

П4. *Количество заявок от организаций НПК наукограда на получение патентов на изобретение (всего), приходящихся на одного научного работника НПК наукограда.* По данному показателю оба наукограда в замыкающей части рейтинга.

П5. *Количество публикаций в научных журналах, входящих в перечень, утвержденный Высшей аттестационной комиссией, приходящихся на одного научного работника НПК наукограда.* Протвино по данному показателю ежегодно занимает невысокие места: 9 место в 2016 году, 11 место в 2017 году и 12 место в 2018. Что касается Пущино, несмотря на показанную низкую активность в подаче заявок на получение патентов, публикации в журналах ВАК издаются регулярно и в большом количестве, ежегодно входя в четверку лидеров по данному показателю.

П6. *Удельный вес стоимости машин и оборудования (в возрасте до 5 лет) в общей стоимости машин и оборудования в организациях, выполняющих научные исследования и разработки.* Пущино ежегодно показывает последний результат по показателю, что говорит о более устаревшем оборудовании, на котором выполняются исследования и разработки, по сравнению с другими наукоградами. Протвино же в 2017 году занял 2 место и 3 место в 2018 году.

П7. *Доля затрат на приобретение машин, оборудования, программных средств в общем объеме затрат на технологические инновации.* Если по предыдущему показателю Пущино занимает последнее место, то по данному показателю, наоборот, находится в топе рейтинга: 1 место в 2016 и 2017 годах, 3 место в 2018 году. И Протвино удерживает хорошие позиции: в 2016 году и 2018 годах занял 7 место рейтинга, в 2017 году был скачек по данному показателю до 4 места.

П8. *Доля инновационной продукции (товаров и услуг) в общем объеме реализованной продукции (товаров и услуг) в сфере научных исследований и разработок.* По данному показателю наукограды также показали довольно разные результаты, а именно: Пущино ежегодно занимает 12 строчку рейтинга, что говорит о более низком иннова-

ционном потенциале в области реализованной продукции по сравнению в другими наукоградами. Протвино же в 2018 году занимает лидирующие позиции: вышел на 3-е место.

П9. *Доля экспорта научно-технической продукции.* Протвино ежегодно показывал низкий результат по данному показателю: 8 место в 2016 году, 9 место в 2017 и 2018 годах. Пущино же из года в год наращивал потенциал по экспорту научно-технической продукции и в 2018 году стал лидером рейтинга среду других наукоградов.

П10. *Внутренние затраты на исследования и разработки за счет всех источников, приходящиеся на одного работника НПК наукограда.* По данному показателю наукограды Южного Подмосковья показали противоположные результаты. Так, Протвино является безоговорочным лидером по данному показателю, из года в год, и с очень большим отрывом от других наукоградов, что свидетельствует о высоком уровне инвестиций в исследования и разработки. Что касается Пущино, то результаты по данному показателю стабильно низки.

Из проведенного анализа результатов ***П1-П10*** можно выделить несколько моментов. Наукограды Южного Подмосковья показали различные результаты. Так, например по ***П1, П2*** и ***П4*** оба наукограда показали низкие результаты, в то время как по ***П3*** оба наукограда неплохо преуспели. Отдельно стоит выделить ***П10***, по которому Протвино занял 1 место с большим отрывом от других наукоградов. Также необходимо выделить ***П9***, по которому Пущино занял лидирующую строку в 2018 году.

Что касается перспектив дальнейшего развития наукоградов Южного Подмосковья, то следует сказать, что в своей стратегии социально-экономического развития Противно выделяет возможности перспективного развития наукограда, которые в первую очередь связаны с наличием крупных уникальных инновационных проектов и научных разработок на базе действующих организаций НПК, наличием перспективных разработок по лечению онкологических заболеваний, а также партнерством с наукоградами и соседними городами. В то время как Пущино отмечает, что в долгосрочной перспективе планирует выйти на мировой уровень инвестиционной привлекательности и конкурентоспособности как научно-образовательного и технико-внедренческого центра биотехнологии, биомедицины и биобезопасности, а также комфортного города с социально-ориентированным управлением.

Довольно сложно сравнивать деятельность наукоградов, поскольку каждый наукоград уникален в сфере своей деятельности, исследований и разработок, к тому же отдельные работы являются закрытыми. Но то, что все наукограды вносят огромный вклад в научно-технологический и инновационный потенциал Российской Федерации – не вызывает сомнений.

Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 июля 2016 года № 620 «Об утверждении Правил проведения мониторинга осуществления мероприятий, включенных в планы мероприятий по реализации стратегий социально-экономического развития муниципальных образований, имеющих статус наукограда Российской Федерации, а также показателей деятельности организаций и обособленных подразделений научно-производственных комплексов наукоградов Российской Федерации».
2. Крисько М.О. Справка об оценке соответствия показателей научно-производственных комплексов наукоградов Российской Федерации требованиям, установленным пунктом 8 статьи 2.1 Федерального закона №70-ФЗ «О статусе наукограда Российской Федерации», и достижения результатов, предусмотренных планами мероприятий по реализации стратегий социально-экономического наукоградов в 2018 году // М.: Минобрнауки РФ, 2019. [Электронный ресурс]. https://minobrnauki.gov.ru/common/upload/library/2019/06/main/1._Spravka_Naukogrady_za_2018_UTVERZHD.pdf
3. Емелин Н.М., Володина Е.Д., Рябов П.А. Мониторинг и оценка рейтинга наукоградов // Мониторинг. Наука и технологии, 2019. №4. С.99-103.
4. Аляева Ю.В., Емелин Н.М. Метод определения рационального количества научных изданий при формировании Перечня рецензируемых научных изданий // Известия Института инженерной физики, 2020. №1(55). С.92-96.
5. Васильева Л.В. Анализ методических подходов к построению интегральных экономических показателей / Экономические исследования и разработки, 2017. №12. Доступ: http://edrj.ru/article/18-12-17
6. Клюшникова Е.В., Шитова Е.М. Методические подходы к расчету интегрального показателя, методы ранжирования // Электронный научно-практический журнал «ИнноЦентр», 2016. №1(10). С.4-18. [Электронный ресурс]. URL: http://innoj.tversu.ru/Vipusk1(10)2016/2%20-%20%D0%9A%D0%BB%D1%8E%D1%88%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0.pdf

УДК 65.011, 005

РОЛЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В РЕАЛИЗАЦИИ ПРИОРИТЕТОВ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

THE ROLE OF STATE SCIENTIFIC CENTERS OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE IMPLEMENTATION OF THE PRIORITIES OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION

Дмитрий Вячеславович Поспехов
начальник отдела координации и сопровождения деятельности ГНЦ
Департамент инноваций и перспективных исследований
Министерство науки и высшего образования РФ
Адрес: 125993, Москва, Тверская ул., д. 11
Тел.: +7 (495) 547-13-64 (доб. 1124)
E-mail: pospekhovdv@minobrnauki.gov.ru

Вадим Викторович Медведев
кандидат экономических наук
директор
Департамент инноваций и перспективных исследований
Министерство науки и высшего образования РФ
Адрес: 125993, Москва, Тверская ул., д. 11
Тел.: +7 (495) 547-13-64 (доб. 1124)
E-mail: nazarovrv@minobrnauki.gov.ru

Юрий Анатольевич Сытняк
кандидат технических наук, доцент
начальник отдела
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 115093, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.:+7 (499) 706-81-25
E-mail: sytnyak@list.ru

Аннотация
Проведен анализ вклада результатов деятельности ГНЦ РФ в реализацию приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, критических технологий и технологических платформ.
Ключевые слова: государственные научные центры РФ, приоритеты научно-технологического развития Российской Федерации, критические технологии, технологические платформы.

Summary
The article presents the analysis of the contribution of the results of the SSC of the Russian Federation to the implementation of the priorities of scientific and technological development of the Russian Federation, critical technologies and technological platforms.
Keywords: State scientific centers of the Russian Federation, priorities of scientific and technological development of the Russian Federation, critical technologies, technological platforms.

Проведение исследований и разработок, направленных на реализацию приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, относится к числу основных функций научных организаций, имеющих статус государственных научных центров Российской Федерации (ГНЦ РФ).

Результаты деятельности 42-х ГНЦ РФ в 2018 году [1] свидетельствуют о существенном вкладе в реализацию всех приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, сформулированных в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Наибольшее количество ГНЦ РФ (около 35) напрямую связаны с реализацией приоритета научно-технологического развития Российской Федерации – *а) переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.*

В качестве примера следует отметить ФГУП «ВИАМ», где разработаны перспективные интерметаллидные сплавы на основе титана, алюминия, никеля, композиционных материалов на их основе, в том числе полученных методами аддитивных технологий. Проведены работы по созданию газотурбинных двигателей нового поколения с применением в основных деталях интерметаллидных сплавов, что позволит повысить энергетическую и весовую отдачу двигателей и их экономичность.

Деятельность не менее 25-ти ГНЦ РФ направлена на реализацию приоритета научно-технологического развития Российской Федерации – *б) переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии.*

ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» закончена разработка и утверждена Госкорпорацией «Росатом» «Программа совершенствования технологии водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР) и повышения ее потребительной привлекательности в условиях двухкомпонентной ядерной энергетической системы», предусматривающая реализацию трех основных проектов АЭС с ВВЭР:

- ***ближнесрочный проект*** – актуализация ВВЭР-ТОИ для улучшения конкурентоспособности с зарубежными проектами АР (Westinghouse), CAP (Китай) и APC (Южная Корея);
- ***среднесрочный проект*** – ВВЭР-С (реактор со спектральным регулированием) для предложения на рынок продукта с новыми свойствами;
- ***дальнесрочный проект*** – ВВЭР-СКД (реактор с закритическими параметрами теплоносителя), значительно превосходящий ВВЭР-С по коэффициенту полезного действия.

Порядка 20-ти ГНЦ РФ связаны с реализацией приоритета научно-технологического развития Российской Федерации – *в) переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных).*

ФГБУ «ГНЦ Институт иммунологии» создана технологическая платформа для разработки лекарственных средств, основанная на принципе интерференции РНК. Лекарственные препараты на основе малых интерферирующих РНК позволяют регулировать синтез конкретных белков в организме человека вплоть до полной блокады. Впервые в мире созданы оригинальные уникальные экспериментальные лабораторные модели (на животных). Создан принципиально новый класс препаратов для специфического лечения пыльцевой аллергии – аллерготропины.

Не менее 10-ти ГНЦ РФ выполняют работы в рамках реализацией приоритета научно-технологического развития Российской Федерации – *г) переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания.*

ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» – «ГосНИИгенетика» воссоздано отечественное производство кормовых добавок на основе микробного синтеза. Разработанная технология производства лизина внедрена на заводе премиксов №1. В 2018 году выпущено более 57 тыс. тонн лизин-сульфата. За разработку и промышленное освоение технологии микробного синтеза лизина (важнейшей кормовой добавки для животноводства на основе продуктов глубокой переработки зерна) в 2018 году присуждена Премия Правительства РФ в области науки и техники.

Не менее 25-ти ГНЦ РФ связаны с реализацией приоритета научно-технологического развития Российской Федерации – *д) противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства;*

ФГАНУ «ЦНИИРТК» разработана система оперативного мониторинга состояния лесов, озер и рек на базе стационарных камер и беспилотных летательных аппаратов. Продолжается разработка роботизированных комплексов контроля радиационной обстановки, создание средств вывода из эксплуатации ядерных реакторов.

Деятельность порядка 30-ти ГНЦ РФ направлена на реализацию приоритета научно-техно-

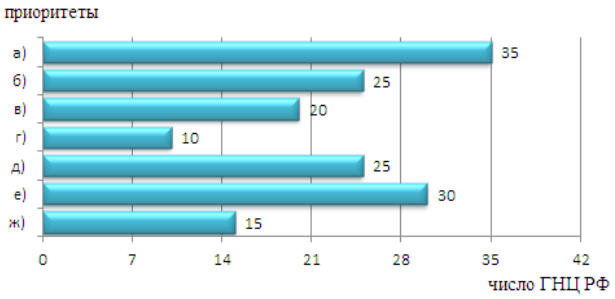


Рис. 1. Участие ГНЦ РФ в работах по приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации

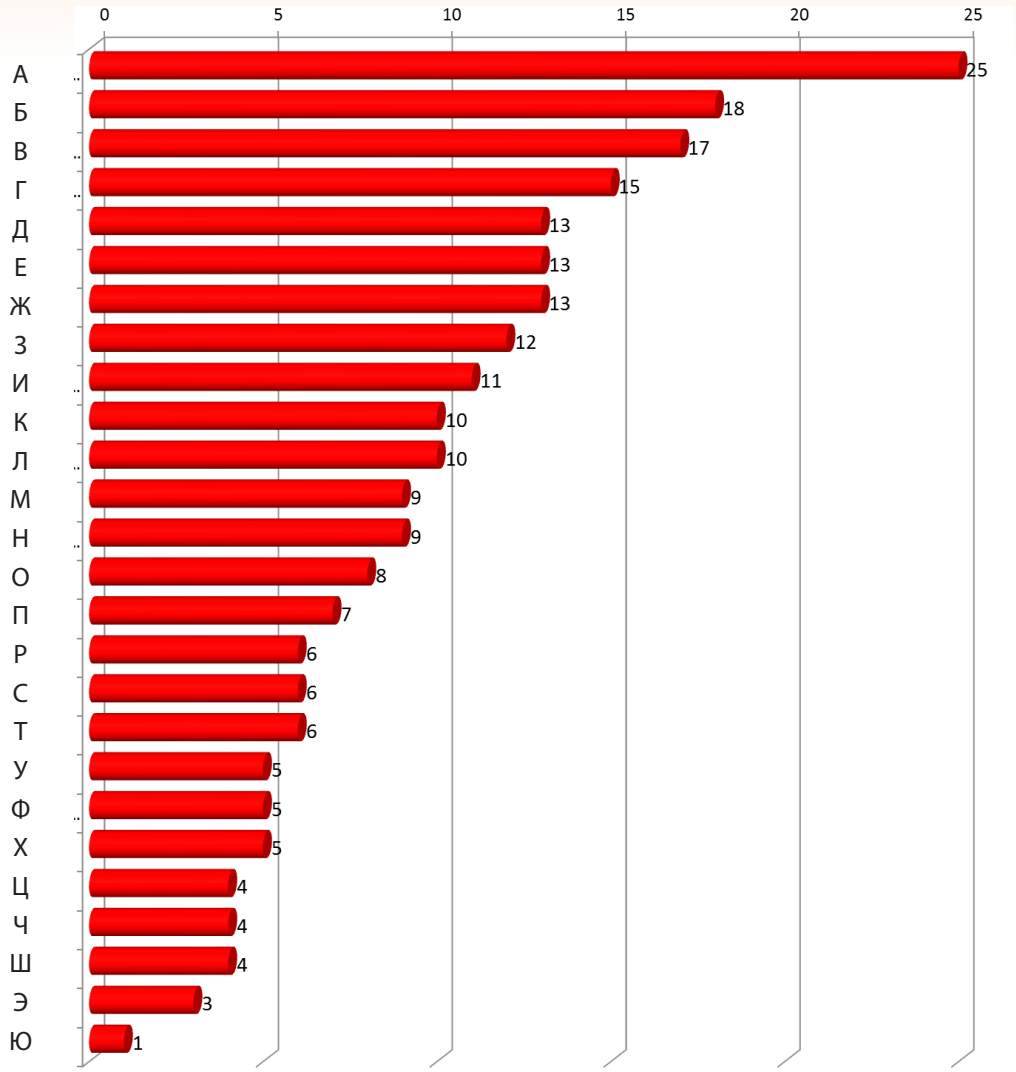


Рис. 2. Участие ГНЦ РФ в реализации критических технологий Российской Федерации

На *рисунке 2* обозначены критические технологии:

А – Базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники;

Б – Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения;

В – Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом;

Г – Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения;

Д – Технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов;

Е – Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов;

Ж – Технологии снижения потерь от социально значимых заболеваний;

З – Технологии информационных, управляющих, навигационных систем;

И – Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;

К – Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии;

Л – Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта;

М – Биомедицинские и ветеринарные технологии;

Н – Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии;

О – Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику;

П – Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств;

Р – Геномные, протеомные и постгеномные технологии;

С – Клеточные технологии;

Т – Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи;

У – Технологии биоинженерии;

Ф – Технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем;

Х – Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств;

Ц – Базовые технологии силовой электротехники;

Ч – Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе;

Ш – Технологии наноустройств и микросистемной техники;

Э – Биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии;

Ю – Технологии доступа к широкополосным мультимедийным услугам.

логического развития Российской Федерации – *е) связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики.*

ФГУП «НАМИ» проведены работы по созданию прототипов беспилотного электробуса особо малого класса для закрытых территорий, в рамках которого реализована инновационная концепция транспортной системы, принципиально меняющая подход к взаимодействию человека с информационной средой. Система управления движением по комплексным показателям с учетом российских условий эксплуатации находится на уровне мировых аналогов, а по ряду из них – превосходит мировой уровень.

Не менее 15-ти ГНЦ РФ может быть отнесено к числу организаций, деятельность которых направлена на реализацию приоритета научно-технологического развития Российской Федерации – *ж) возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития.*

Деятельность АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» характеризуется крупным успехом в области фундаментальных исследований: получило официальное признание научное открытие «Явление фазового превращения аморфного мелкодисперсного углерода в графен / графеноподобную структуру, интеркалированную цезием, в среде низкотемпературной газоразрядной цезиевой плазмы», сделанное в содружестве с коллегами из Санкт-Петербургского Горного университета. Практическое значение научного открытия обусловлено тем, что его реализация в термоэмиссионных технологиях плазменной электроэнергетики создает предпосылки разработки инновационных технологий и энергетических установок, имеющих высокую энергоэффективность, способствующих энергосбережению и обеспечению ресурсоспособности в ряде новых актуальных, практически важных национальных задачах России

Графическая интерпретация участия ГНЦ РФ в работах по указанным приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации представлена на *рисунке 1*.

Реализация приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации тесно связана с работами по ***критическим технологиям (КТ) и технологическим платформам (ТП).***

ГНЦ РФ продолжают научные исследования и разработки практически по всем *критическим технологиям (по 26 из 27,* кроме критической технологии «Компьютерное моделирование наноматериалов, наноустройств и нанотехнологий»), содержащимся в Перечне, утвержденном Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. №899 (*рисунок 2*).

Например, по КТ «Базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники» АО «Концерн «МПО – Гидроприбор» разрабатывает более двадцати крупных проектов. Все проекты объединены одной конечной целью – получение необходимого научно-технического задела для создания нового поколения комплексов морского подводного оружия и морской подводной техники специального и гражданского назначения.

По КТ «Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения» в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» создан опережающий научно-технический задел в обеспечение сохранения характеристик бронзовых гребных винтов для их защиты от электрохимической коррозии.

Научно-исследовательская деятельность ГНЦ РФ в рамках *технологических платформ является эффективным инструментом научно-технического и инновационного развития по созданию условий, способствующих взаимодействию науки, биз-*

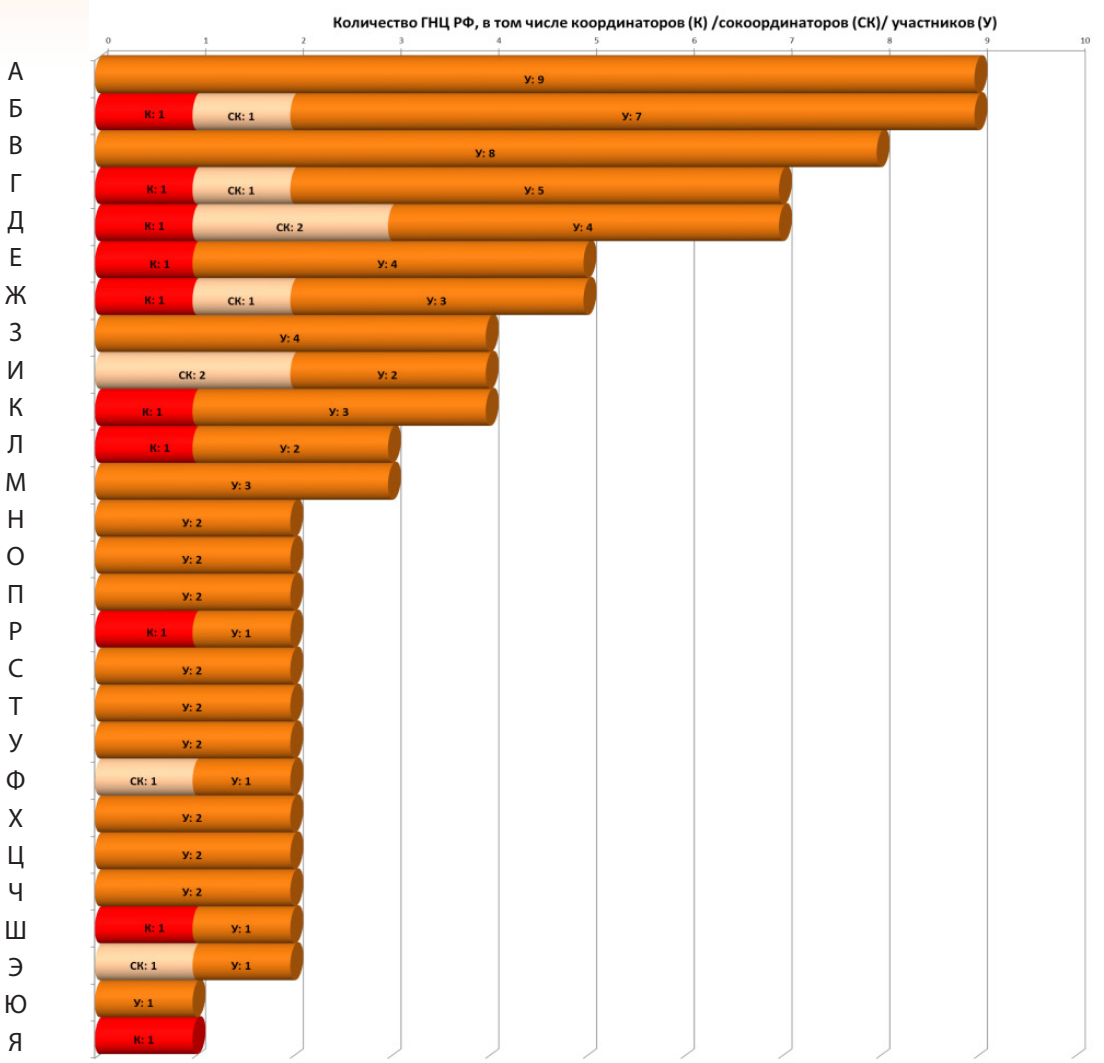


Рис. 3. Участие ГНЦ РФ в реализации технологических платформ Российской Федерации

На *рисунке 3* обозначены технологические платформы:

А – Радиационные технологии;

Б – Технологии мехатроники, встраиваемых систем управления, радиочастотной идентификации и роботостроение;

В – Медицина будущего;

Г – Авиационная мобильность и авиационные технологии;

Д – Материалы и технологии металлургии;

Е – Новые полимерные композиционные материалы и технологии;»

Ж – Освоение океана;

З – Замкнутый ядерно-топливный цикл с реакторами на быстрых нейтронах;

И – Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника;

К – Национальная космическая технологическая платформа;

Л – Биоэнергетика;

М – Технологии экологического развития;

Н – Биоиндустрия и биоресурсы - БиоТех2030;

О – Глубокая переработка углеводородных ресурсов;

П – Интеллектуальная энергетическая система России;

Р – Комплексная безопасность промышленности и энергетики;

С – Малая распределенная энергетика;

Т – Национальная информационная спутниковая система;

У – Национальная суперкомпьютерная технологическая платформа;

Ф – Перспективные технологии возобновляемой энергетики;

Х – СВЧ технологии;

Ц – Текстильная и легкая промышленность;

Ч – Технологии добычи и использования углеводородов;

Ш – Управляемый термоядерный синтез;

Э – Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности;

Ю – Моделирование и технологии эксплуатации высокотехнологичных систем;

Я – Экологически чистый транспорт «Зеленый автомобиль».

неса и государства. В 2018 году 39 ГНЦ РФ участвовали в реализации 27 из 36 (рисунок 3) действующих российских технологических платформ, при этом 7 ГНЦ РФ являются координаторами 10-ти ТП:

- ФГУП «ВИАМ» («Новые полимерные композиционные материалы» и «Материалы и технологии металлургии»);
- ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» («Комплексная безопасность промышленности и энергетики» и «Биоэнергетика»);
- ФГУП «ЦАГИ» («Авиационная мобильность и авиационные технологии» и «Национальная космическая технологическая платформа»),
- АО «КОНЦЕРН «МПО – ГИДРОПРИБОР» («Освоение океана»);
- ФГУП «НАМИ» («Экологически чистый транспорт «Зеленый автомобиль»);
- АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» («Управляемый термоядерный синтез и плазменные технологии»);
- АО «НПО «Орион» («Технологии мехатроники, встраиваемых систем управления, радиочастотной идентификации и роботостроение»).

Еще 7 ГНЦ РФ являются сокоординаторами 9-ти технологических платформ:

- АО «НПО «ЦНИИТМАШ» («Материалы и технологии металлургии», «Экологитчески чистая тепловая энергетика высокой эффективности» и «Перспективные технологии возобновляемой энергетики»);
- АО «НПО «Орион» («Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – Фотоника»);
- ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» («Авиационная мобильность и авиационные технологии»);
- ФГАНУ «ЦНИИРТК» («Технологии мехатроники, встраиваемых систем управления, радиочастотной идентификации и роботостроение»);
- ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» («Материалы и технологии металлургии»);
- АО «ЦТСС («Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – Фотоника»);
- АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» («Освоение океана»).

ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» является лидером по участию в работе технологических платформ – 18 ТП, включая 2 ТП с функциями координатора. АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» – участник 13 ТП.

Следует также отметить ФГБУ «ГНЦ Институт иммунологии» и ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, участвующих в 4 научных платформах медицинской науки Минздрава России.

Среди основных результатов работ в рамках технологических платформ можно выделить:

- в рамках ТП «Радиационные технологии» АО «ГНЦ НИИАР» выполнил основную задачу 2018 года – увеличение объема производства и поставок радиоизотопной продукции;
- в рамках ТП «Медицина будущего» ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна разработаны федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению лучевых поражений и комплекс информационных средств мониторинга здоровья и психофизиологического состояния (медико-психофизиологического регистра) работников организаций в медицинских организациях ФМБА России;
- в рамках ТП «Технологии мехатроники встраиваемых систем управления, радиочастотной идентификации и роботостроение» АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» завершены строительные работы по подготовке специализированных помещений для серийного производства чувствительных элементов микромеханических изделий. Проведена отработка блоков технологических операций по изготовлению чувствительного элемента микромеханического гироскопа.

В качестве заключения по результатам проведенного анализа деятельности ГНЦ России, в том числе и опубликованных в предыдущих номерах журнала [3-4], следует отметить их существенный вклад в научно-технологическое развитие Российской Федерации.

Литература

1. Содержательные отчеты о реализации функций 42-х государственных научных центров Российской Федерации. Отчетный период – 2018 год.
2. Медведев В.В., Поспехов Д.В., Аляева Ю.В. Роль государственных научных центров Российской Федерации в реализации национального проекта «Наука» // Известия Института инженерной физики, 2019. №4(54). С.124-127
3. Медведев В.В., Поспехов Д.В., Сытняк Ю.А. Роль государственных научных центров Российской Федерации в реализации государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» // Известия Института инженерной физики, 2020. №1(55). С.111-115.

AUTHORS

Artamonov Yuri N. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Technology in Management, Kotelniki Branch, Dubna University. Moscow region, Kotelniki, Silikat microdistrict, 35.

Badoev Vladimir A. Candidate of Technical Sciences, senior researcher. Associate professor of the department YVVU. Yaroslavl, Moscovky Avenue, 28.

Batenkov Kirill A. Doctor of Technical Sciences. Associate professor, employee. Academy of Federal Guard Service of Russian Federation. Oryol city, st. Instrument-making, d. 35.

Bondar Alexander T. Candidate of biological sciences. Senior researcher. The Institute of Cell Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Bukhanets Dmitriy I. Doctor of Technical Sciences. Scientific secretary, JSC RTI. Moscow, 8 March st., 10, block 1.

Butranov Andrey S. Adjunct. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Chernyshev Sergey E. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Metrologist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Dontsov Dmitry V. Deputy Head of NRU Federal State Unitary Enterprise «18 Central Research Institute» of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Moscow, Prospect Svobodny, 4.

Durnov Artem S. Job seeker. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Emelin Nikolay M. Honored Scientist of the RSFSR, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of FSBSE «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

Feldsherov Alexander N. Head of the Department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Gordeev Gennadiy A. Head of Division. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Ilyushin Mikhail V. Candidate of technical Sciences, employee. Academy of Federal Guard Service of Russian Federation. Oryol city, st. Instrument-making, d. 35.

Kabakov Vitaliy V. Senior lecturer of the Department №104. Moscow Aviation Institute (National Research University) Moscow, Volokolamsk highway, 4.

Katkov Oleg N. Candidate of Technical Sciences, employee. Academy of Federal Guard Service of Russian Federation. Oryol city, st. Instrument-making, d. 35.

Kochkarov Azret A. Candidate of physical and mathematical Sciences, associate professor. Associate professor of the department Financial University under the Government of the Russian Federation. Moscow, Leningradsky Avenue, 49.

Kolombet Valeriy A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Korkin Alexei G. Candidate of Technical Sciences, employee. Academy of Federal Guard Service of Russian Federation. Oryol city, st. Instrument-making, d. 35.

Korobkov Alexey A. Candidate of Technical Sciences, associate Professor, head of scientific and methodological Department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Kostyukov Alexey V. Metrology Engineer, Category I Metrological Service. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Kosyak Alexander I. Candidate of Technical Sciences, senior researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Kotov Nikolay I. Candidate of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Krasnova Yulia V. Chief technologist of medical and biological pilot production. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Kulik Maksim V. Head of the Department of planning of scientific work and training of scientific and scientific-pedagogical personnel of the Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Kuzin Evgeny N. Candidate of Technical Sciences. Senior Researcher. Military Academy of Strategic Rocket Forces. Moscow Region, Balashikha, Karbysheva str., 8.

Lesnykh Vadim N. Junior scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Medvedev Vadim V. Candidate of Economical Sciences. Director of the Department of Innovation and Advanced Research of The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Moscow, Tverskaya street, 11.

Minina Olga V. Student. Tula State University. Tula, Lenin Avenue, 92.

Murashov Anatoly A. Doctor of Technical Sciences, associate professor. Professor of the department YVVU. Yaroslavl, Moscovky Avenue, 28.

Myasin Nikolai I. Candidate of Technical Sciences, associate Professor, employee. Academy of Federal Guard Service of Russian Federation. Oryol city, st. Instrument-making, d. 35.

Parfentiev Anton A. Adjunct. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Ponomareva Alina S. Candidate of physical and mathematical Sciences, senior researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

AUTHORS

Popov Vasiliy V. Head of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Pospekhov Dmitry V. Head of the Department for Coordination and Support of Activities of State Scientific Centers of the Department of Innovations and Advanced Studies of The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Moscow, Tverskaya street, 11.

Prokhortsov Alexey V. Candidate of Technical Sciences, associate professor, associate professor of instrumentation and biotechnical Systems «PBS». Tula State University. Tula, Lenin Avenue, 92.

Red'kin Victor V. Honored worker of science and technology of Russia. Candidate of Technical Sciences. Senior researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Ryabov Pavel. A. Candidate of Pedagogical Sciences. Senior Researcher of FSBSI «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

Sal'ko Andrey E. Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the prize of the government of the Russian Federation in the field of science and technology. Deputy Director General for science and technology policy and inter-structural communications. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Sergeev Stepan S. Head of engineering calculation group, Public Joint Stock Company «Cryogenmash». Moscow region, Balashikha, Lenin Ave., 67.

Shaimardanov Albert M. Candidate of Technical Sciences. Lecturer. Military space Academy named after A.F. Mozhaiskiy. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Shimanov Sergey N. Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation. Honorary radio operator of the Russian Federation. Doctor of Technical Sciences, Professor. Leading Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Shmyrin Evgeny V. Candidate of Technical Sciences. Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Smirnov Dmitriy V. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, associate professor. Full member of the Academy of Engineering Sciences. Professor of the Department FSBEI of HE MAI (NRU). General director – First Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Smirnov Nikolay V. Head of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Smorodin Anatoly I. Honorary worker of science and technology of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor. Professor of the E-4 Department of the Moscow state technical University N. E. Bauman. Moscow, st. 2-nd Baumanskaya, d. 5.

Smurov Sergey V. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, professor. First Vice President of the Institute – Chief Designer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Soloviev Alexander E. Doctor of Technical Sciences, docent, deputy director of the institute, Tula State University. Tula, Lenin Avenue, 92.

Spiryagin Valery V. Lecturer, Strategic Rocket Forces Department. Moscow Aviation Institute (National Research University) Moscow, Volokolamsk highway, 4.

Sytnyak Yuriy A. Candidate of Technical Sciences. Head of the Scientific and Analytical Department of FSBSI «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

Timoshenko Aleksandr.V. Doctor of Technical Sciences, professor. Deputy general designer. JSC RTI. Moscow, 8 March st., 10, block 1.

Tsimbal Vladimir A. The honored worker of a science of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, professor. The leading scientific employee. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Tzar'kov Alexey N. Honoured scientist of Russia, Doctor of Technical Sciences, professor. President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Tzar'kova Elena A. CEO's councelor, JSC «Stoletika». Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Volkov Gennadiy G. Doctor of Physical and Mathematical sciences, professor. Senior Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Yashin Andrey V. Senior Specialist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

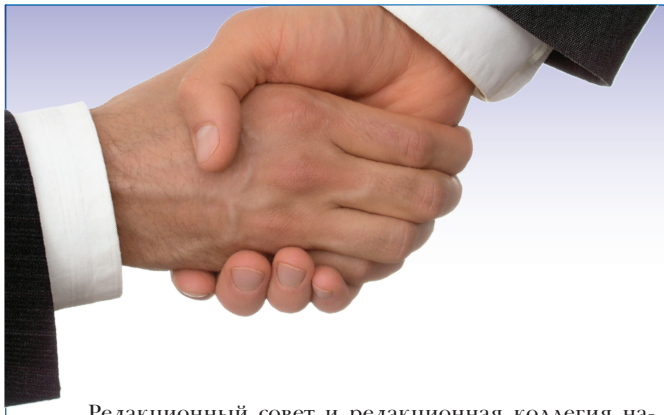
Zagarskih Vladimir I. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher. Military Academy of Strategic Rocket Forces. Moscow Region, Balashikha, Karbysheva str., 8.

Zakharov Vladimir L. Doctor of Military Sciences, professor. Full member of the Academy of Military Sciences. Professor. FSBEI of HE MAI (NRU). Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

Zelenevsky Anatoly V. Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of Department. CJSC «Firm of Scientific and Technical Center «KAMI». Moscow, Heroes Panfilovtsev st., 10.

Zelenevsky Vladimir V. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation Doctor of Technical Sciences, Professor, professor of the department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Zelenevsky Yury V. Doctor of Technical Sciences, associate professor, is at the disposal of the head. Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow Reg., Balashikha, Karbysheva st., 8.



ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

Редакционный совет и редакционная коллегия научно-технического журнала «Известия Института инженерной физики» придерживаются принятых международным сообществом принципов публикационной этики, отраженных, в частности, в рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).

Все статьи, предоставленные для публикации в журнале «Известия Института инженерной физики», проходят рецензирование на оригинальность, этичность и значимость. Соблюдение стандартов этического поведения важно для всех сторон, принимающих участие в публикации: авторов, редакторов журнала, рецензентов, издателя.

ОБЯЗАННОСТИ РЕДАКТОРА

Редактор в своей деятельности обязуется:

- постоянно совершенствовать журнал;
- следовать принципу свободы мнений;
- стремиться к удовлетворению потребностей читателей и авторов журнала;
- исключать влияние интересов бизнеса или политики на принятие решений об опубликовании материалов;
- принимать решения на основании принципа справедливости и беспристрастности, обеспечивать прозрачность редакционной деятельности на всех ее этапах;
- не раскрывать информацию о предоставленных материалах никому, кроме соответствующих авторов, рецензентов, других редакционных консультантов;
- оценивать рукописи исключительно по их научному содержанию;
- принимать решение о публикации материалов, руководствуясь следующими главными критериями: соответствие рукописи тематике журнала; актуальность, новизна и научная значимость представленной статьи; ясность изложения; достоверность результатов и законченность выводов. Качество исследования и его актуальность являются основой для решения о публикации;
- принимать меры для обеспечения высокого качества публикуемых материалов и защиты конфиденциальности персональной информации. При обнаружении содержательных, грамматических, стилистических и иных ошибок редакция обязуется предпринимать все меры для их устранения;
- обосновать свое решение в случае принятия или отклонения статьи;
- предоставить автору рецензируемого материала возможность для обоснования своей исследовательской позиции;
- поощрять дискуссии и предоставлять возможность для изложения точки зрения оппонентов;
- не использовать в собственных исследованиях информацию из неопубликованных материалов.

ОБЯЗАННОСТИ ЧЛЕНОВ РЕДСОВЕТА (РЕДКОЛЛЕГИИ)

Решение о публикации.

Редсовет (редколлегия) журнала «Известия Института инженерной физики» являются ответственными за принятие решения о том, какие статьи будут опубликованы в журнале. Решение принимается на основании представляемых на статью рецензий

Редсовет (редколлегия) придерживаются политики журнала и действуют в рамках законных требований, поскольку несут ответственность за нарушение авторских прав.

Конфиденциальность.

Рецензенты или кто-либо из сотрудников редакции не должны разглашать никакую информацию о предоставленной рукописи кому-либо, кроме самого автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, членов редакционного совета (коллегии) и издателя, поскольку она является конфиденциальной.

Раскрытие информации и конфликт интересов.

Неопубликованные материалы, находящиеся в предоставленной статье, не должны быть использованы в собственном исследовании научного редактора и рецензентов без специального письменного разрешения автора.

ОБЯЗАННОСТИ РЕЦЕНЗЕНТОВ

Рецензенты оказывают помощь членам редакционного совета (редколлегии) при принятии редакционного решения, а также помогают автору усовершенствовать работу.

Конфиденциальность.

Любые рукописи, полученные для рецензирования, должны восприниматься как конфиденциальные документы. Они не могут быть показаны либо обговорены с другими лицами, кроме тех, которые уполномочены редакцией.

Подтверждение источников.

Рецензенты должны идентифицировать опубликованную работу, которая не была процитирована автором. Любое утверждение, что наблюдение, происхождение либо аргумент ранее были сообщены, необходимо сопровождать соответствующей ссылкой. Рецензент должен также донести до сведения редакции о любой существенной схожести или частичном совпадении между рукописью, которая рецензируется, и другой уже опубликованной работой, которая ему знакома.

Раскрытие информации и конфликт интересов.

Приватная информация или идеи, возникшие в процессе рецензирования, должны остаться конфиденциальными и не могут быть использованы в личных интересах. Рецензент не должен рассматривать рукопись, если имеет место конфликт интересов в результате его конкурентных, партнерских либо других отношений или связей с кем-либо из авторов, компаний или организаций, связанных с материалом публикации.

ОБЯЗАННОСТИ АВТОРОВ

Оригинальность и плагиат.

Авторы должны гарантировать, что они написали полностью оригинальную работу. Если авторы использовали работу и/или слова других авторов, это должно быть соответственно указано и процитировано.

Доступ к данным и сохранность.

Автор должен быть готов обеспечить доступ к данным, связанными с материалом публикации, если таковой возможен. Во всяком случае, автор должен быть готов сохранять такие данные на протяжении разумного периода времени после опубликования.

Многоразовая, избыточная или конкурирующая публикация.

Автор не должен публиковать работы, которые описывают по сути одно и то же исследование, более чем один раз или более чем в одном журнале.

Предоставление рукописи более чем в один журнал одновременно означает неэтичное издательское поведение и является недопустимым.

Подтверждение источников.

Необходимо предоставлять должное подтверждение работ других авторов. Авторы должны процитировать публикации, которые имели значение при создании заявленной работы.

Авторство материала.

Авторство необходимо ограничить теми лицами, которые внесли ощутимый вклад в концепцию, проект, исполнение или интерпретацию заявленной работы. Всех, кто внес ощутимый вклад, следует внести в список соавторов.

Автор должен гарантировать, что список авторов содержит только действительных авторов и в него не внесены те, кто не имеет отношения к данной работе, а также то, что все соавторы ознакомились и одобрили окончательную версию статьи и дали согласие на ее публикацию.

Раскрытие информации и конфликт интересов.

Все авторы должны сообщать, если в их работе имеется финансовый либо другой конфликт интересов, который может повлиять на результаты или интерпретацию их рукописи.

Ошибки в опубликованных работах.

Если автор обнаружит существенную ошибку или неточность в своей опубликованной работе, его обязанность – незамедлительно сообщить об этом в редакцию журнала или издателю и сотрудничать с редакцией при исправлении ошибок.

НАРУШЕНИЯ

При возникновении ситуации, связанной с нарушением публикационной этики со стороны редактора, автора или рецензента, требуется ее обязательное рассмотрение. Редакционный совет (редколлегия) обязана потребовать разъяснения, без привлечения лиц, которые могут иметь конфликт интересов с одной из сторон.

Если материал, содержащий значительные неточности, был опубликован, он должен быть незамедлительно исправлен в форме, доступной для читателей и систем индексирования.

ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются статьи на русском языке. Рекомендуемый объем статьи – 0,2–0,4 п.л. (8000–16000 знаков).

Тексты должны быть представлены:

- в электронном виде (Word 2003). Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!
- на бумажном носителе формата А4.

Текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

Простые символы и формулы не набирать в математическом редакторе!

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:

- рубрика журнала (см. *Приложение 1*);
- УДК;
- название статьи с переводом на английский язык;
- имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (**Литература**) размещается в конце статьи.

После литературы помещаются:

- список ключевых слов, краткая аннотация (на русском и английском языках).

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):

- ФИО;
- ученая степень, ученое звание, должность и место работы с переводом на английский язык;
- адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

Обращаем особое внимание на:

- точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);
- выверенность статьи в компьютерном наборе;
- полное соответствие файла на электронном носителе и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

Приложение 1

РУБРИКАЦИЯ ЖУРНАЛА «Известия Института инженерной физики»

Постоянные рубрики

- **Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы.**
- **Радиотехника и связь.**
- **Информатика, вычислительная техника и управление.**

Разовые рубрики

- **Техника специального назначения.**
- **Инновационные проекты.**
- **Техническое регулирование.**
- **Профессиональное образование.**
- **Искусственный интеллект и робототехника.**
- **Медицина и фармацевтика.**
- **Диагностические системы.**
- **Научные обзоры. Научные рецензии. Отзывы.**

В соответствии с Решением Межведомственной комиссии РФ по защите государственной тайны №69 от 26 февраля 2001 г., требованиями законов №5485-1 «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г., №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27 июля 2006 г. статьи для публикации принимаются только при наличии экспертного заключения с разрешением на открытое опубликование.

INTERREGIONAL PUBLIC INSTITUTION
"INSTITUTE OF ENGINEERING PHYSICS"
(SCIENTIFIC, EDUCATIONAL AND INDUSTRIAL INSTITUTION)

CONTENTS

INSTRUMENT MAKING, METROLOGY AND INFORMATION–MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

Zakharov V.L., Smirnov D.V., Shaimardanov A.M.
Mathematical models of a pulse-width voltage stabilizer for a spacecraft's power supply system 2

Spiryagin V.V.
Application of the finite element method for assessing the reliability of roller compounds 5

Gordeev G.A., Popov V.V., Ponomareva A.S., Smirnov N.V.
Reliability analysis methods of electronic equipment subjected to vibration 10

Kotov N.I., Kostyukov A.V., Feldsherov A.N., Chernyshev S.E., Yashin A.V.
Metrological support of azimuth measuring instruments 16

Kabakov V.V.
Study of the zero signal of a laser gyroscope 20

Red'kin V.V., Smorodin A.I., Sergeev S.S., Kulik M.V., Korobkov A.A.
Mathematical model and calculation method for heat exchange equipment of the basic version of the structural-technological scheme of the adsorption-cryogenic installation 25

Kolombet V.A., Lesnykh V.N., Bondar A.T.
The manifestation of a universal period-tripling system in many days biorhythms 33

Prokhortsov A.V., Soloviev A.E., Minina O.V.
Hardware-software complex simulating work navigation systems on board high-precision munitions 39

Smurov S.V., Salko A.E., Zagarsky V.I., Kuzin E.N.
An alternative to increasing the noise immunity of aircraft onboard pyroautomatics 42

Butranov A.S.
Implementation of personal protective equipment for a soldier from the cold with an active electric heating system 46

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION

Zelenevsky V.V., Zelenevsky Y.V., Zelenevsky A.V., Shmyrin E.V., Durnov A.S.
Statistical and correlation analysis of address sequences in data channels with code compaction 51

Batenkov K.A., Ilyushin M.V., Katkov O.N., Korkin A.G., Myasin N.I.
Detection of dual-tone multi-frequency signaling signals when they are transmitted over packet-switched network 56

Dontsov D.V., Kosyak A.I., Shimanov S.N.
Transmission of requests in the dual-use mode of the request channel using the clocked random multiple access algorithm 61

Tsimbal V.A., Parfentiev A.A.
Mathematical modeling of processing QPSK broadband signals as frame synchronization signals by discrete analog and discrete matched filters 65

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

Timoshenko A.V., Murashov A.A., Kochkarov A.A., Badoev V.A., Bukhanets D.I.
A probabilistic approach to assessing the structural survivability of network spatially distributed monitoring systems 70

Tzar'kov A.N., Smurov S.V., Volkov G.G.
Ternary non-Abelian symmetries on the multidimensional space entanglement 74

MODERN MEDICINE AND PHARMACEUTICS

Tzar'kov A.N., Tzar'kova E.A., Krasnova Y.V.
The production technology of the innovative immunotropic drug «TAMERON» 82

SCIENTOMETRY

Artamonov Y.N.
Methodical approach to the identification of duplicating topics of projects 87

Emelin N.M., Ryabov P.A.
Science cities of the Southern Moscow Region: development dynamics and prospects 90

SCIENTIFIC REVIEWS. SCIENTIFIC CRITIQUES. COMMENTS

Medvedev V.V., Pospekhov D.V, Sytnyak Y.A.
The role of state scientific centers of the Russian Federation in the implementation of the priorities of scientific and technological development of the Russian Federation 95

AUTHORS 101

THE ETHICS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS 103

REQUIREMENTS TO AUTHORS 104

Учредитель и издатель – МОУ «ИИФ». Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а

Подписной индекс: 59190 по каталогу «Научно-технические издания» ОАО «Роспечать»

Адрес редакции: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
Тел: +7(4967)35-31-93, 35-13-71
Факс: +7(4967)35-44-20 http://www.iifrf.ru
E-mail: info@iifmail.ru

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-26650 от 20 декабря 2006 г.
Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ».
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
Подписано в печать 14.04.2020.
Дата выхода в свет 20.04.2020. Тираж 2000 экз. Цена свободная.
© Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики» (ИИФ), 2020

Межрегиональное
общественное
учреждение

«Институт инженерной физики»

(МОУ «ИИФ»)

научное, образовательное
и производственное
учреждение

142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный переулок, д. 1а
http://www.iifrf.ru e-mail:info@iifmail.ru
Тел.: +7(4967) 35-31-93, 35-13-71 факс: +7(4967) 35-44-20 моб.: +7 (499) 400-05-75