№ 1 +0
2020 [55]

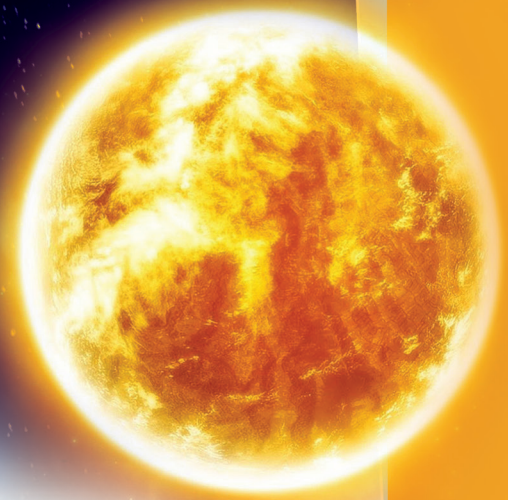
научно-технический журнал

Известия

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

8 февраля

День российской науки



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

В НОМЕРЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

2 Сахаров М.В., Конради Д.С.
Влияние интенсивного лазерного излучения на распознавание объектов оптико-электронными системами космических аппаратов

7 Захаров В.Л., Смирнов Д.В., Блажко А.К., Фуров А.Н.
Распознавание элементов сложной баллистической цели на конечном участке траектории полета на основе комплексирования селективных признаков

11 Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В.
Соответствие сумеречного зрения человека универсальной системе утраивающихся периодов

16 Смирнов В.А., Славгородский Д.А.
Влияние кинематических погрешностей на точность системы стабилизации и наведения линии визирования

19 Клишин Г.Ю.
Информационно-измерительная система для формирования навыков выполнения противоперегрузочных приемов летным составом государственной авиации

24 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

32 Смуров С.В., Салько А.Е., Загарских В.И., Кузин Е.Н.
Научно-методическое обоснование возможности создания предохранительно-пускового устройства детонационного принципа действия

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

37 Квашенников В.В.
Упрощенный алгоритм декодирования кода Рида-Соломона

42 Атакищев О.И., Шиленков Е.А., Фролов С.Н., Титенко Е.А., Щитов А.Н., Зарубин Д.М.
Автономная интеллектуальная группировка малых космических аппаратов – космический эксперимент «Радиоскаф-5»

49 Поздняков А.Д., Поздняков В.А., Калюжный А.А.
Восстановление тестовой импульсной последовательности в шумах при когерентной стробирующей дискретизации

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

54 Карулин В.П., Аляева Ю.В.
Системные механизмы оценки соответствия научных изданий предъявляемым требованиям

58 Майструк А.В., Сюрсин Е.С., Верещагин А.С., Коннов С.А.
Физико-статистическая модель прогнозирования потока отказов на кабельных линиях напряжением 6(10) кВ

64 Гусеница Я.Н., Алёшин Е.Н., Воротягин В.Н., Коробков АА., Якимова И.А.
Комбинированное управление стабилизацией углового положения космического аппарата с активным координатно-параметрическим демпфированием упругих элементов конструкции

69 Фролов П.В., Галуза Е.А., Мазин А.В., Вершинин Е.В.
Исследование методов распределенного хранения сигнатур и признаков сетевых атак в IDS

74 Волков Г.Г., Масликов А.А., Смуров С.В., Царьков А.Н.
Тернарные симметрии о невидимом свете и темной материи Вселенной

84 Павлов А.А., Корсунский Д.А., Волков В.З.
Структурно-кодовая защита устройств обработки информации

НАУКОМЕТРИЯ

92 Аляева Ю.В., Емелин Н.М.
Метод определения рационального количества научных изданий при формировании Перечня рецензируемых научных изданий

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

97 Куприянов А.И.
Развитие навыков пользователей криптографических средств защиты информации в телекоммуникационных системах

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

100 Борисенков И.Л., Помазан Ю.В., Тужиков Е.З., Царьков А.Н., Салько А.Е.
Создание опережающего научно-технического задела для перспективного вооружения

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ

111 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»

116 СОБЫТИЯ

117 AUTHORS

119 ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

120 ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ Института инженерной физики
№1 (55) 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
№ 1 2020
55

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

Андрей Евгеньевич Салько

Заместитель генерального директора
МОУ «ИИФ»
по научно-технической политике и
межструктурным коммуникациям,
доктор технических наук, профессор

На заседании Совета по науке и образованию Президент Российской Федерации В.В. Путин особо подчеркнул: «В мире происходят кардинальные технологические перемены. По своему масштабу они сопоставимы с эпохами промышленных революций и научных открытий, которые радикально меняли уклад жизни людей на нашей планете. Очевидно, что сейчас лидером станет тот, кто будет обладать собственными технологиями, знаниями, компетенциями. Они становятся важнейшим ресурсом развития, обеспечивают суверенитет страны без всякого преувеличения».

При этом глава государства считает, что ключевым принципом государственной поддержки научной деятельности должен стать конкретный практический результат, создание конкурентноспособных продуктов и прорывных технологий, прежде всего в областях цифровой экономики и искусственного интеллекта. И это накладывает особую ответственность на научно-исследовательский комплекс страны и ее отдельных представителей.

Отрадно отметить, что многие годы Институт инженерной физики, как одно из крупнейших инновационных научно-исследовательских, образовательных и производственных учреждений Южного Подмосковья, достойно осуществляет свою деятельность по созданию современных образцов ВВСТ, изделий народнохозяйственного назначения в соответствии со Стратегией научно-технологического развития России.

В результате проведения фундаментальных, прикладных, прогнозных и поисковых исследований высокопрофессиональному коллективу ИИФ (26 докторов наук, 102 кандидата наук, 25 профессоров, 41 заслуженных деятелей науки и почетных работников, 4 лауреата Государственной премии) удалось осуществить ряд инновационных разработок, не имеющих мировых аналогов, успешно реализованных в конкретных изделиях.

Конкурентными преимуществами Института являются наличие компетенций в более чем 40 направлениях исследований и система полного цикла создания изделий от эскизного проекта до производства, гарантийного, сервисного обслуживания и авторского надзора.

Симбиоз всех видов деятельности ИИФ позволил создать и предложить потребителям: интегрированную инерциально-спутниковую информационную навигационную систему; автоматическую систему определения астрономического азимута; мобильный интегрированный комплекс оперативной подготовки навигационно-геодезических и цифровых картографических данных; специальные средства экстренного гарантированного уничтожения информации с оптических, магнитооптических и твердотельных электронных носителей; аппаратно-программные проксипреобразователи технологического уровня управления средствами связи по протоколу SNMP V.1, V.2; охранные извещатели вибрационного типа серии «TRAVEPS»; малогабаритные автономные средства подавления очага возгорания в замкнутом объеме (изделие «Огнеборец»); автономные системы электрообогрева; серию защищенных компьютеров «Форт».

ИИФ оказывает услуги по мониторингу, контролю и охране подвижных объектов, экспертизе промышленной безопасности, технической диагностике сложных конструкций, проведению совместных квантовых исследований на уникальном конфокальном микроскопе.

И все это благодаря кропотливой работе наших сотрудников: ученых, конструкторов и инженеров. Спасибо за ваш труд! Примите самые искренние поздравления с профессиональным праздником – Днем российской науки!

УДК 629.7.066.1

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

THE EFFECT OF INTENSE LASER RADIATION ON THE RECOGNITION OF OBJECTS BY OPTOELECTRONIC SYSTEMS OF SPACECRAFT

Михаил Викторович Сахаров
доктор технических наук, профессор
начальник кафедры
ВА РВСН имени Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл.,
г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8

Дмитрий Сергеевич Конради
адъюнкт
ВА РВСН имени Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл.,
г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: +7(926)890-44-37
E-mail: svo41@mail.ru

Аннотация

В статье проведена оценка влияния помех, возникающих при попадании оптико-электронной системы космического аппарата в поле интенсивного лазерного излучения (ЛИ) и искажающих формируемое ею изображение, на решение задач по распознаванию объектов. Приводятся результаты вычислительного эксперимента, полученные с использованием корреляционных алгоритмов библиотеки технического зрения OpenCV, и анализ выявленных закономерностей.

Ключевые слова: система технического зрения, распознавание, засветка, лазерное излучение.

Summary

The article assesses the influence of interference arising from the hit of the optical-electronic system of the spacecraft in the field of intense LEE and distorting the image formed by it, to solve the problems of object recognition. The results of the computational experiment obtained using the correlation algorithms of the OpenCV vision library and the analysis of the revealed regularities are presented.

Keywords: vision system, recognition, illumination, laser radiation.

Одной из важных областей применения космических аппаратов (КА) является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), для чего они оснащаются малогабаритными бортовыми оптико-электронными системами (ОЭС). В настоящее время в мире на различных стадиях разработки и реализации находится несколько десятков программ ДЗЗ из космоса, к которым проявляют интерес широкий круг потребителей [1]. Орбитальная группировка КА, оснащенных ОЭС, размещается на орбитах со специально подобранными параметрами и выполняет непрерывную съемку земной поверхности с различными целями. Среди решаемых ОЭС информационных задач особой актуальностью характеризуется распознавание объектов, к числу которых относятся технологические, сельскохозяйственные, природные образования, элементы рельефа местности и т.п.

Штатному функционированию систем технического зрения (СТЗ) КА могут препятствовать различные факторы, среди которых выделим попадание в поле интенсивного лазерного излучения (ЛИ). Такой сценарий возможен по причине применения лазерных технологий в интересах освоения околоземного пространства. Так, например, лазеры используются в тех же системах ДЗЗ и мониторинга околоземного космического пространства. Кроме того, к настоящему времени создана и функционирует сеть специальных лазерных станций, входящих в международную систему International Laser Ranging Service (ILRS) по контролю орбит околоземных КА и космического мусора [2]. Заметим, что мощность применяемых в данных системах лазеров находится в диапазоне от единиц ватт до нескольких киловатт.

Опасность попадания интенсивного ЛИ на

входную апертуру ОЭС КА заключается в том, что оно фокусируется в плоскости матричного фотоприемного устройства (МФП), наиболее чувствительного к такому воздействию. В результате этого при малых значениях энергии может иметь место засветка части МФП, искажающая получаемое изображение, а при больших – обратимое или необратимое нарушение его чувствительности, способное существенно снизить эффективность использования ОЭС [3].

Вопросам экспериментальных исследований влияния ЛИ на функционирование МФП различных типов и диапазонов посвящен ряд работ [4-9], в которых приводятся результаты, позволяющие определять пороговые для различных эффектов значения параметров ЛИ. Созданы и верифицированы имитационные модели, позволяющие оценить эти параметры теоретически [10, 11]. Однако целенаправленные исследования по оценке влияния помех, вызванных попаданием ОЭС в поле интенсивного ЛИ, на функционирование СТЗ, реализующих конкретные алгоритмы распознавания, не проводились.

Целью данной работы является оценка влияния помех, вызванных попаданием ОЭС в поле интенсивного ЛИ и искажающих формируемое изображение, на решение задач по распознаванию объектов с использованием корреляционных алгоритмов, реализованных в библиотеке алгоритмов СТЗ OpenCV.

Современная аппаратура наблюдения, размещенная на спутниках, представляет собой, как правило, много- или гиперспектральную ОЭС. Это обусловлено необходимостью получения наиболее полной информации о наблюдаемом объекте с одновременным определением его местоположения, геометрических и спектральных характеристик, для чего используется многомерное спектральное изображение, называемое гиперкубом данных [12]. Оно может отображаться как с использованием 8-битной шкалы оттенков серого, так и 24-битной шкалы, основанной на смешении оттенков трех основных цветов (красного, зеленого, синего). Структурно многоспектральное изображение возможно представить как наложение нескольких изображений с получением результата, содержащего выявленные для каждого канала особенности. Пример такого наложения приведен на *рисунке 1*.

Спектральные каналы в оптических системах КА формируются следующим образом:

- пучок света, поступивший на входную апертуру ОЭС, делится на несколько лучей с помощью призм и/или дифракционных решеток;
- каждый луч, проходя свой оптический путь, идет через спектральный фильтр, пропускающий только необходимую для детектора часть спектра.

Однако в настоящее время на околоземных орбитах функционируют КА, осуществляющие съемку преимущественно только в инфракрасной области. В таком случае имеется лишь один канал для формирования изображения наблюдаемого объекта, что при попадании ОЭС в поле интенсивного ЛИ, вызывающем нарушение нормального ее функционирования, существенно затрудняет, а зачастую и исключает возможность восстановления компенсацией недостающей информации, получаемой за счет наличия других спектральных диапазонов.

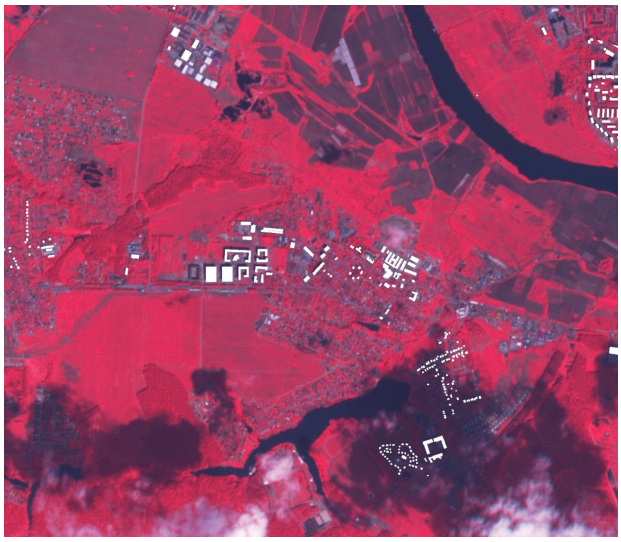


Рис. 1. Результат наложения изображений в зеленом, красном, ближнем инфракрасном диапазонах спектра и маски зданий

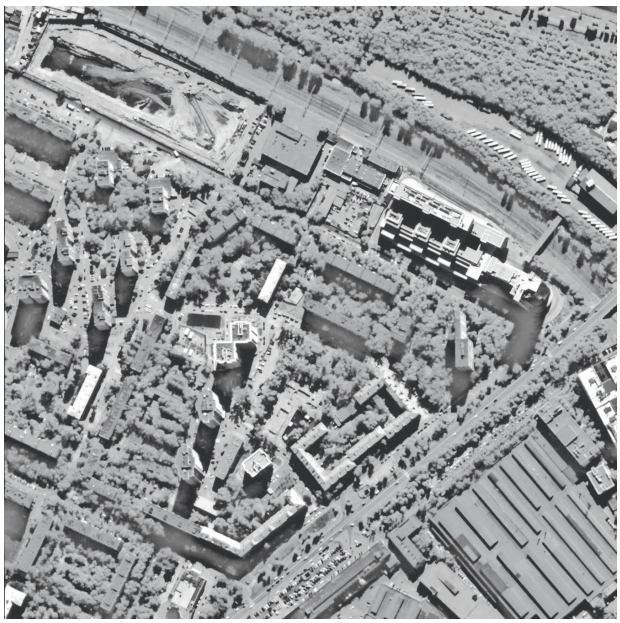


Рис. 2. Снимок городской местности, полученный с КА для среднего инфракрасного диапазона длин волн

Для оценки влияния попадания ОЭС в поле интенсивного ЛИ проведем вычислительный эксперимент, основанный на имитационном моделировании. Предположим, что на вход алгоритма обработки информации подается снимок городской местности, полученный в среднем инфракрасном диапазоне (*рисунок 2*).

При попадании ОЭС в поле интенсивного ЛИ возможны следующие эффекты:

1) засветка всей поверхности МФП, в результате чего построение изображения наблюдаемого объекта оказывается невозможным (наиболее вероятен при высоких плотностях потока ЛИ и/или длительном пребывании ОЭС в его поле);

2) засветка части пикселей МФП, что в случае искажения изображения наблюдаемого объекта может существенно повлиять на его распознавание (проявляется при низких плотностях потока ЛИ и/или кратковременном пребывании ОЭС в его поле).

С целью оценки последствий проявления описанных эффектов на решение задачи распознавания объектов воспользуемся известными алгоритмами, реализованными в том числе на орбитальных КА. К числу наиболее распространенной и нашедшей широкое применение в науке и технике, является библиотека технического зрения OpenCV.

Известно, что получаемый спутниковый снимок изначально имеет некоторые повреждения, вызванные браком при изготовлении МФП и проявлением шумов различной природы. С целью их устранения применяются морфологические преобразования, однако при этом возможно ухудшение резкости. Сопоставляя размер отображаемого объекта со степенью зашумленности, определяется наиболее подходящий вид преобразований, позволяющий восстановить изображение с минимальной потерей качества. Так, например, засветки или брак размером в 1-3 пикселя устраняются программным способом и существенного влияния на функционирование СТЗ не оказывают.

Распознавание объектов на полученном отфильтрованном изображении производится методом сравнения его с заданным эталоном, который создается с условием его идентичности распознаваемой цели и максимальной приближенностью условий получения его изображения к условиям получения исследуемого снимка. В OpenCV имеется несколько корреляционных алгоритмов, реализующих процедуру распознавания. Их расчетные формулы, для которых

$I(x,y)$ – исходное изображение,

$T(x',y')$ – изображение шаблона,

приведены ниже [13]:

1) I метод

$$R(x,y)=\sum_{x',y'}\left(T(x',y')-I(x+x',y+y')\right)^2, \quad (1)$$

2) II метод

$$R(x,y)=\frac{\sum_{x',y'}\left(T(x',y')-I(x+x',y+y')\right)^2}{\sqrt{\sum_{x',y'}T(x',y')^2\cdot\sum_{x',y'}I(x+x',y+y')^2}}, \quad (2)$$

3) III метод

$$R(x,y)=\sum_{x',y'}\left(T(x',y')\cdot I(x+x',y+y')\right), \quad (3)$$

4) IV метод

$$R(x,y)=\frac{\sum_{x',y'}\left(T(x',y')\cdot I(x+x',y+y')\right)}{\sqrt{\sum_{x',y'}\left(T(x',y')^2\cdot\sum_{x',y'}I(x+x',y+y')^2\right)}}, \quad (4)$$

5) V метод

$$R(x,y)=\sum_{x',y'}\left(T'(x',y')\cdot I'(x+x',y+y')\right), \quad (5)$$

где

$$T'(x',y')=T(x',y')-\frac{1}{wh}\cdot\sum_{x'',y''}T(x'',y''), \quad (6)$$

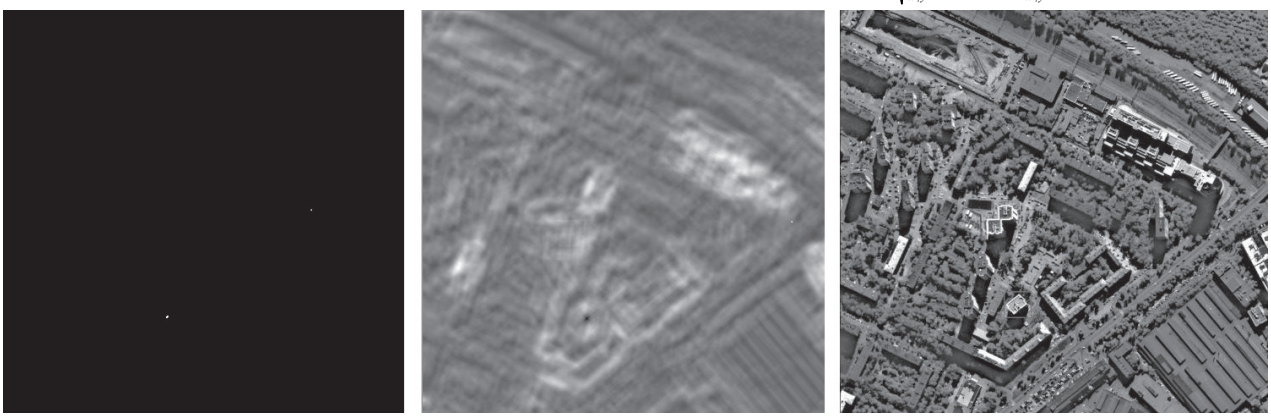
$$I'(x+x',y+y')=I(x+x',y+y')-\frac{1}{wh}\cdot\sum_{x'',y''}I(x+x'',y+y''), \quad (7)$$

w – ширина шаблона;

h – длина шаблона.

6) VI метод

$$R(x,y)=\frac{\sum_{x',y'}\left(T'(x',y')\cdot I'(x+x',y+y')\right)}{\sqrt{\sum_{x',y'}T'(x',y')^2\cdot\sum_{x',y'}I'(x+x',y+y')^2}}. \quad (8)$$



а) б) в)

Рис. 3. Результирующие значения корреляции:
а) максимальное, б) минимальное, в) местоположение обнаруженного объекта на изображении

Окончательное нахождение местоположения объекта на изображении определяется результирующими значениями максимумов при обработке методами I, III, V и значениями минимумов при обработке методами II, IV, VI. Графические представления этих результирующих значений для объекта распознавания, являющегося зданием, показаны на *рисунке 3*.

Для проведения вычислительного эксперимента зададимся следующими исходными данными:

- в СТЗ формируется изображение, полученное в спектральном диапазоне 3-5 мкм;
- пространственное разрешение получаемого снимка составляет три метра;
- имеется шаблон объекта для осуществления его распознавания СТЗ, полученный в условиях отсутствия помех;
- результат воздействия ЛИ на изображении представлен белым пятном, имитирующим засветку.

В качестве допущений и ограничений принято следующее:

Рис. 4. Пример неверного распознавания объекта по шаблону при засветке порогового числа пикселей, участвующего в построении его изображения

- шаблон идеально коррелирует с распознаваемым объектом на формируемом изображении (является его фрагментом);
- повреждения получаемого изображения, возникающие за счет шумов и дефектов МФП, полностью устраняются при фильтрации.

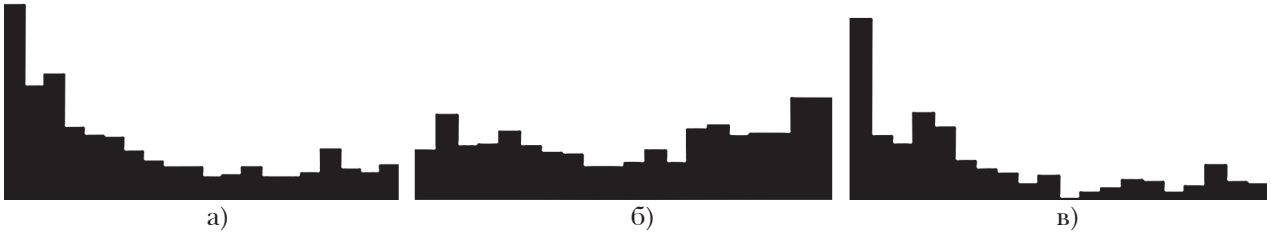
Результаты проведенных исследований

В случае засветки некоторого порогового числа пикселей, участвующих в построении изображения распознаваемого объекта, результат работы алгоритма оказывается непредсказуем, что демонстрирует *рисунок 4*. На нем окружностью обведена область засветки, возникшей в результате попадания ОЭС в поле интенсивного ЛИ, прямоугольником – неверно обнаруженная в результате работы алгоритма область изображения.

В СТЗ изображение представляется в виде матриц с количеством строк и столбцов, соответствующих количеству ячеек изображения по горизонтали и вертикали, а считываемые в ячейках матрицы цифровые значения соответствуют значениям яркости изображения в этих пикселях. При работе корреляционных алгоритмов в случае засветки части пикселей, участвующих в построении изображения распознаваемого объекта, происходит поиск такой же по размерам области изображения, что и эталонное, и максимально близкой по наборам яркости пикселей в ней.

Это может быть проиллюстрировано *рисунком 5*, на котором показаны примеры гистограмм яркостей объектов и эталона с уровнем квантования 20, взятым для большей наглядности.

Суммарные значения гистограмм яркостей для эталона и искаженного изображения объекта отличаются на 33,5%, а для эталона и неверно обнаруженного участка изображения – 7,85%, поэтому и происходит его ошибочное распознавание. Следует заметить, что при использовании корреляционных алгоритмов устанавливается пороговый минимум несовпадения эталона с распознаваемым объектом, в случае превышения которого объект не распознается.



а) б) в)

Рис. 5. Гистограммы яркостей: а) эталонного изображения, б) найденного в результате работы алгоритма при искажении части формируемого изображения, в) искаженного изображения объекта

Вывод

Анализ результатов проведенного вычислительного эксперимента показал, что при засветках размером 1-3 пикселя работа СТЗ не нарушается, так как применяемые для фильтрации получаемого изображения морфологические преобразования полностью компенсируют подобные помехи. Частичная (в данном случае порядка 40%) засветка пикселей, участвующих в построении распознаваемого объекта, приводит:

а) к неверному распознаванию другого участка изображения при непревышении порогового минимума корреляции эталона с целью;

б) к необнаружению объекта при превышении порогового минимума.

Вероятность распознавания объекта зависит от нескольких факторов, среди которых фоноцелевая обстановка и наличие шаблонов с частично поврежденным изображением объекта. Например, распознавание водоема на фоне песков пустыни возможно даже при повреждении 95% пикселей, отображающих его. Поэтому выявление закономерностей распознавания цели от доли засвеченных ячеек ее изображения возможно только для конкретного случая.

Направлением дальнейших исследований верификация результатов вычислительного эксперимента в условиях реального функционирования СТЗ.

Литература

1. Мальцев Г.Н., Кунгурцев В.В., Козинов И.А. Дистанционное зондирование земли на основе кластера малых космических аппаратов многоспектрального наблюдения // Известия вузов. Приборостроение, 2009. Т. 52. № 4. С. 16-22.

2. Асанов С.В., Егоров М.С., Игнатьев А.Б., Морозов В.В., Резунков Ю.А., Степанов В.В. Нелинейность и инерционность отклика матричных ИК фотоприемников на ЛИ // Оптический журнал, 2014. Т. 81. № 9. С. 62-68.

3. Сахаров М.В., Астраускас Й.И. Оценка эффективности решения информационных задач оптико-электронной системой «смотрящего» типа с ИК МФПУ в поле ЛИ // Прикладная физика, 2014. № 1. С. 78-82.

4. Стафеев В.И., Бурлаков И.Д., Болтарь К.О., Средин В.Г., Сахаров М.В., Суховей С.Б. Экспериментальное исследование оптической стойкости матрицы «смотрящего» типа на основе CdxHg1-xTe к воздействию ЛИ с длиной волны 10,6 мкм // Известия вузов. Материалы электронной техники, 2007. № 2. С. 31.

5. Сахаров М.В., Средин В.Г. и др. Устойчивость монокристаллов КРТ при определении теплопроводности методом лазерной вспышки // Материаловедение, 2015. № 4. С. 12-18.

6. Сахаров М.В., Средин В.Г. и др. Исследование фазовых превращений в системе твердых растворов Cd-Hg-Te в поле мощного ЛИ // Материаловедение, 2015. № 5. С. 3-10.

7. Сахаров М.В., Средин В.Г., Чишко В.Ф., Автин А.А. Оценка условий возникновения необратимых последствий воздействия импульсного ЛИ среднего ИК диапазона на InSb МФП // Труды НПО им. Лавочкина, 2016. № 4. С. 103-109.

8. Сахаров М.В., Средин В.Г., Чишко В.Ф., Астраускас Й.И. и др. Потеря чувствительности фотодиодами на основе InSb в поле импульсного ЛИ / В сб. VII Межд. конф. «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов». МИСИСС, 2017. С. 222.

9. Сахаров М.В., Средин В.Г., Куликов В.Б., Васильев Г.К., Бравый Б.Г. Исследования матричных фотоприемников на структурах с квантовыми ямами в условиях интенсивного оптического освещения // Известия ВУЗов. Материалы электронной техники, 2011. № 1. С. 25-29.

10. Средин В.Г., Сахаров М.В. Математическая модель воздействия ЛИ на многослойную полупроводниковую фоточувствительную структуру // Прикладная физика, 2011. № 2. С. 5-11.

11. Сахаров М.В., Средин В.Г., Астраускас Й.И., Васильева Ю.В. Трехмерная математическая модель воздействия ЛИ на МФП на основе HgxCd1-xTe // Известия ВУЗов. Физика, 2013. Т. 56. № 9-2. С. 98-101.

12. Мальцев Г.Н., Козинов И.А. Создание и использование баз данных спектральных образов для решения задач тематической обработки гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли // Информация и космос, 2015. № 1. С. 24-31.

13. Чабан Л.Н. Методы и алгоритмы распознавания образов в автоматизированном дешифрировании данных дистанционного зондирования. Учебное пособие. М.: МИИГАиК, 2016. 77 с.

УДК 531.55

РАСПОЗНАВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНОЙ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ЦЕЛИ НА КОНЕЧНОМ УЧАСТКЕ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ СЕЛЕКТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ

RECOGNITION OF ELEMENTS OF COMPLEX BALLISTIC AIM ON THE ULTIMATE SECTION OF THE FLIGHT TRAJECTORY ON THE BASIS OF COMBINING SELECTIVE TRAITS

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

Александр Кириллович Блажко
кандидат технических наук, доцент
старший преподаватель кафедры
ВКА имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7 (812) 347-95-39

Дмитрий Вячеславович Смирнов
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, доцент
действительный член АИН
профессор кафедры ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Генеральный директор –
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

Андрей Николаевич Фуров
кандидат технических наук
преподаватель
ВА РВСН им. Петра Великого
(филиал в г. Серпухове)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.:+7(4967)35-31-93

Аннотация

В статье рассмотрен вопрос разработки методики распознавания элементов сложной баллистической цели (СБЦ) на конечном участке траектории полета (800-60 км) на основе комплексирования селективных признаков (СП). Показано, что с одной стороны, на разных этапах конечного участка траектории полета СП имеют различную информативность, с другой – получение и использование их полной совокупности на борту летательного аппарата (ЛА) во всем оптическом диапазоне затруднительно. Поэтому следует ограничить объем исходных сигнальных данных уровнем достаточности.

Ключевые слова: сложная баллистическая цель, комплексирование, селективные признаки.

Summary

The article describes of developing a methodology for recognizing elements of complex ballistic aim (CBA) on the ultimate section of the flight trajectory (800-60 km) on the basis of combining selective traits (ST). It is shown that, on the one hand, ST at different stages of the ultimate section of the flight trajectory path have different information value, on the other hand, it is difficult to obtain and use their complete set on board an flying apparatus in the entire optical range. Therefore, the amount of initial signal data should be limited to the level of sufficiency.

Keywords: complex ballistic aim, combining, selective traits.

Введение

В настоящее время в бортовых информационно-измерительных комплексах ЛА для решения задач селекции элементов СБЦ целесообразно использование пассивных оптических локаторов, состоящих из одного или нескольких оптико-электронных средств (ОЭС) и вычислительного устройства, предназначенного для обработки полученной с их помощью первичной измерительной информации. Основными достоинствами таких средств являются: высокая точность измерения координат цели и ее излучательных характеристик (интегральных и спектральных), выгодные массогабаритные характеристики, сравнительно небольшое энергопотребление

Проведенные исследования [1-3] показывают, что при селекции элементов СБЦ в качестве признаков селекции могут использоваться спектрально-энергетические (СЭ) СП, представляю-

щие собой величины, пропорциональные силе оптического излучения наблюдаемых объектов в отдельных спектральных поддиапазонах, и баллистические селективные признаки, представляющие собой результаты измерения положения центров масс и скорости элементов СБЦ. Кроме того, в ряде организаций проводятся работы по расширению базы данных о сигнальных характеристиках элементов СБЦ. В частности, получены оценки люминесценции материалов ракетно-космической техники (РКТ) под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца. Имеются данные оценок периода и амплитуды оптических сигналов от разнородных элементов СБЦ, которые являются эффективным признаком селекции.

Состав вектора признаков, обеспечивающий максимальную вероятность правильного решения задачи селекции, зависит от параметров текущей операционной ситуации, которая характеризуется временем селекции, астрономо-баллистическими условиями наблюдения элементов СБЦ, определяемыми параметрами взаимного пространственного расположения и ориентацию ЛА, элементов СБЦ и естественных источников излучении, а также оптико-геометрической структурой (ОГС) элементов СБЦ, то есть пространственным расположением частей конструкции элементов СБЦ, тепловым режимом и оптическими свойствами их покрытий.

Вышеперечисленные признаки имеют различную информативность на различных участках конечной траектории. Однако получить и использовать их полную совокупность во всем оптическом диапазоне на борту ЛА в условиях ограничений вычислительных средств и времени затруднительно. Поэтому следует ограничить объем исходных сигнальных данных уровнем достаточности.

Методика распознавания элементов сложной баллистической цели на основе комплексирования селективных признаков

Будем считать, что селекция осуществляется при движении СБЦ на конечном участке траектории полета на основе баллистических и СЭ СП.

Ввиду изменения информативности различных типов СП в процессе этого движения, селекция, с целью повышения достоверности, на каждом этапе движения осуществляется по наиболее информативным СП.

На первом этапе исходными данными для оценивания параметров априорного распределения вектора набора баллистических СП являются:

- данные обработки радиолокационной информации с целью построения единой опорной траектории – траектории геометрического центра СБЦ, которая достаточно точно характеризует кинематические свойства СБЦ и будет использована для коррекции параметров траектории и ее элементов при расхождении фильтров сопровождения [4];
- математическое ожидание и ковариационную матрицу вектора состояния центров масс элементов СБЦ в инерциальном базисе в момент включения ОЭС;
- результаты решения навигационной задачи на борту ЛА в момент включения ОЭС и ковариационную матрицу погрешностей результатов решения навигационной задачи;
- инструментальные погрешности единичных угловых измерений положений линии визирования цели в абсолютной геоцентрической экваториальной системе координат (АГЭСК);
- период дискретности и количество угловых измерений положения линии визирования в АГЭСК, выполненных к моменту селекции элементов СБЦ.

Расчет параметров априорного распределения вектора баллистических СП, позволяет при принятии решения учитывать неравноточность и взаимную корреляцию СП [1]. В основу методики расчета положена линеаризация функции преобразующей координаты элементов СБЦ и ЛА в момент включения ОЭС в вектор СП в момент селекции. Полученная линейная модель позволяет считать распределение СП в момент селекции нормальным, при этом математическое ожидание и ковариационная матрица вектора СП $h(t_s)$ элементов СБЦ вычисляются в соответствии с выражениями (1) и (2)

$$M[\hat{h}(t_S)] = G[M[\hat{U}^f]], \quad (1)$$

$$K[\hat{h}(t_S)] = B \cdot K[\hat{U}^f] \cdot B^T, \quad (2)$$

где $\hat{U}^f$ – вектор состояния центров масс СБЦ в момент селекции t_s с учетом погрешностей измерения координат линии визирования цели;

G – вектор-функция, преобразующая $\hat{U}^f$ в вектор СП $h(t_s)$;

B – матрица частных производных

$$B = \left.\frac{dG}{dU^f}\right|_{U^f = M[U^f]}.$$

G и B могут быть определены на основе как аналитических выражений, так и численно.

Имитационная статистическая модель [5] позволяет получить статистическую оценку ковариационной матрицы СП и сравнивать ее с ковариационной матрицей, вычисленной на основе предложенной методики. Предлагаемая методика вычисления ковариационной матри-

цы баллистических СП обеспечивает приемлемую точность при времени прогноза 4-6 с.

Вторым этапом методики является расчет параметров априорного распределения вектора СЭ СП, в основу которого положен теоретико-множественный подход к описанию процесса функционирования ОЭС, заключающийся в построении для каждого класса целей некоторого множества операционных ситуаций на основе анализа взаимного расположения источников оптического излучения, элемента СБЦ и ЛА в различные моменты времени, на основании чего построено множество условий применения ОЭС [2]. Это позволяет рассчитать излучательные характеристики элементов СБЦ, базирующиеся на решении прямых фотометрических задач в известных условиях освещения и наблюдения элемента СБЦ, и при заданных параметрах ОГС элементов СБЦ.

На основании результатов имитационного моделирования определены параметры ОЭС, обеспечивающие при имеющемся разбиении шкалы электромагнитных волн обнаружение элементов СБЦ с вероятностью близкой к единице в определенных операционных ситуациях. Построены зависимости гарантированной вероятности $P^{Г}_{СЦ}$ селекции элементов СБЦ от погрешности задания эталона ε_A и объема выборки контрольных наблюдений n, которые показаны на *рисунке 1*, на основании чего можно сделать вывод, что для обеспечения выбранного в качестве примера требуемого уровня гарантированной вероятности 0,95, необходимо высокоточное знание параметров движения и ОГС элементов СБЦ, обеспечивающее погрешность задания эталона ε_A<5%.

Показано также, что при n>20 качество селекции определяется в основном погрешностью задания эталона, что позволяет для выбранной кадровой частоты ОЭС ограничить время селекции 1с. Использование нормированных СЭ СП для селекции элементов СБЦ позволяет снизить

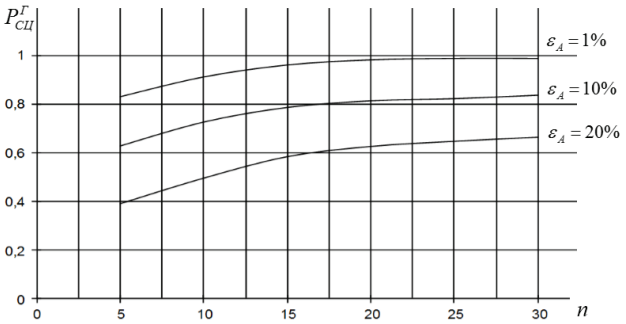


Рис. 1. Зависимости гарантированной вероятности селекции элементов СБЦ от погрешности задания эталона и объема выборки контрольных наблюдений

влияние неопределенных факторов, таких как дальность до цели, параметры ОГС, на точность задания эталона, и повысить вероятность селекции на 3% при использовании в ОЭС 3-х измерительных каналов.

Однако из-за специфики движения СБЦ, недоступности информации об ОГС ее элементов, достичь указанных выше вероятностей селекции на конечном участке траектории полета не представляется возможным.

С целью повышения вероятности селекции элементов СБЦ третьим этапом методики предложено динамическое комплексирование различных по своей физической природе СП на всем конечном участке траектории полета.

Алгоритм комплексирования СП, включает в себя модель и процедуру выбора набора СП, оценку его эффективности, формирование и применение сингулярного набора СП, обеспечивающего максимальную вероятность правильной селекции в текущей операционной ситуации. Критерий качества набора СП предлагается оценивать функцией полезности, под которой понимается приращение вероятности ΔP^{C} правильной селекции элементов СБЦ в отведенное время технически реализуемыми средствами при замене менее информативных элементов более информативными в процессе сближения ЛА с СБЦ [4].

Аналитическое выражение функции полезности $U(s,t)$, как функции целочисленных аргументов s и t, задающей отношения доминирования между различными предельными наборами элементов СП, будет следующим

$$U(s,t) = M[\hat{u} \mid F] + \{M[\hat{u} \mid F] - \cdot$$

$$- \frac{1}{s+t}\left(\sum_{r=1}^{s} M[\hat{u} \mid \Phi_{r,n}] + \sum_{r=1}^{s} M[\hat{u} \mid \Phi_{n-r+1,n}]\right)\}\Delta,$$

где s и t – номера элементов набора СП соответственно с наименьшим и наибольшим значением параметра, определяющего вероятность правильной селекции;

$M[\hat{u} \mid F]$ – математическое ожидание функции полезности при заданном законе распределения $F(X)$ элементов набора СП [6].

Заключение

Таким образом, ввиду специфики движения СБЦ, отсутствия информации об ОГС ее элементов достичь высокой достоверности селекции ее элементов на заатмосферном участке траектории полета не представляется возможным. С целью повышения вероятности селекции элементов СБЦ предложено динамическое комплексирование различных по своей физической природе СП на всем конечном участке траектории полета с при-

менением комплексирования СП, включающего:

- формирование исходной совокупности СП;
- ранжировку СП и определение рубежей окончания селекции по каждому из них;
- формирование сингулярного набора СП, обеспечивающего максимальную вероятность селекции в текущей операционной ситуации.

Литература

1. Кириченко Д.В., Ракчеев Д.П. Алгоритм перебора спектральных диапазонов селекции объектов. Сборник алгоритмов и программ типовых задач. СПб.: ВИКУ им. А. Ф. Можайского, 1993. Вып.11. С.125-129.

2. Саврасов О.А. Алгоритм селекции оптических целей, учитывающий неравноточность и взаимную корреляцию селективных признаков / Методы и алгоритмы оптимизации систем управления летательных аппаратов. СПб.: МО РФ, 1996. С.29-32.

3. Сухомлинов Д.В., Медведь А.Н О комплексировании данных в информационно-управляющей системе летательного аппарата // Двигатель, 2014. №5(95). С.38-41.

4. Челпанов А.В., Хмелевская О.О., Хмелевский С.И., Рыбалка Г.В. Сопровождение сложных баллистических целей // Сб. научных статей Харьковского национального университета Воздушных Сил им. И.Кожедуба, 2011. Вып. 1(27).

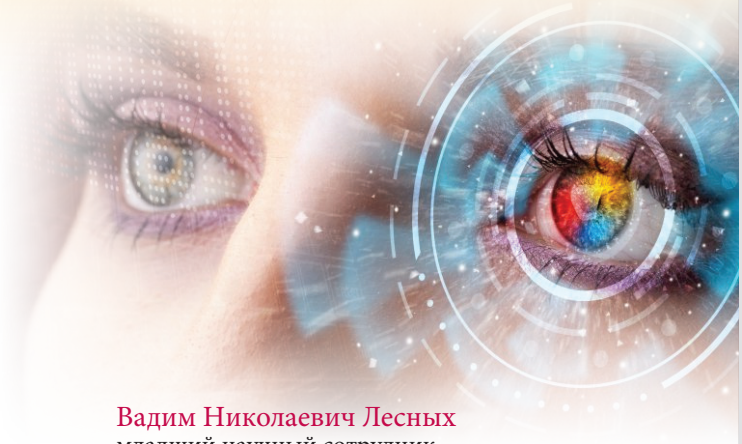
5. Тихонов Ю.Ф., Блажко А.К. Алгоритм комплексирования селективных признаков оптико-электронной системы. // Проблемные вопросы проектирования и эксплуатации бортовых и наземных систем управления объектов ракетно-космической техники РВСН: тез. докл. НТК. СПб.: МО РФ, 1999. С. 19-20.

6. Ефимов А.Н., Кутеев В.М. Исследование и моделирование некоторых свойств элитных групп // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1980. №3.

УДК 57.01; 57.04; 577; 53.023

СООТВЕТСТВИЕ СУМЕРЕЧНОГО ЗРЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УТРАИВАЮЩИХСЯ ПЕРИОДОВ

CORRESPONDENCE OF THE HUMAN TWILIGHT VISUAL ANALYZER TO THE UNIVERSAL PERIOD–TRIPLING SYSTEM



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

Евгений Валерьевич Коломбет
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: kvision@mail.ru

Аннотация

Работа посвящена особенностям настройки датчика освещения на примере глаза человека. В основе феномена лежит т.н. универсальная система утраивающихся периодов Tk,m. Она наблюдается в широком диапазоне явлений различной природы – астрономических, физических, геофизических и пр. Оказывается, период волны света, при котором достигается максимум чувствительности сумеречного (скотоскопического, ахроматического) зрения человека, совпадает с главным периодом Tk,m, попавшим в оптический диапазон. По-видимому, это означает, что приходящий к поверхности земли поток солнечного света, к которому в ходе эволюции подстроилось зрение человека, лишь грубо определил настройку ахроматического зрения человека. Дополнительную тонкую настройку может задавать система периодов Tk,m.

Ключевые слова: универсальная система утраивающихся периодов, зрительный анализатор, зрение человека, сетчатка, палочки, окно прозрачности атмосферы.

Summary

The work is devoted to the peculiarities of setting the light sensor on the example of the human eye. The phenomenon is based on the so-called universal period-tripling system Tk,m. It is observed in a wide range of phenomena of different nature – astronomical, physical, geophysical, etc. It turns out that the period of the light wave, at which the maximal sensitivity of the twilight (scotoscopic, achromatic) human vision is achieved, coincides with the main period Tk,m, which fell into the optical range. Apparently, this means that the flow of sunlight coming to the earth's surface, to which human vision was adjusted during evolution, only roughly determined the setting of human achromatic vision. Additional fine-tuning can be set by the system of periods Tk,m.

Keywords: Universal period-tripling system, visual analyzer, eye, human vision, retina, rods, window of atmosphere transparency.

В 2014 году вышла в свет статья [1], где было введено представление о фундаментальной системе утраивающихся периодов (УСУП), проявляющейся в широком спектре явлений различной природы – астрономических, физических, геофизических и др. Была обнаружена особенная роль периодов, описываемых эмпирической формулой

$$T_{k,m} = T_0 \times 3^k / 2^m,$$

где $T_0 = 114{,}5722\ldots$ лет;
m – небольшое целое число;
k – целое число от нуля до 15.

В дальнейшем авторы статьи [1] стали развивать идею УСУП, главным образом, в области периодов $T_{k,m} > 50$ лет; см. [2-5]. Эти работы относятся к периодам, находящимся вне законо-

мерностей биофизики, имеющей дело обычно с существенно более высокочастотными процессами. Для проверки существования УСУП, мы проверяли возможность экстраполяции формулы для $T_{k,m}$ в область более коротких периодов, где $k<0$. Мы предположили, что если формула для периодов УСУП хорошо выполняется вне заявленной в [2-5] области, то можно утверждать, что феномен УСУП действительно существует.

Оказалось, что диапазон периодов, охваченный рассмотренной нами новой областью УСУП, покрывает, по крайней мере, еще около 20 десятичных порядков величины [6]. Во-первых, мы нашли периоды УСУП во временном интервале, включающем в себя минуты, часы, дни (*рисунок 1*).

Во-вторых, мы нашли проявление периодов УСУП в феноменах пения и музыки. В диапазон слуха попадало семь пар частот УСУП. Оказалось, что именно они определили феномен семи нот – в европейской музыкальной традиции они известны, в частности, как До, Ре, Ми, Фа, Соль, Ля и Си. В ходе эволюции европейской музыки настройка была выбрана так, что, как впоследствии оказалось, частоты соответствующих нот (см. *рисунок 2*) попали в середины пар главных частот УСУП. Частоты нот в других октавах (например, частоты всех остальных белых клавиш рояля) получаются разнесением по октавам – умножением и делением на степени двойки – тех частот, которые соответствуют семи нотам (*рисунок 2*) [6]. Частоты остальных пяти нот в каждой октаве («черных клавиш рояля») получаются с помощью этого же алгоритма – расширением (*рисунок 2*) еще на пять пар частот УСУП влево (в инфразвук) или вправо (в ультразвук) и

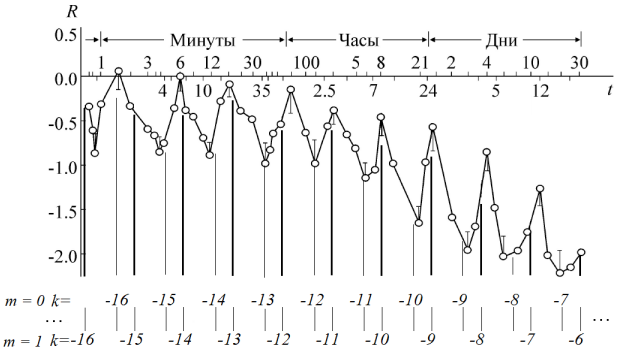


Рис. 1. УСУП и результаты исследования А.Т. Бондарем т.н. памятного следа в мышлении 11-12-летних школьников – зависимости эффективности воспроизведения запомненной информации от времени ее хранения [6]. Локальные экстремумы худшей памяти соответствуют значению параметра *m=0*, а лучшей – значению *m=1*. Рассогласования, обнаруживаемые на концах экспериментальной кривой – это т.н. краевые эффекты различной природы

затем тиражированием соответствующих нот во все октавы.

Таким образом, в ходе биологической эволюции память и слух человека подстроились к частотам УСУП. Рассмотрение с этой же позиции особенностей сумеречного зрения человека и, соответственно, оптического диапазона электромагнитных волн кажется естественным очередным шагом в исследовании спектра биофизических проявлений УСУП.

На *рисунке 3* изображено дискретное множество как предполагаемых, так и уже обнаруженных периодов УСУП при $m=0$ и 1. Это главные, наиболее ярко проявляющиеся периоды УСУП. Сверху все множество периодов УСУП естественным образом ограничено масштабом времени порядка миллиарда лет ($k=15$) [1]. И действительно, УСУП, по определению, формируют периодические процессы, а чтобы получить статус периодического, за ~14 млрд. лет существования вселенной процесс должен успеть сделать хотя бы несколько осцилляций. Снизу спектр возможных значений УСУП заведомо ограничен, по крайней мере, планковским временем 10^{-43} сек (k=-111), т.к. на планковском масштабе понятия времени и периода уже теряют свой привычный смысл. Из *рисунка 3* следует, что УСУП включает в себя не более чем ~128 значений параметра k.

Продвигаясь в своем исследовании проявлений УСУП в область меньших значений параметра k (справа налево, в область высоких частот), мы обнаружили (*рисунок 3*) множество периодов $T_{k,m}$, достаточное для подтверждения реальности феномена УСУП в существенно более широкой области, чем было заявлено в исходной работе [1]. К исходным периодам с $k=0\div15$, (см. [1]), были добавлены представленные на *рисунках 1 и 2* периоды УСУП, определяющие осцилляции эффективности воспроизведения памятного следа ($k=-16\div-6$) и особенности функционирования слухового аппарата человека ($k=-29\div-22$) [6].

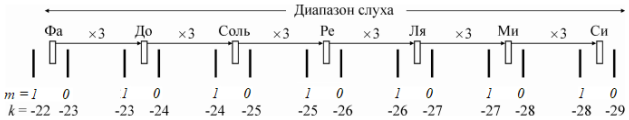


Рис. 2. Связь семерки музыкальных нот (белых клавиш рояля) и семерки пар наиболее выраженных периодов УСУП в диапазоне слуха человека

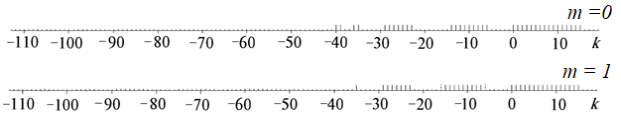


Рис. 3. Дискретное множество периодов УСУП. Обнаруженные периоды выделены, все они располагаются в правой части рисунка

Найдены также периоды УСУП, успешно используемые в УВЧ-терапии (k=-37÷-34), и даже предпочтительные тактовые частоты компьютерных процессоров (k=-40,-39), совпадающие с частотами УСУП [7-9]. В отличие от них, частоты телевещания и мобильной телефонной связи (соответственно, k=-39÷-36 и k=-40÷-38), как оказалось, избегают частот УСУП, тем самым тоже показывая особенную роль УСУП для этих частных технических приложений. На *рисунке 4* приведена спектральная чувствительность скотопического (т.е. темнового, ахроматического, палочкового, сумеречного) зрения глаза среднего наблюдателя, т.е. зрения, регистрирующего видимые объекты в серых тонах различной интенсивности – от белого до черного.

Появление цветного зрения можно, по-видимому, рассматривать как удачное дополнение к ахроматическому зрению, как эволюционную находку следующего порядка важности. В связи с последним замечанием надо добавить, что ахроматическое зрение много чувствительнее цветного. Для восприятия предельно малого светового сигнала (например, едва видимой точки на темном фоне) палочкам глаза, обеспечивающим ахроматическое зрение, необходимо приблизительно в 500 раз меньшая мощность света, чем колбочкам для обеспечения цветного зрения [10].

Как видно из *рисунка 4* и лежащей в его основе *таблицы 1* [11], длина волны ~507 нм, при которой достигается максимум чувствительности ахроматического зрения человека, близка к вычисленному значению 503 нм – главному (т.е. при m=0) значению длины волны УСУП, попадающему в диапазон длин волн видимого света [12, 13]. Соответствующий цвет – аквамариновый. Этот цвет расположен на грани голубого (первого «холодного») и зеленого (первого

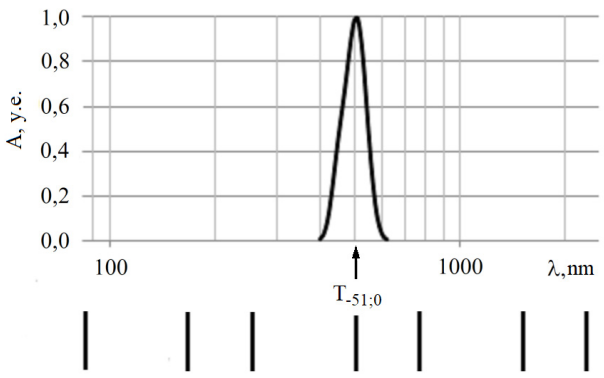


Рис. 4. Спектральная чувствительность А сумеречного зрения человека распределена приблизительно логнормально со средним значением 503 нм, практически совпадающем с частотой, соответствующей $T_{-51,0}$

Таблица 1
Светочувствительность среднего глаза наблюдателя при различных длинах волн света в условиях адаптации к сумеречному освещению. Амплитуда в максимуме (при длине волны 507 нм) принята за единицу. Периодам УСУП $T_{-51;0}$ и $T_{-50;1}$ соответствуют длины волн 503 нм и 755 нм

Длина волны, нм	Светочувствительность	Длина волны, нм	Светочувствительность	Длина волны, нм	Светочувствительность
380	0,0006	520	0,9352	660	0,00031
385	0,0011	525	0,8796	665	~0,0002
390	0,0022	530	0,8110	670	0,00015
395	0,0045	535	0,7332	675	~0,0001
400	0,0093	540	0,6497	680	0,000071
405	0,0185	545	0,5638	685	~0,000053
410	0,0348	550	0,4808	690	0,000035
415	0,0604	555	0,4015	695	~0,000026
420	0,0966	560	0,3288	700	0,000018
425	0,1436	565	0,2639	705	~0,000014
430	0,1998	570	0,2076	710	0,0000091
435	0,2625	575	0,1602	715	~0,0000070
440	0,3281	580	0,1212	720	0,0000048
445	0,3931	585	0,0899	725	~0,0000037
450	0,4550	590	0,0655	730	0,0000025
455	0,5129	595	0,0469	735	~0,0000020
460	0,5672	600	0,3330	740	0,0000014
465	0,6204	605	0,0231	745	~0,0000011
470	0,6756	610	0,0159	750	0,00000076
475	0,7337	615	0,0109	755	~0,00000060
480	0,7933	620	0,0074	760	0,00000043
485	0,8510	625	0,0050	765	~0,00000034
490	0,9043	630	0,0033	770	0,00000024
495	0,9491	635	0,0022	775	~0,00000019
500	0,9818	640	0,0015	780	0,00000014
505	0,9984	645	0,0010	785	~0,0000000
510	0,9966	650	0,00068	790	~0,0000000
515	0,9750	655	~0,0005	795	~0,0000000

«теплого») цветов. Таким образом, хотя ахроматическое зрение не различает цветов, оно, по-видимому, как-то (возможно, по знаку и величине производной кривой спектральной чувствительности) обеспечивает отличие «холодных» световых тонов, от «теплых».

За ахроматическое зрение человека отвечает содержащийся в палочках сетчатки пигмент родопсин, зрительный пурпур. Максимумы спектра поглощения родопсина находятся в ультрафиолетовой области и в области видимого света при длине волны 498 нм. Однако на частотные

характеристики зрения влияют ткани глаза. Принято считать, что диапазон света, поступающего на сетчатку глаза, простирается приблизительно от 380÷400 нм до 740÷750 нм (см. *таблицу 1*). Ткани глаза отсекают ультрафиолет, губительно действующий на сетчатку. Влиянием тканей глаза, по-видимому, можно объяснить смещение максимума чувствительности от 498 нм к 507 нм. Значение длины волны УСУП 503 нм находится в середине этого диапазона. Отличие от длины волны УСУП 503 нм тех длин волн, при которых достигаются максимумы чувствительности родопсина и ахроматического зрения человека, составляет около процента.

В процессе эволюции глаз человека настраивался на режимы освещенности, обусловленные с одной стороны большой интенсивностью света в окрестности максимума спектра излучения поверхности Солнца – черного тела с температурой 5777 градусов Кельвина, и с другой – удачно расположенным т.н. окном прозрачности атмосферы, обеспечивающим поступление большой доли этого света к земной поверхности. На *рисунке 5* представлен спектр поглощения электромагнитного излучения водой; вода в большом количестве содержится в атмосфере в виде пара [14-16]. Азот, кислород и углекислый газ атмосферы вносят в спектр поглощения видимого света пренебрежимо малый вклад. Вертикальная линия при 315 нм иллюстрирует приблизительное положение границы окна прозрачности, обусловленной атмосферным озоном. Менее жесткий ультрафиолет с длинами волн 315 нм - 380 нм, примыкающий к видимому свету, уже озоном почти не поглощается [17]. Его проникновению к сетчатке препятствуют соответствующие ткани глаза.

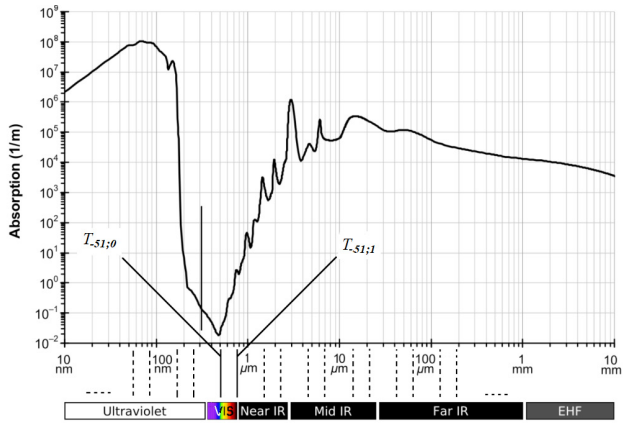


Рис. 5. Глубокий минимум в спектре поглощения электромагнитного излучения водой: вода прозрачна для видимого света (по [14]). Для сравнения, вертикальными штриховыми линиями показаны аналогичные пары частот УСУП. Диапазон видимого света настроен на частоту УСУП $1/T_{-51;0}$

Значению $T_{-50;1}$ (см. *рисунок 5*) отвечает длина волны 755 нм, находящаяся фактически уже за гранью диапазона видимого света (см. *таблицу 1*); таким образом, из множества важнейших частот УСУП в центр оптического диапазона попадает частота $1/T_{-51;0}$. Обнаруженная настройка максимума чувствительности ахроматического зрения на эту частоту УСУП означает, что положение максимума интенсивности в спектре излучения Солнца и положение окна прозрачности атмосферы (*рисунок 5*) определили в ходе эволюции человека лишь грубую настройку чувствительности ахроматического зрения. Тонкую настройку, по-видимому, задает ранее неизвестный фактор – частота УСУП $1/T_{-51;0}$.

Встает естественный вопрос, зачем в ходе эволюции зрения человека понадобилась настройка именно на УСУП, т.е. какие биологические преимущества возникают в результате этой настройки? Этот вопрос остается пока без ответа. Он восходит к остающемуся без окончательного ответа более общему вопросу, по какой причине периоды всевозможных эволюционирующих явлений вообще подстраиваются к УСУП? Причем речь идет об эволюционирующих явлениях как естественного, природного [1-6], так и искусственного, технического [7-9] происхождения.

Полученные результаты продолжают свидетельствовать об объективно существующем феномене (УСУП). Периоды УСУП попадают в самые различные масштабы времени. Трудность обнаружения УСУП связана с тем, что периоды УСУП равномерно в логарифмическом масштабе распределены во времени, а не сгруппированы где-то, где их можно было бы легче найти. Независимость от происхождения периодического процесса, входящего в УСУП (а биофизические периодические процессы составляют только малую часть таких процессов), по-видимому, можно считать следствием того, что УСУП определяется некими весьма общими закономерностями природы, обеспечивающими синхронизацию и самоорганизацию физических и биологических систем; (см., например, работы [18-21]).

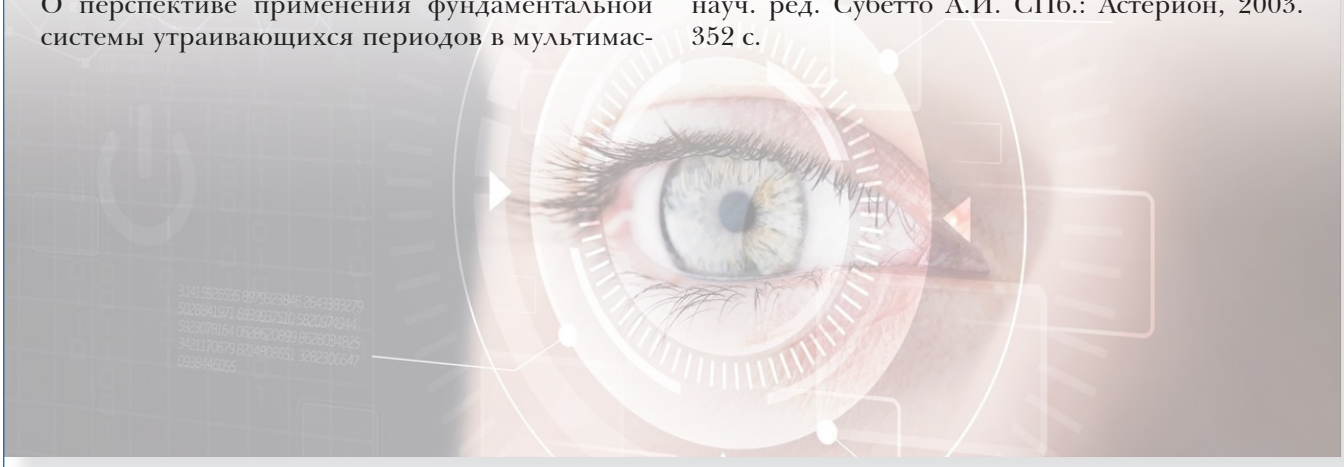
Проиллюстрированные в данной статье биофизические проявления УСУП позволяют говорить, в частности, о перспективности детального изучения природы этого весьма общего феномена с целью, например, усовершенствования технических характеристик различных сенсоров.

К опирающимся на УСУП биофизическим феноменам осцилляций эффективности воспроизведения памятного следа у человека и специфической настройки у человека слухового анализатора [6] мы добавили опирающийся на

УСУП биофизический феномен специфической настройки сумеречного зрительного анализатора человека. Это заставляет уверенно предполагать существование настроек на частоты УСУП во многих других системах человеческого организма. Их обнаружение и изучение обещает дать широкий спектр новых приложений, в том числе, технических и медицинских.

Литература

1. Puetz S. J. Prokoph A., Borchardt G., Mason E. W. Evidence of synchronous, decadal to billion year cycles in geological, genetic, and astronomical events. Chaos, Solution & Fractals 62-63 (2014). Pp. 55-75.
2. Puetz S. J., Borchardt G. Quasi-periodic fractal patterns in geomagnetic reversals, geological activity, and astronomical events. Chaos Solitons & Fractals 81, 246-270 (2015).
3. Prokoph A., Puetz S. J. Period-tripling and fractal features in multi-billion year geological records. Mathematical geosciences. 2015. **47** (5), 501-520
4. Puetz S. J., Prokoph A., Borchardt G. Evaluating alternatives to the Milankovitch theory/ Journal of Statistical Planning and Inference 170, 158-165 (2016).
5. Puetz S. J. The unified cycle theory: How cycles dominate the structure of the universe and influence life on Earth (OutskirtsPress.com, Denver, 2009).
6. Бондарь А.Т., Федоров М.В., Коломбет В.А. Утраивающиеся периоды в мультимасштабных физических и биологических явлениях // Биофизика, 2015. №60(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. №61(3). С.615-624.
8. Коломбет В.А., Коломбет Е.В., Лесных В.Н. 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., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. 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. Пинегин Н.И. Проблемы физиологической оптики. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. Т.3. 167 с.
11. Гуревич М. М. Фотометрия (теория, методы и приборы. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 272 с.
12. http://www.astronomy.ru/forum/index.php/topic, 50316.0.htm
13. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Под ред. Панова В.А. Л.: Машиностроение, 1980. 728 с.
14. https://ru.wikipedia.org/wiki/ Зрение человека
15. Segelstein D.J. The complex refractive index of water M.S. Thesis. University of Missouri, Kansas City (1981).
16. Bernath P. F. Phys. Chem. Chem. Phys. 4,1501 (2002).
17. Matsumi Y., Kawasaki M. Chem. Rev. 103(12), 4767 (2003).
18. Буданов В.Г. Самоорганизация времени: эволюция партитуры / В сб. Синергетика времени. Под ред. Аршинова В.И. М.; 2007. С.46-72.
19. Аршинов В.И., Буданов В.Г. / В сб. Самоорганизация и наука: опыт философского осмысления. Арго, ИФ РАН, 1994. 349 с.
20. Буданов В.Г. Синергетика ритмокаскадов в эволюционирующих системах. Труды юбилейной сессии РАЕН «Леонардо Да Винчи XX века. К 100-летию А.Л.Чижевского». 27-28 февраля 1997. Москва. С.34-35.
21. Кулинкович А.Е. В кн. Вернадскианская революция в системе научного мировоззрения – поиск ноосферной модели будущего человечества в XXI веке. Коллективная монография под науч. ред. Субетто А.И. СПб.: Астерион, 2003. 352 с.



УДК 623.4.052:623.438

ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА ТОЧНОСТЬ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ И НАВЕДЕНИЯ ЛИНИИ ВИЗИРОВАНИЯ

INFLUENCE OF KINEMATIC ERRORS ON THE ACCURACY OF THE STABILIZATION SYSTEM AND GUIDANCE OF THE LINE OF SIGHT

Владимир Александрович Смирнов
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры «Приборы и биотехнические системы»
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Адрес: 300012 г. Тула, проспект Ленина, д. 92
Тел. +7 (4872) 35-05-52
E-mail: veld071@rambler.ru

Дмитрий Андреевич Славгородский
аспирант
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Адрес: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92
Тел. +7 (4872) 35-05-52
E-mail: strelok-dima@inbox.ru

Аннотация
В работе рассмотрено влияние погрешностей юстировки и погрешностей кинематической передачи между оптическим элементом и гиростабилизированной платформой на точность стабилизации и наведения линии визирования. Получены простые аналитические выражения для оценки погрешностей стабилизации и наведения линии визирования в зависимости от параметров движения основания, линии визирования и точности юстировки оптического элемента.
Ключевые слова: система стабилизации и наведения, оптическая линия визирования, погрешности стабилизации и наведения, гиростабилизированная платформа, погрешности юстировки.

Summary
Effect of an Alignment errors and errors of transmission from stabilized platform to optical element on precision of the stabilization and guidance system is discussed in this paper. Simple analytical formulas for estimate the errors of stabilization and guidance system against base motion and alignment errors are derived.
Keywords: stabilization and guidance system, optical line of sight, stabilization and guidance inaccuracy, gyro stabilized platform, alignment error.

Для стабилизации оптико-электронной аппаратуры, размещенной на борту подвижного объекта, широко используются гироскопические системы стабилизации и наведения линии визирования (ССиН). Одной из распространенных является схема ССиН, показанная на *рисунке 1*, в которой гироскоп и зеркало установлены в общей рамке, а оси их вращения связаны кинематической передачей в соотношении 1:2. В большинстве известных исследований подобных систем [1-4] погрешности установки линии визирования и погрешности кинематической передачи не учитываются. Кроме того, не учитывается и тот факт, что при качке основания платформа и зеркало имеют различные угловые скорости вращения относительно рамки.

Проведем анализ погрешностей стабилизации линии визирования, учитывающий указанные обстоятельства. Системы координат (СК), используемые при составлении уравнений, показаны на *рисунке 2*.

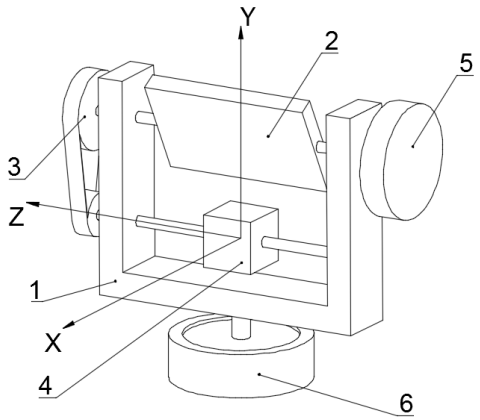


Рис. 1. Кинематическая схема ССиН: 1 – рамка; 2 – зеркало; 3 – кинематическая передача; 4 – стабилизируемая платформа; 5, 6 – исполнительные двигатели

На *рисунке 2* введены следующие обозначения:
$OX_0Y_0Z_0$ – СК, связанная с основанием;
$OX_1Y_1Z_1$ – СК, связанная с рамкой;
OY_1 – ось вращения рамки;
$OX_2Y_2Z_2$ – СК, связанная с платформой;
ось OZ_2 – ось вращения платформы;
$OX_3Y_3Z_3$ – СК, связанная с зеркалом;
ось OZ_3 – ось вращения зеркала;
$OX_{опт}Y_{опт}Z_{опт}$ – СК, связанная с оптической линией визирования;
ось $OX_{опт}$ направлена на цель;
φ_y – угол поворота рамки относительно основания;
φ_z – угол поворота платформы относительно рамки;
φ_{z3} – угол поворота зеркала относительно рамки, при этом углу $\varphi_{z3}=0$ соответствует положение зеркала, при котором отражающая поверхность зеркала лежит в плоскости OX_0Z_0;
$\varphi_{zОПТ}$ – угол поворота оптической линии визирования относительно рамки.

Проекции вектора абсолютной угловой скорости качки основания на оси, связанные с ним, обозначены, соответственно, ω_{x0}, ω_{y0}, ω_{z0}. Через $\omega_{Пy}$, $\omega_{Пz}$ обозначены проекции угловой скорости линии визирования на оси системы координат, связанной с целью ($OX_{опт}Y_{опт}Z_{опт}$).

В большинстве работ, посвященных исследованию ССиН, за линию визирования принимается ось OX_3, связанная с гироскопически стабилизированной платформой, однако стабилизация линии визирования осуществляется оптическим элементом (зеркалом или куб-призмой), положение которых относительно платформы может быть задано с погрешностями, обусловленными технологией изготовления. В результате, даже при идеальной стабилизации платформы возникают погрешности стабилизации линии визирования.

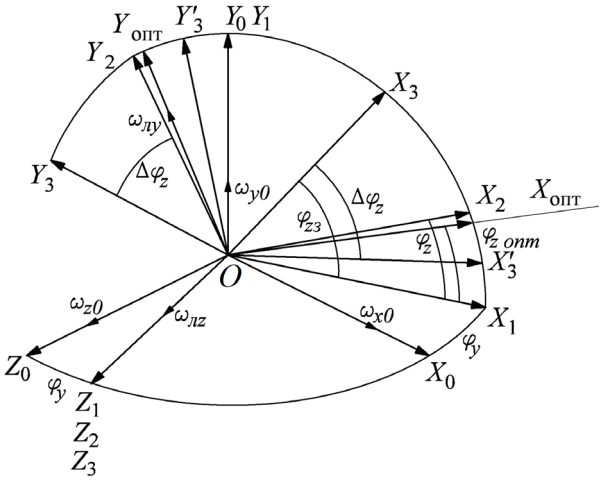


Рис. 2. Системы координат, используемые при анализе погрешностей системы стабилизиации и наведения линии визирования

В общем случае связь между углами поворота зеркала и платформы по оси вертикального наведения можно записать в виде:

$$\varphi_{z3}=\frac{\varphi_z}{k_p}+\Delta\varphi_z, \qquad (1)$$

где $\Delta_{\varphi z}$ – начальный угол установки зеркала, в идеальном случае равный π/4;
k_p – коэффициент редукции, в идеальном случае равный двум.

В реальных системах, вследствие технологических погрешностей изготовления, угол установки зеркала и коэффициент редукции будут несколько отличаться от номинальных значений, поэтому формулу (1) преобразуем к виду:

$$\varphi_{z3}=\frac{\varphi_z}{2}+\frac{\pi}{4}+\frac{\delta\varphi_{z3}}{2}, \qquad (2)$$

где $\delta\varphi_{z3}$ – погрешность установки зеркала относительно платформы по оси вертикального наведения. Следует заметить, что в общем случае погрешность $\delta\varphi_{z3}$ зависит от угла поворота φ_z из-за погрешности коэффициента передачи.

Учитывая начальное положение зеркала угол поворота оптической линии визирования связан с угловым положением зеркала следующим образом:

$$\varphi_{zОПТ}=2\varphi_{z3}-\frac{\pi}{2}. \qquad (3)$$

Таким образом, из (2) и (3) можно записать:

$$\varphi_{z\ опт}=\varphi_z+\delta\varphi_{z3}. \qquad (4)$$

Погрешность установки зеркала относительно платформы по оси горизонтального наведения

$$\delta\varphi_y=\varphi_{y3}-\varphi_y$$

определяется несоосностью осей вращения платформы и зеркала и является практически постоянной.

Учитывая приведенные соотношения для углов поворота зеркала и платформы, а также то, что положение оптической линии визирования определяется положением зеркала, получим следующие уравнения связи между проекциями угловой скорости оптической линии визирования и угловой скорости зеркала на оси, связанные с оптической линией визирования:

$$\omega_{y2}\approx\frac{\omega_{y\ опт}}{1-\mathrm{tg}\varphi_z\sin\delta\varphi_{z3}}+\frac{\omega_{x1}}{1-\mathrm{tg}\varphi_z\mathrm{tg}\delta\varphi_{z3}}\frac{\mathrm{tg}\delta\varphi_{z3}}{\cos\varphi_z}-$$
$$-\omega_{z1}\cos\varphi_z\frac{\mathrm{tg}\varphi_z+\mathrm{tg}\delta\varphi_{z3}}{1-\mathrm{tg}\varphi_z\mathrm{tg}\delta\varphi_{z3}}\sin\delta\varphi_y; \qquad (5)$$
$$\omega_{z2}=\omega_{z\ опт}-\omega_{x1}\sin\delta\varphi_y-\delta\dot{\varphi}_{z3}.$$

где k_p – коэффициент редукции, в идеальном случае равный 2;

$\delta\varphi_y$ – погрешность ориентации зеркала относительно платформы;

$\delta\varphi_{z3}$ – рассогласование между положением платформы и зеркала;

$\omega_{yОПТ}$, $\omega_{zОПТ}$ – проекции угловой скорости оптической линии визирования на связанные с ней оси;

$\omega_{x1} = \omega_{x0}\cos\varphi_y - \omega_{z0}\sin\varphi_y$ – проекция угловой скорости качки основания на ось OX_1;

$\omega_{z1} = \omega_{z0}\cos\varphi_y + \omega_{x0}\sin\varphi_y$ – проекция угловой скорости качки основания на ось OY_1.

Полную погрешность $\delta\varphi_{z3}$ можно выразить через погрешность коэффициента передачи δk_p и погрешность начальной установки зеркала относительно платформы $\delta\varphi_{z0}$:

$$\delta\phi_{z3} = \frac{-0{,}5\delta k_p}{1+0{,}5\delta k_p}\phi_z + 2\delta\phi_{z0}, \qquad \delta\dot{\phi}_{z3} = \frac{-0{,}5\delta k_p}{1+0{,}5\delta k_p}\dot{\phi}_z, \quad (6)$$

где $\dot{\varphi}_z = \omega_{z2} - \omega_{z1}$ – угловая скорость платформы относительно рамки.

В идеальном случае угловая скорость линии визирования должна быть равна угловой скорости платформы, т.е.

$$\omega_{y2} = \omega_{y\,опт}, \quad \omega_{z2} = \omega_{z\,опт},$$

поэтому на основании (5) и (6) запишем выражения для погрешностей стабилизации и наведения линии визирования, обусловленных рассогласованием положения зеркала и платформы:

$$\delta\dot{\alpha} \approx \frac{-\omega_{y2}\mathrm{tg}\varphi_z\sin\delta\varphi_{z3}}{1-\mathrm{tg}\varphi_z\sin\delta\varphi_{z3}} + \frac{\omega_{x1}}{1-\mathrm{tg}\varphi_z\mathrm{tg}\delta\varphi_{z3}}\frac{\mathrm{tg}\delta\varphi_{z3}}{\cos\varphi_z} -$$

$$-\omega_{z1}\cos\varphi_z\frac{\mathrm{tg}\varphi_z+\mathrm{tg}\delta\varphi_{z3}}{1-\mathrm{tg}\varphi_z\mathrm{tg}\delta\varphi_{z3}}\sin\delta\varphi_y; \quad (7)$$

$$\delta\dot{\beta} = -\omega_{x1}\sin\delta\varphi_y + \frac{0{,}5\delta k_p}{1+0{,}5\delta k_p}(\omega_{z2}-\omega_{z1}).$$

Численное моделирование уравнений (7) показывает, что погрешность установки оси вращения зеркала относительно оси вращения платформы и погрешность рассогласования между положением платформы и зеркала всего на 5″ дает погрешность по угловой скорости 0,004 мрад/с, а по углу – 4×10^{-3} мрад. В то же время погрешность изготовления кинематической передачи всего в 2% приводит к погрешности по угловой скорости линии визирования 0,01 рад/с, а по углу – 0,08 мрад. Современные ССиН имеют точность наведения порядка 0,05 мрад [5-7], и для того, чтобы ее обеспечить, нужно учитывать все факторы, влияющие на погрешности ССиН. Рассогласование между осями OX_2 и $OX_{опт}$, возникающее вследствие неточной установки зеркала и погрешностей кинематической передачи, приводит к тому, что при качке основания линия визирования будет описывать эллипс а сама линия визирования будет смещена от заданного направления на величину $\delta\varphi_y$ по оси горизонтального наведения и на величину

$$2\delta\varphi_{z0} - \frac{0{,}5\delta k_p}{1+0{,}5\delta k_p}\varphi_z$$

по оси вертикального наведения. Полученные уравнения позволяют оценить требования к точности изготовления и юстировки механической части ССиН.

Литература

1. Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем. Ч.2. Гироскопические стабилизаторы. Под ред. Д.С. Пельпора. М.: Высшая школа, 1977. 233 с.
2. Неусыпин А.К. Гироскопические приводы. М.: Машиностроение, 1978. 192 с.
3. Пельпор Д.С., Колосов Ю.А., Рахтеенко Е.Р. Расчет и проектирование гироскопических стабилизаторов. М.: Машиностроение, 1972. 325 с.
4. Родионов В.И. Гироскопические системы стабилизации и управления. Тула: Тул. гос. ун-т, 2000. 192 с.
5. http://www.kbptula.ru
6. https://www.wescam.com
7. http://www.oip.be

УДК 629.7

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАВЫКОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОТИВОПЕРЕГРУЗОЧНЫХ ПРИЕМОВ ЛЕТНЫМ СОСТАВОМ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ

INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR THE FORMATION OF SKILLS TO PERFORM ANTI-GRIP TECHNIQUES BY FLIGHT PERSONNEL OF STATE AVIATION

Григорий Юрьевич Клишин
научный сотрудник
Научно-исследовательский
испытательный центр
авиационно-космической медицины
и военной эргономики
ЦНИИ ВВС МО РФ
Адрес: 127083, Москва, Петровско-Разумовская аллея, д. 12а
Тел.: +7 (495) 612-10-02
E-mail: shishovec@rambler.ru

Аннотация

По результатам анализа потребностей практики эксплуатации маневренных летательных аппаратов и обобщения отечественного и зарубежного опыта психофизиологической подготовки летного состава разработан облик перспективной информационно-измерительной системы для формирования навыков выполнения противоперегрузочных приемов летным составом государственной авиации.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, авиационная медицина, летный состав государственной авиации, пилотажная перегрузка, противоперегрузочный прием.

Summary

According to the results of the analysis of the needs of the practice of operating maneuverable aircraft and the generalization of domestic and foreign experience in the psychophysiological training of flight personnel, a promising information-measuring system has been developed to develop skills for performing anti-overloading techniques by flight personnel of state aviation.

Keywords: information-measuring system, aviation medicine, flight personnel of state aviation, aerobatic overload, anti-overload technique.

Расширение круга задач, решаемых современными авиационными комплексами, существенно увеличивает требования к оперативности переработки летчиком пилотажной, навигационной и тактической информации. Потребность одновременного управления летательным аппаратом в высокоскоростных режимах маневрирования с одновременным решением задач принятия текущих и прогностических решений обусловливает актуальность владения навыком правильного и своевременного выполнения мышечных противоперегрузочных приемов с сохранением качества операторской деятельности. Для выработки такого навыка используются специальные моделирующие комплексы, неотъемлемым компонентом которых являются информационно-измерительные системы (ИИС) контроля эффективности выполнения мышечных противоперегрузочных приемов и качества летной операторской деятельности [1,2].

Наиболее современным комплексом для формирования навыка правильного и своевременного выполнения летчиком мышечных противоперегрузочных приемов с сохранением качества операторской деятельности является «Anti-G Straining Manoeuvre Trainer» (AMST Systemtechnik GmbH, Австрия) [3]. Этот комплекс обеспечивает регистрацию объективной медицинской, психофизиологической информации в условиях физической нагрузки, связанной с выполнением летчиком противоперегрузочных приемов или дыханием под избыточным давлением. Кроме

того, комплекс позволяет формировать навыки своевременного распознавания отказов кислородно-дыхательной аппаратуры и моделировать основные этапы летной деятельности, типовые полетные ситуации.

Характерной особенностью комплекса «Anti-G Straining Manoeuvre Trainer» является то, что для тренировки мышц используется обратная связь по силе нажатию на педали, а тренируемый должен сбалансировать действия таких сил. [3]. Недостатком ИИС, входящей в состав комплекса, является использование для контроля работы мышц миографа, требующего применения контактных нательных датчиков [4].

Существующие в России близкие по функционалу ИИС могут быть комплексированы для достижения целей выработки навыка применения противоперегрузочных приемов в процессе летной операторской деятельности объединением двух типов ИИС.

Первый тип ИИС – это ИИС в составе статоэргометрического тренажера с электронным управлением (*рисунок 1*). Такой тренажер обеспечивает возможность контроля и тренировки выполнения мышечных противоперегрузочных приемов в наземных условиях с применением специальных методик и современных информационно-измерительных медицинских систем оперативного контроля физиологического состояния человека [5-8]. Эти методики также позволяют оценить устойчивость летного состава к воздействию пилотажных перегрузок и общий уровень функциональных резервов организма [9]. При этом ИИС регистрируются и обрабатываются такие физиологические сигналы как электрокардиограмма, частота сердечных сокращений, артериальное давление [9]. Применение ИИС обеспечивает возможность ретроспективно провести обработку результатов исследования, а также мониторировать динамику переносимости нагрузочных проб летчиком в течение всей его летной деятельности.

Недостатками статоэргометрического тренажера с электронным управлением является необходимость создания близких к максимальным статических мышечных усилий (что вызывает резкое увеличение артериального давления), отсутствие тренирующегося в имитаторе контура управления летательным аппаратом (что не создает закрепления связи между нарастанием пилотажной перегрузки и выполнением противоперегрузочных приемов), возможность формирования ложного навыка необходимости сильного давления на реальные педали руля направления.

Второй тип ИИС – это ИИС в составе моделирующего комплекса летной операторской деятельности в наземных условиях (*рисунок 2*). По сравнению с летным тренажером такой комплекс дает меньшую достоверность моделирования условий летной операторской деятельности, но и имеет значительно меньшие требования к вычислительным и энергетическим ресурсам и может быть размещен в обычных помещениях [3-5, 9].

Специальное программное обеспечение включает набор программных модулей, обеспечивающих: работу в режиме реального времени математической модели летательного аппарата с системами и оборудованием; накопление

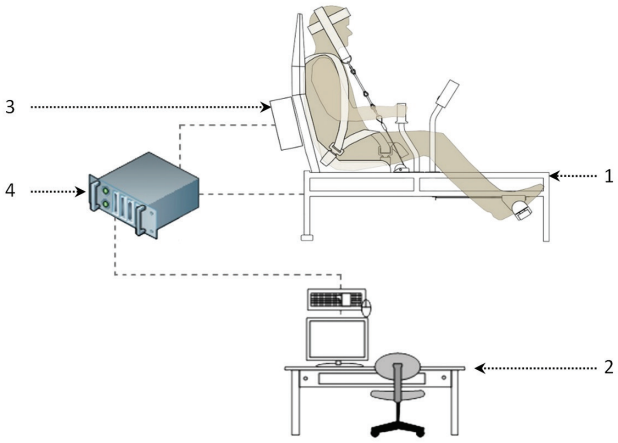


Рис. 1. Схема комплекса статоэргометрического тестирования: 1 – силовой тренажер для статоэргометрического тестирования; 2 – рабочее место врача; 3 – система оперативного медицинского контроля физиологических параметров обследуемого; 4 – вычислительный комплекс со специальным программным обеспечением одновременного контроля и управления режимами работы

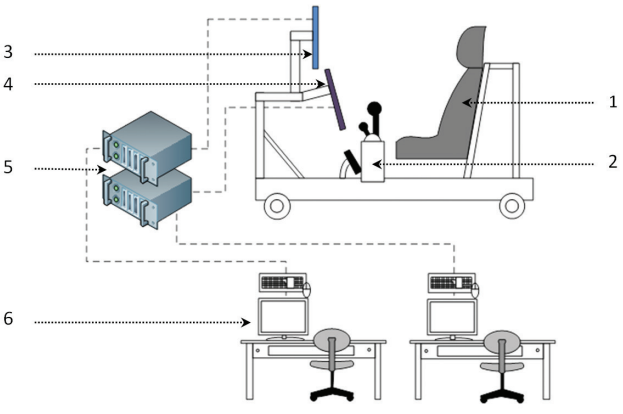


Рис. 2. Схема комплекса, моделирующего летную операторскую деятельность: 1 – имитатор кресла летчика; 2 – имитаторы органов управления летательным аппаратом (ручка управления самолетом, рычаг управления двигателем, ножные педали); 3 – средство отображения внекабинного пространства; 4 – средство имитации информационно-управляющего поля; 5 – вычислительный комплекс со специальным программным обеспечением; 6 – рабочие места инженеров-операторов

результатов экспериментов и их последующую обработку; синтез речевой и акустической информации; подготовку полетного задания, что включает корректировку начальных и атмосферных условий, формирование тактической обстановки и т.д.

Рабочее место летчика одноместного летательного аппарата включает: имитатор информационно-управляющего поля кабины с воспроизведением внешнего вида приборов (может быть реализован с возможностью сенсорного управления), имитаторы органов управления, индикации, кресло одноместного летательного аппарата.

Недостатками комплекса, моделирующего летную операторскую деятельность, являются отсутствие средств контроля выполнения тренирующимся противоперегрузочных приемов и отсутствие имитации воздействия перегрузки на организм (сужение поля зрения, серая и черная пелена, утяжеление управляющих действий).

Конструкторское комплексирование двух рассмотренных видов ИИС осуществляется дооснащением моделирующего комплекса летной операторской деятельности педалями с точным измерением усилия надавливания и системой оперативного медицинского контроля [10-11]. Внешний вид и основные элементы конструкторского решения ИИС с силовыми педалями для точного измерения усилия представлен на *рисунке 3*.

Выполнение защитных приемов должно быть своевременным по отношению к нарастанию и спаду реальной пилотажной перегрузки [12-14]. Таким образом, для обучения и тренировки противоперегрузочных мышечных и дыхательных приемов в наземных условиях необходимо контролировать напряжение мышц тренируемого и его дыхательные движения в процессе выполнения виртуальных маневров на тренажере. Для этого следует применять аппаратные средства, не требующие крепления дополнительных датчиков и устройств на тело тренируемого. Контроль напряжения мышц ног и пресса возможно проводить с помощью датчиков силы линейного растяжения и сжатия, встроенных в педали и в привязную систему кресла. При правильном размещении тренируемого в кресле, подборе высоты кресла и подгонке привязной системы выполнение мышечных противоперегрузочных приемов неизбежно вызовет реакцию опоры в педалях и натяжение плечевых ремней привязной системы. Корректное выполнение противоперегрузочных приемов не требует создания больших усилий давления на педали (до 140 кгс на каждую педаль), как при выполнении классической статоэргометрической пробы. В педалях вполне достаточно применения тензометрических датчиков с рабочим диапазоном до 70 кгс. Сужение рабочего диапазона увеличит возможную точность измерений, погрешность которой должна составлять не более 0,5 кгс. Измерение натяжения плечевых ремней можно проводить с применением датчиков растяжения с рабочим диапазоном до 50 кгс на каждом ремне. Комплексный анализ информации с датчиков в реальном времени позволит определить время и величину мышечного напряжения тренируемого.

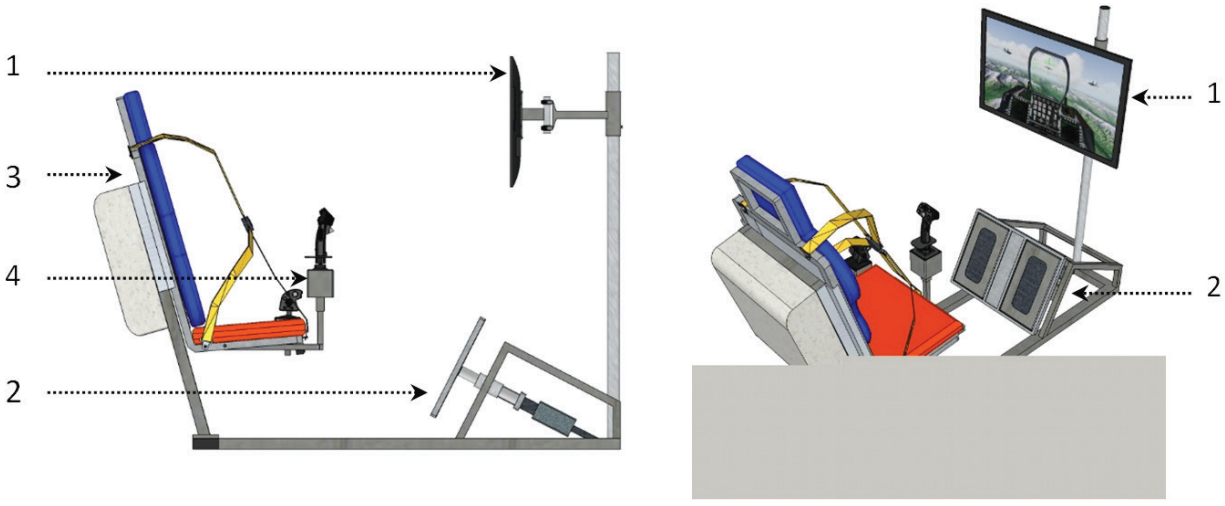


Рис. 3. Внешний вид системы с силовыми педалями: 1 – средство отображения внекабинного пространства; 2 – силовые педали, обеспечивающими измерение усилия; 3 – имитатор кресла летчика; 4 – имитаторы органов управления летательным аппаратом (ручка управления самолетом, рычаг управления двигателем)

Выработка навыков выполнения противоперегрузочных приемов должна проводиться с надетым шлемом и притянутой маской, следовательно, контроль защитных дыхательных приемов целесообразно проводить с помощью датчиков потока (вдоха) встроенных в систему жизнеобеспечения летчика.

Поскольку такие тренировки не связаны со стрессовым физическим воздействием на организм человека, то наличие в комплексе системы объективного медицинского контроля не критично, но желательно для проведения специальных методов исследования.

Новизна предложенных технических решений состоит в том, что нажатие на педали перестает быть основной целью тренировки, а информация, поступающая от датчиков нагрузки на педали и на привязные ремни, анализируется совместно с данными полетной модели виртуального летательного аппарата, за счет этого достигается возможность контроля выполнения противоперегрузочных приемов без применения нательных датчиков.

Таким образом, ИИС для контроля формирования навыка применения противоперегрузочных приемов в процессе летной операторской деятельности должен концептуально состоять из следующих составных частей [11]:

- симулятор кабины летательного аппарата – кресло, универсальная приборная панель, дисплей внекабинного пространства, основные органы управления летательным аппаратом;
- система обеспечения жизнедеятельности экипажа – автомат дыхания и автомат давления;
- система оперативного медицинского контроля с возможностью измерения артериального давления и электрокардиограммы;
- рабочие места операторов комплекса со специальным программным обеспечением;
- система обеспечения речевого обмена;
- видео и аудио протоколирующая система.

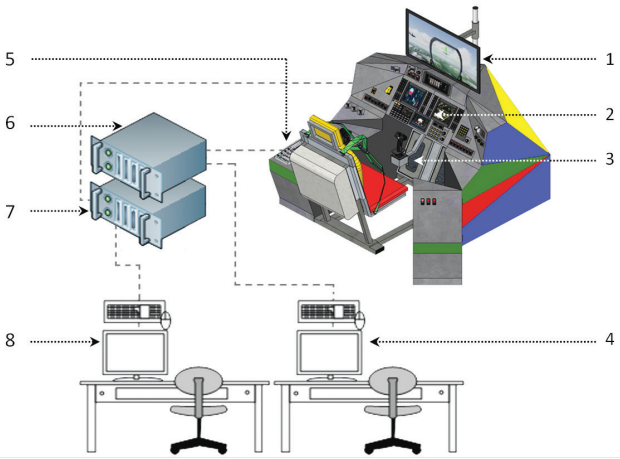


Рис. 4. Внешний вид комплекса для выработки навыка применения противоперегрузочных приемов:
1 – средство отображения внекабинного пространства; 2 – универсальная приборная панель; 3 – имитаторы органов управления летательным аппаратом; 4 – рабочее место врача-оператора комплекса; 5 – система оперативного медицинского контроля и обеспечения жизнедеятельности экипажа; 6 – вычислительный комплекс системы оперативного медицинского контроля и обеспечения жизнедеятельности экипажа; 7 – вычислительный комплекс математических моделей летательного аппарата и внекабинного пространства; 8 – рабочее место инженера-оператора комплекса

Внешний вид и основные элементы такой ИИС представлены на *рисунке 4*.

В процессе обучения летчик занимает положение в кресле, фиксируется привязной системой и устанавливает ноги на педали. По команде оператора тренируемый должен начать выполнение полетного задания с выполнением виражей с перегрузкой и упражнения «погоня за целью». Виртуальная перегрузка рассчитывается вычислительным комплексом в зависимости от управляющих движений органами управления. За секунду до нарастания виртуальной перегрузки, по время действия виртуальной перегрузки и при ее снижении летчик должен выполнять противоперегрузочные приемы. Контроль выполнения производится на вычислительном комплексе системы оперативного медицинского контроля и обеспечения жизнедеятельности экипажа. Недостаточное и несвоевременное выполнение противоперегрузочных приемов должно индицироваться на мониторе оператора комплекса, а летчик должен наблюдать имитацию сужения поля зрения и серой пелены на индикаторах внекабинного пространства и универсальной приборной панели.

Новизна предложенных технических решений состоит также в том, что комплексированием объединяются работы систем управления летательным аппаратом, средств имитации приборов и индикаторов, системы обеспечения жизнедеятельности экипажа, средств отображения внекабинного пространства, системы контроля выполнения противоперегрузочных приемов без применения нательных датчиков, системы объективного медицинского контроля.

Тренировка на подобном комплексе особенно необходима для летчиков не имеющих реального опыта маневренных полетов (курсантов летных училищ, летчиков и штурманов, переучивающиеся на высокоманевренные самолеты) и имеющих значимый перерыв в летной работе (год и более). Такой комплекс позволяет под руководством инструктора сформировать навык технически правильного и своевременного применения противоперегрузочных приемов. В

настоящее время начинающие летчики вынуждены учится выполнять противоперегрузочные приемы в реальных условиях учебно-тренировочного полета, основываясь на устных инструкциях старших коллег.

В будущем подобный комплекс может способствовать разработке более эффективных методов психофизиологической подготовки к переносимости пилотажных перегрузок и оценки этой переносимости в рамках врачебно-летной экспертизы.

Литература

1. Lyons T.J. Assessment of the anti-G straining maneuver (AGSM) skill performance and reinforcement program //Aviation Space and Environmental Medicine. 1997. Vol. 68. PP. 322-324.
2. Филатов В.Н., Шишов А.А., Оленев Н.И. Приоритетные направления совершенствования системы психофизиологической подготовки летного состава маневренной авиации // Полет, 2013. № 9. С.45-50.
3. Yang P. Respiratory muscle training and the performance of a simulated anti-G straining maneuver //Aviation, space, and environmental medicine. 2007. Vol. 78. №. 11. PP. 1035-1041.
4. Chen H.H., Wu Y.C., Kuo M.D. An electromyographic assessment of the anti-G straining maneuver // Aviation, space, and environmental medicine. 2004. Vol. 75. №. 2. PP. 162-167.
5. Филатов В.Н., Клишин Г.Ю. Информационно–измерительная система статоэргометрического тестирования летного состава // Программные системы и вычислительные методы, 2016. № 2. С.136-149.
6. Маряшин Ю.Е., Малащук Л.С., Филатов В.Н. Оценка эффективности комплекса специальных упражнений, направленных на повышение устойчивости летчиков высокоманевренных самолетов к пилотажным перегрузкам // Военно-медицинский журнал, 2014. № 1(335). С.54-55.
7. Приказ Министра обороны Российской Федерации 1999 г. № 455 «Об утверждении Положения о медицинском освидетельствовании летного состава авиации Вооруженных Сил Российской Федерации».
8. Методики исследований в целях врачебно-летной экспертизы. М.: Воениздат, 1995. 340 с.
9. Филатов В.Н., Клишин Г.Ю. Возможности применения современных информационно-измерительных технологий в интересах автоматизации статоэргометрического тестирования летчика // Сборник трудов X международной научной конференции «Системный анализ в медицине». Благовещенск, 2016. С.56-58
10. Клишин Г.Ю., Филатов В.Н. Тренажер для обучения навыкам выполнения противоперегрузочного приема. Патент на промышленный образец RU № 100526. Опубл. 16.11.2016 г., бюлл. № 11.
11. Клишин Г.Ю., Филатов В.Н., Хоменко М.Н., Рыженков С.П., Богомолов А.В. Биоадаптивная информационно-измерительная система анализа и прогнозирования индивидуального уровня развития статической выносливости и переносимости пилотажных перегрузок. Патент на промышленный образец № 101588. Опубл. 16.10.2017 г., бюлл. № 10.
12. Никифоров Д.А., Ворона А.А., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Методика оценивания потенциальной ненадежности действий летчика // Безопасность жизнедеятельности, 2015. №7(175). С.7-16.
13. Бухтияров И.В., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Васильев А.Ю., Ядов В.В. Оценка кумулятивных эффектов влияния пилотажных перегрузок на шейный отдел позвоночника летчиков маневренных самолетов // Авиакосмическая и экологическая медицина, 2001. № 3(35). С.18-24.
14. Маряшин Ю.Е., Малащук Л.С., Филатов В.Н. Влияние различных методов физической тренировки на повышение специальных физических качеств летчиков маневренной авиации // Военно-медицинский журнал, 2018. № 3(339). С.61-68.

УДК 661.9

КОНКУРИРУЮЩИЕ ВАРИАНТЫ СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ АЗОТНЫХ АДСОРБЦИОННО-КРИОГЕННЫХ УСТАНОВОК КРИОТЕРМОВАКУУМНЫХ КАМЕР ДЛЯ ТЕРМОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

COMPETING VARIANTS OF STRUCTURAL-TECHNOLOGICAL SCHEMES OF NITROGEN ADSORPTION-CRYOGENIC INSTALLATIONS OF CRYOTHERMIC VACUUM CHAMBERS FOR THERMAL VACUUM TESTS OF SPACECRAFT

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

Изучены и рассмотрены принципиальные технологические схемы адсорбционно-криогенных установок обратной конденсации (УОК) паров азота, образующихся в азотных экранах криотермовакуумной камеры с азотной жидкостной системой. Произведен выбор базового варианта схемы адсорбционно-криогенной УОК и типов машинного и технологического оборудования на основании результатов сопоставительного анализа показателей термодинамического совершенства и надежности конкурирующих вариантов.

В качестве конкурирующих вариантов рассмотрены схемы УОК, в основу которых положены:

1) рефрижераторный цикл Клода среднего давления с двумя турбодетандерами;

2) рефрижераторный цикл низкого давления с дожатием детандерного потока в компрессорной ступени газопарового детандера;

3) рефрижераторный цикл низкого давления с дожатием в компрессорной ступени влажно-парового детандера прямого потока азота.

Проведены оптимизационные расчеты показателей термодинамической эффективности конкурирующих вариантов схем УОК. Выполнено сравнение надежности конкурирующих вариантов схемы УОК по средней наработке УОК до отказа.

Ключевые слова: азотная адсорбционно-криогенная установка, азотные экраны, влажно-паровой турбодетандер, криотермовакуумная камера, надежность, установка обратной конденсации, эксергетический КПД.

Summary

The basic technological schemes of adsorption-cryogenic reverse condensation units (RCS) of nitrogen vapors formed in nitrogen screens of a cryothermic vacuum chamber with a nitrogen liquid system are Studied and considered. The choice of the basic variant of the scheme of adsorption-cryogenic RCS and types of machine and technological equipment is made on the basis of the results of the comparative analysis of indicators of thermodynamic perfection and reliability of competing variants.

As competing options, the RCS schemes are considered, which are based on:

1) medium pressure Claude refrigeration cycle with two turbo expanders;

2) low pressure refrigeration cycle with expander flow compression in the compressor stage of the gas-steam expander;

3) low pressure refrigeration cycle with compression in the compressor stage of the wet-steam expander of the direct nitrogen flow.

Optimization calculations of indicators of thermodynamic efficiency of competing variants of schemes of RCS are carried out. Comparison of reliability of competing variants of the RCS scheme on average operating time of RCS to failure is carried out.

Keywords: nitrogen adsorption-cryogenic unit, nitrogen screens, wet-steam turbo expander, cryothermic vacuum chamber, reliability, reverse condensation unit, exergy efficiency.

Введение

Повышение эффективности наземной отработки является одним из основных условий совершенствования и повышения надежности образцов ракетно-космической техники (РКТ) и, в значительной мере, определяется состоянием экспериментальной базы отрасли, позволяющей, в частности, проводить термовакуумные испытания космических аппаратов в криотермовакуумных камерах (КТВК) с азотной жидкостной системой.

Существующая отраслевая экспериментальная база, практически по всем направлениям экспериментальных исследований, создавалась еще в 80-х годах XX века. Применяемое в настоящее время испытательное оборудование многократно выработано по своему ресурсу, морально и физически устарело и большей частью не подлежит ремонту и восстановлению, поскольку подобная техника сегодня уже просто не производится. Данное оборудование нуждается в существенном обновлении и модернизации, в том числе азотные ожижительно-рефрижераторные установки, обеспечивающие охлаждение азотных экранов КТВК.

КТВК представляет собой камеру, внутри создается разряжение, достигающее 10^{-7} Па. Криоэкраны КТВК, охлаждаемые жидким азотом, имитируют теплообмен в условиях открытого космоса. В связи с этим одной из основных систем КТВК является азотная жидкостная система.

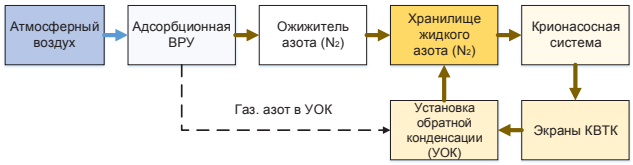


Рис. 1. Блок-схема азотной жидкостной системы

Блок-схема азотной жидкостной системы, построенной на основе адсорбционно-криогенной (АК) технологии, представлена на *рисунке 1*.

Использование АК-технологии является одним из качественно новых факторов, позволяющим строить автоматизированные эффективные АК-системы азотообеспечения испытаний РКТ с подсистемами дистанционного управления и контроля. АК-системы азотообеспечения существенно превосходят криогенные системы аналогичного назначения по ряду основных показателей технического уровня, в том числе по: показателям надежности, включая пусковую надежность; по продолжительности предпусковой подготовки и длительности работы.

Задача создания АК-установок и систем повышенной надежности и эффективности может быть решена с помощью адсорбционно-криогенной технологии азотообеспечения, базирующейся на процессах: адсорбционного разделения воздуха; получения и бездренажного хранения жидкого азота при повышенном давлении; реконденсации холодных паров азота; влажно-парового детандирования.

АК-технология и АК-установки и системы, построенные на ее основе, обеспечат:

1) повышение удельной холодопроизводительности детандерного цикла турбомашинной установки реконденсации паров азота в результате использования влажно-парового детандирования;

2) увеличение коэффициента ожижения криогенного цикла и производительности ожижителя за счет получения жидкого азота при повышенном давлении;

3) повышение коэффициента готовности АК-системы за счет использования бездренажного хранения оперативного запаса жидкого азота.

Применение АК-технологии позволяет стро-

ить автоматизированные адсорбционно-криогенные системы азотообеспечения, существенно превосходящие эксплуатируемые в настоящее время в России и за рубежом криогенные системы аналогичного назначения по основным показателям технического уровня, в том числе: по эксплуатационной надежности, весовым характеристикам, времени пуска и пусковой надежности, продолжительности рабочей компании при сопоставимых показателях энергоэффективности.

1. Выбор конкурирующих вариантов структурно-технологических схем азотных АК-установок для заданных выходных режимных параметров

В качестве конкурирующих вариантов рассмотрены схемы, в основу которых положены:

1) цикл Клода среднего давления с двумя турбодетандерами;

2) цикл низкого давления с дожатием детандерного потока в компрессорной ступени;

3) цикл низкого давления с дожатием потока в компрессорной ступени, влажно-паровым детандером и переохладителем.

Циклы низкого давления достаточно просто реализуются. Благодаря невысокой степени повышения давления ($n_к$ < 5) сжатие азота может быть произведено в турбокомпрессорах, либо в двухступенчатых винтовых компрессорах, обладающих большим изотермическим коэффициентом полезного действия (КПД) по сравнению с поршневыми машинами, применяемыми в цикле среднего давления. Низкое давление позволяют применять пластинчато-ребристые теплообменные аппараты, обладающие большей компактностью по сравнению с витыми трубчатыми.

1.1. Исходные данные для расчетов вариантов схем:

1) температура азота на входе: T_1=300 К;

2) температура стенки в теплообменнике нагрузки: 80 К;

3) расход азота: 1 кг/с.

1.2. Принятые допущения:

1) суммарные потери сжатого азота на утечки от массы азота, поступающего в цикл, примем:

- для схемы среднего давления: $\Sigma(\delta_y)$ = 0,05 (5%);
- для схем низкого давления с детандер-компрессором: $\Sigma(\delta_y)$ = 0,02 (2%),

подпиточный азот производится в адсорбционной воздухоразделительной установке (ВРУ);

2) гидравлические потери в теплообменниках и элементах тракта системы отсутствуют;

3) теплопритоки из окружающей среды отсутствуют;

4) недорекуперация обратного потока на «горячем» конце в верхнем теплообменном аппарате 7 К;

5) недорекуперация прямого потока на «холодном» конце в теплообменном аппарате перед дросселем 1 К;

6) минимальная величина теплового напора во втором теплообменном аппарате 3 К;

7) недорекуперация в концевом холодильнике отсутствует;

8) в схемах низкого давления работа детандера используется для дополнительного сжатия в дожимающем компрессоре, находящемся на валу детандера, при этом, механический КПД системы подвески ротора $\eta_{мех}$ = 0,98;

9) в цикле среднего давления промежуточное давление p_{7_d} = 0,7 МПа;

10) в теплообменнике полезной нагрузки жидкость испаряется полностью;

11) паросодержание на выходе из влажно-парового детандера: 0,95.

1.3. Расчетные схемы

Расчетные схемы для установок обратной конденсации (УОК): А, Б, В, построенные в системе ASPEN HYSYS (v 8.4), представлены на *рисунках 2-4* соответственно.

Состояние потока вещества в любой точке схемы зависит от двух величин: давления и температуры.

Для полного определения каждой расчетной точки цикла необходимо также задать или определить расход. Таким образом, на начальном этапе расчета полностью определены точки 1, 2 и 3 (для всех схем), а также точка выхода из системы (т.17 (сх. А), т.14 (сх. Б) и т.16 (сх. В)). Неизвестными величинами являются:

- давление потока после дожимающего компрессора,
- температура потока перед дросселем,
- температуры потока между теплообменными аппаратами;
- доля детандерного потока.

Для определения указанных неизвестных величин использовались ограничения, задаваемые в свойствах теплообменных аппаратов (величина недорекуперации и минимальный тепловой напор), а также рециклы, пересчитывающие входные параметры до достижения сходимости.

Изоэнтропный КПД детандеров циклов низкого давления, а также детандера № 2 цикла среднего давления были определены по [1,5]. КПД детандера № 1 цикла среднего давления был также определен по [1,5]. Для определения КПД был произведен пересчет расхода газа по эквивалентной формуле:

$$m_{пр}=m(p_{пр}/p_0)\cdot\sqrt{(T_0/T_{пр})} \quad (1)$$

(по [1,5]), где индекс «*пр*» соответствует заданным параметрам приведения, индекс «0» соответствует параметрам потока, входящего в детандер. Результаты расчета представлены в *таблицах 1 и 2*.

Результаты вычислительных экспериментов с ТОА №№ 1-3 схем А, Б, В представлены на *рисунках 5 а)-и)*.

2. Параметрическая оптимизации конкурирующих вариантов схем АК-установок

2.1. Параметрическая оптимизация схемы А (УОК среднего давления)

Оптимизация проводится после нахождения рабочей точки УОК.

Постановка задачи:

1. *Оптимизируемый параметр* – температура входа в ТОА-2, $T_5 \in [160; 170]$;

2. *Целевая функция* - q_x;

3. *Критерий поиска* – max.

Для поиска максимума был произведен расчет вариантов с шагом 0,01. Результат расчета вариантов представлен на *рисунке 6*.

Эксергетический КПД (η_{ex}) установки обратной конденсации определяется из выражения:

$$\eta_{ex}=(Q_0 \cdot \tau_e)/l_p \,, \qquad (2)$$

где l_p – затраты работы в реальном цикле;

Q_0 – холодопроизводительность УОК;

τ_e - эксергетическая температурная функция.

Эксергетический КПД схемы $(\eta_{ex})_A = 0{,}365$.

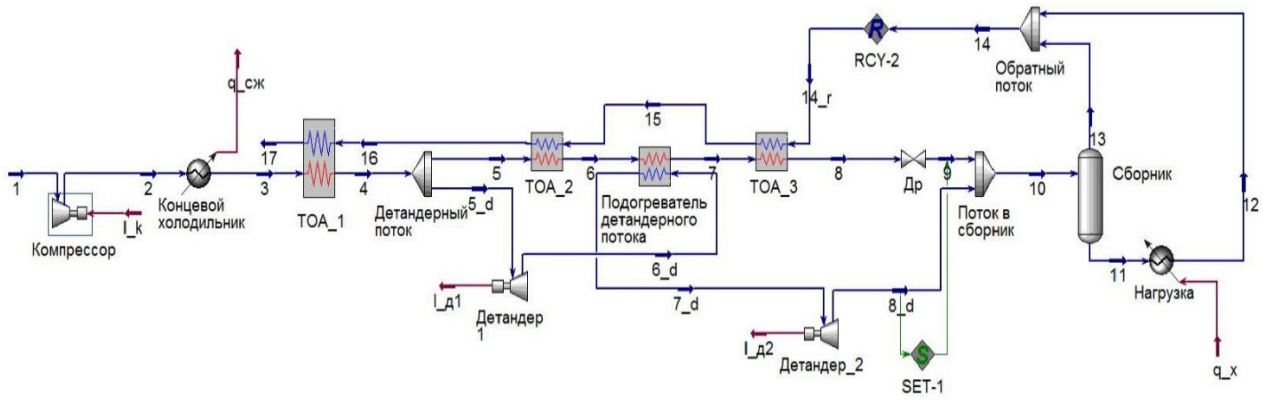


Рис. 2. Расчетная схема цикла среднего давления (сх. А)

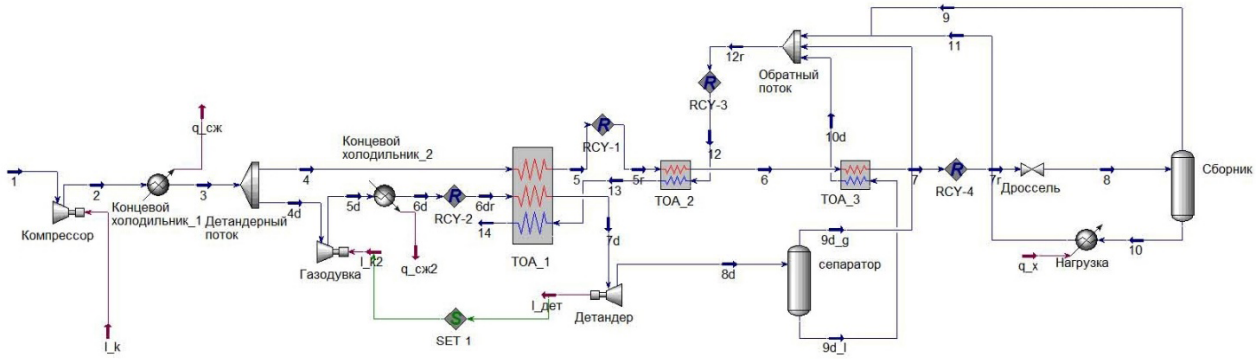


Рис. 3. Расчетная схема цикла низкого давления со сжатием детандерного потока в дожимающем компрессоре (сх. Б)

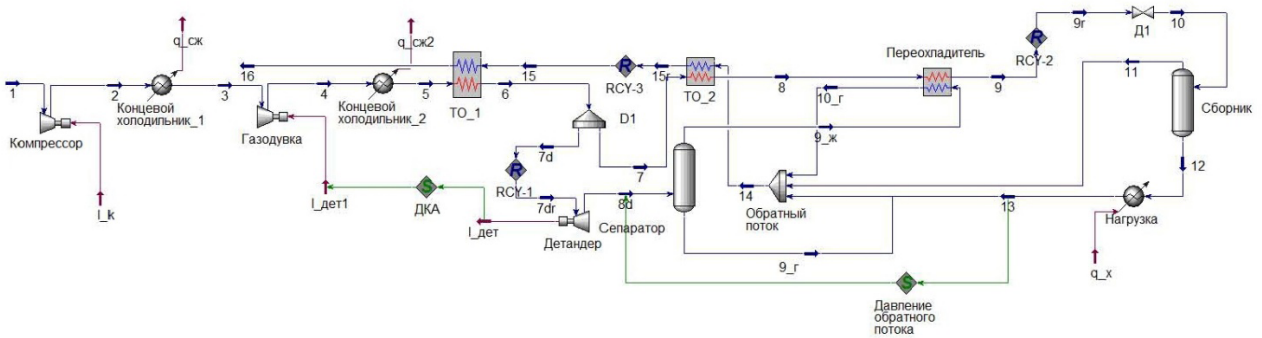


Рис. 4. Расчетная схема цикла низкого давления с дожатием потока в дожимающем компрессоре и переохладителем (сх. В)

Таблица 1

Значения параметров детандеров (см. (1))

Параметр	Температура приведения ($T_{пр}$), К	Давление приведения ($p_{пр}$), МПа
Детандер низкого давления	120	0,6
Детандер среднего давления	170	4,0

Таблица 2

Значения параметров на входе в детандер, приведенного расхода и изоэнтропного КПД

Параметр	Температура на входе ($T_{вх}$), К	Давление на входе* ($p_{вх}$), МПа	Приведенный расход m, кг/с	Изоэнтропный КПД η_s
Детандер № 1, схема А	154,0	3,100	0,82	0,82
Детандер № 2, схема А	99,7	0,700	0,82	0,84
Детандер, схема Б	115,2	0,910	0,80	0,83
Детандер, схема В	118,6	0,917	0,85	0,85
Примечание: * после компрессорной ступени детандер-компрессора				

1.4. Расчеты схем: А, Б, В

Исходные данные для расчета схем представлены в *таблице 3*.

Таблица 3

Исходные данные для расчета схем: А, Б, В

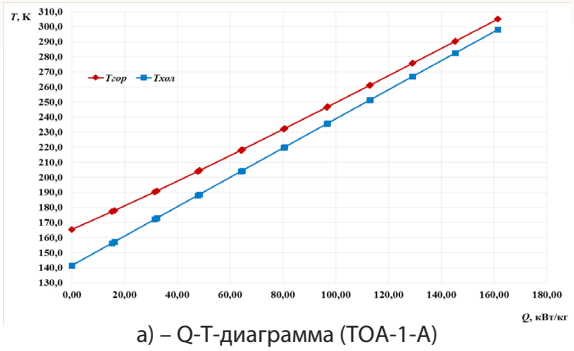
Параметр	Сх. А	Сх. Б	Сх. В
Давление прямого потока, МПа	3,100	0,700	0,700
Давление обратного потока, МПа	0,125	0,125	0,125
Температура газа на входе, К	300,0	300,0	300,0
Температура газа на выходе из концевого холодильника, К	305,0	305,0	305,0
Изотермический КПД компрессора	0,6*	0,63**	0,63***
Примечание: *) по рекомендациям для машин среднего давления [2, 5]; **) по рекомендациям для машин низкого давления [2]; ***) по рекомендациям для центробежных машин [2, 5].			

Параметры теплообменных аппаратов (ТОА), включенных в схемы: А, Б, В, представлены в *таблицах 4.1, 4.2*.

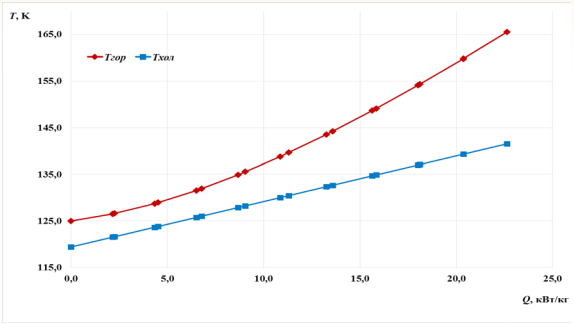
Таблица 4.1

Параметры ТОА №№ 1-3 схем А, Б

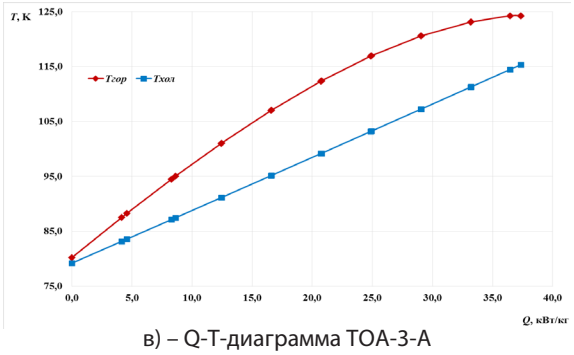
Параметры	ТОА-1-А	ТОА-2-А	ТОА-3-А	ТОА-1-Б	ТОА-2-Б
Температура входа прямого потока, К	305,00	154,00	124,30	305,00	113,80
Температура выхода прямого потока, К	165,50	126,00	80,20	113,80	98,50
Температура входа детандерного потока, К	-	-	-	305,00	-
Температура выхода детандерного потока, К	-	-	-	113,80	-
Температура входа обратного потока, К	141,50	119,40	79,18	97,66	79,95
Температура выхода обратного потока, К	298,00	141,50	119,40	298,00	97,50
Средняя логарифмическая разность температур, К	13,80	12,64	-	10,65	
Доля пара прямого потока на входе	-	-	0,35	-	1,00
Доля пара прямого потока на выходе	-	-	0,00	-	0,18
Тепловая нагрузка, кВт	161,30	22,63	41,51	206,30	18,47
Допущение: недорекуперация на «горячем» конце ТОА, К	7,00	5,00	-	7,00	-
Допущение: минимальный температурный напор в ТОА, К	-	-	-	-	3,00
Допущение: недорекуперация на «холодном» конце ТОА, К	-	-	1	-	-
Допущение: температуры детандерного и прямого потоков на выходе из теплообменника равны	-	-	-	+	-



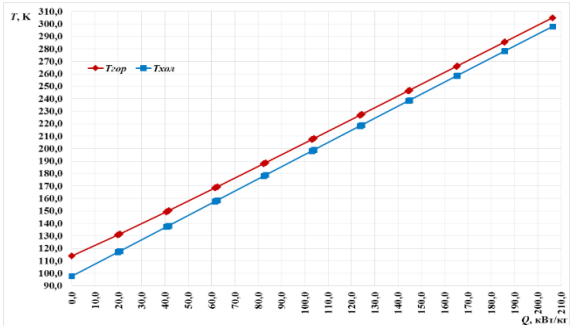
а) – Q-T-диаграмма (ТОА-1-А)



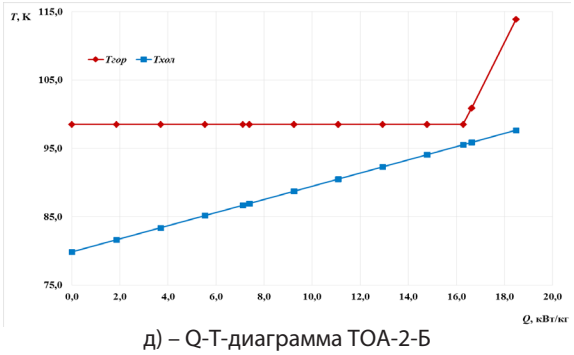
б) – Q-T-диаграмма ТОА-2-А



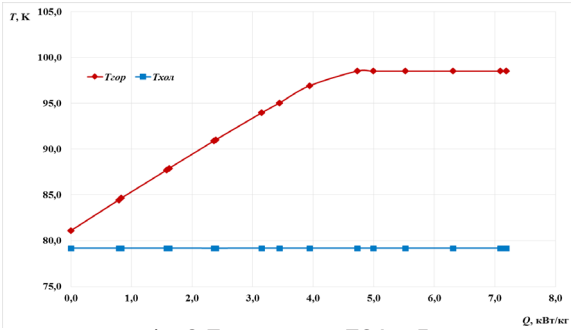
в) – Q-T-диаграмма ТОА-3-А



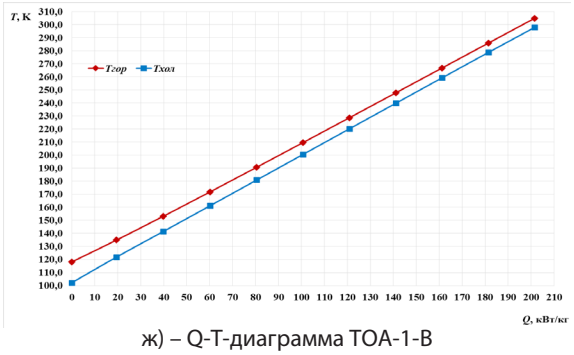
г) – Q-T-диаграмма ТОА-1-Б



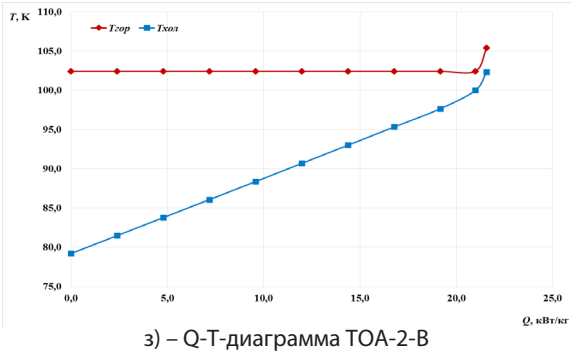
д) – Q-T-диаграмма ТОА-2-Б



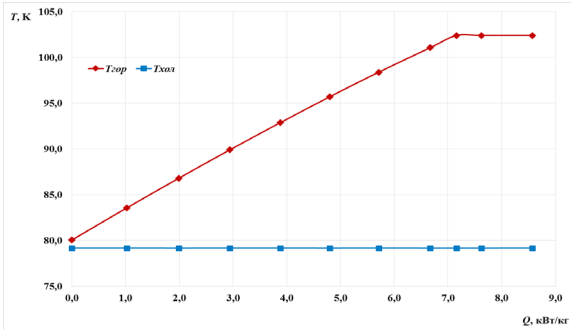
е) – Q-T-диаграмма ТОА-3-Б



ж) – Q-T-диаграмма ТОА-1-В



з) – Q-T-диаграмма ТОА-2-В



и) – Q-T-диаграмма ТОА-3-В

Рис. 5. Результаты вычислительных экспериментов в виде Q-T-диаграмм ТОА №№ 1-3 схем А, Б, В

Таблица 4.2

Параметры ТОА №№ 1-3 схем Б, В

Параметры	ТОА-3-Б	ТОА-1-В	ТОА-2-В	ТОА-3-В
Температура входа прямого потока, К	98,52	305,00	118,60	102,40
Температура выхода прямого потока, К	81,04	118,60	102,40	80,96
Температура входа обратного потока, К	79,20	102,30	79,18	79,18
Температура выхода обратного потока, К	97,52	298,00	102,40	79,18
Средняя логарифмическая разность температур, К	-	11,00	-	-
Доля пара прямого потока на входе	0,18	-	0,10	0,10
Доля пара прямого потока на выходе	0,00	-	0,00	0,00
Доля пара обратного потока на входе	0,00	-	1,00	0,00
Доля пара обратного потока на выходе	1,00	-	1,00	1,00
Тепловая нагрузка, кВт	7,90	201,00	24,06	9,24
Допущение: недорекуперация на «горячем» конце ТОА, К	-	7,00	-	-
Допущение: минимальный температурный напор в ТОА, К	1,00	-	3,00	1,00

2.2. Параметрическая оптимизация схемы Б и В (УОК низкого давления)

Постановка задачи:

1. Оптимизируемый параметр – паросодержание азота на выходе из турбодетандера x, $x \in [0{,}950; 0{,}999]$;

2. Давление перед детандером – 0,9 МПа;

3. Целевая функция - эксергетический КПД криоблока УОК $(\eta_{ex})_{криоблока}$;

4. Критерий поиска – max.

Для поиска максимума $(\eta_{ex})_{криоблока}$ произведен расчет вариантов с шагом 0,05 при КПД детандера $\eta_s = 0{,}75$ и давлении перед детандером 0,90 МПа. В результате перехода с газопарового на влажно-паровое детандирование (x = 95%) эксергетический КПД криоблока УОК увеличился в 1,55 раза (с 0,241 до 0,374).

3. Определение термодинамических характеристик и показателей надежности конкурирующих вариантов АК-установок

3.1. Эксергетический КПД $(\eta_{ex})_A$ схемы А

1. При вышеприведенных исходных данных и допущениях расчета схемы I получено значение: $(\eta_{ex})_A = 0{,}365$.

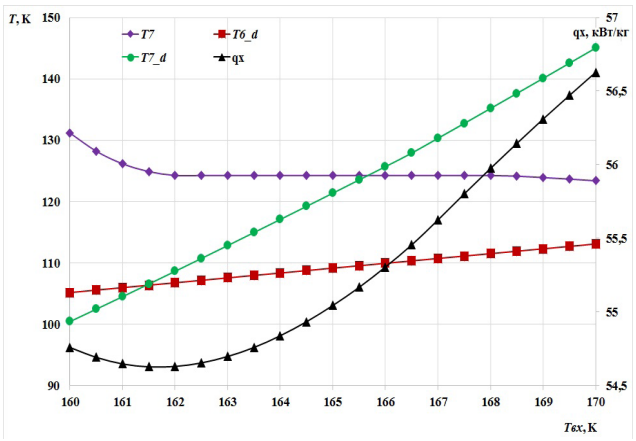


Рис. 6. Зависимость $q_x = f(T_5)$ для схемы А

2. При определении значения $(\eta_{ex})_A$ с учетом:

- суммарных потерь сжатого азота на утечки в долях от массы азота, поступающего в цикл среднего давления: $\Sigma(\delta_y) = 0{,}05$;
- коэффициента гидравлических потерь (j) при расчете расхода энергии на сжатие азота: $j = 1{,}15$;

а также для значений:

- изотермического КПД компрессора: $(\eta_{азот})_A = 0{,}605$;
- изоэнтропных КПД детандеров: $(\eta_s)_{верхнего} = 0{,}75$; $(\eta_s)_{нижнего} = 0{,}80$.

Для схемы А получено значение: $(\eta_{ex})'_A = 0{,}275$.

3.2. Надежность схемы А

Надежность схемы оценивается для случая последовательного соединения элементов [3-5]. Схема состоит из двух турбодетандеров, одного компрессора среднего давления, четырех ТОА, коммуникаций.

Вероятность отказа для каждого элемента в отдельности:

- компрессор среднего давления: $\lambda_i = 2 \cdot 10^{-4}$ час$^{-1}$;
- ТОА: $\lambda_i = 10^{-5}$ час$^{-1}$;
- турбодетандер: $\lambda_i = 2 \cdot 10^{-5}$ час$^{-1}$;
- криогенные коммуникации: $\lambda_i = 10^{-5}$ час$^{-1}$.

Вероятность отказа последовательно соединенных элементов определяется как сумма вероятностей: $\lambda_\Sigma = \Sigma\lambda_i = 2 \cdot 10^{-4}$ час$^{-1}$.

Время наработки на отказ: $\tau_{отк} = 1/\lambda_\Sigma = 8{,}33 \cdot 10^3$ час.

3.3. Эксергетический КПД $(\eta_{ex})_Б$ схемы Б

1. При вышеприведенных исходных данных и допущениях в результате расчета схемы Б получено значение: $(\eta_T)_Б = 0{,}264$.

2. При определении $(\eta_T)_Б$ с учетом: $\Sigma(\delta_y)_i = 0{,}02$; $j = 1{,}15$, а также для значений: $(\eta_{азот})_Б = 0{,}623$; $(\eta_s)_Б = 0{,}80$ (для газопарового детандирования) получено значение для схемы Б: $(\eta_{ex})'_Б = 0{,}150$.

3.4. Надежность схемы Б

Надежность схемы оценивается для случая последовательного соединения элементов [3-5]. Схема состоит из одного детандерно-компрессорного агрегата, одного компрессора низкого давления, трех ТОА и коммуникаций.

Вероятность отказа для каждого элемента в отдельности:

- компрессор низкого давления: $\lambda_i = 5 \cdot 10^{-5}$ час$^{-1}$;
- ТОА: $\lambda_i = 10^{-5}$ час$^{-1}$;
- турбодетандер: $\lambda_i = 2 \cdot 10^{-5}$ час$^{-1}$;
- турбокомпрессор $\lambda_i = 2 \cdot 10^{-5}$ час$^{-1}$;
- криогенные коммуникации $\lambda_i = 10^{-5}$ час$^{-1}$;

Вероятность отказа последовательно соединенных элементов определяется как сумма вероятностей: $\lambda_\Sigma = \Sigma\lambda_i = 1{,}2 \cdot 10^{-4}$ час$^{-1}$.

Время наработки на отказ: $\tau_{отк} = 1/\lambda_\Sigma = 8{,}33 \cdot 10^3$ час.

3.5. Эксергетический КПД $(\eta_{ex})_B$ схемы В

1. При вышеприведенных исходных данных и допущениях в результате расчета схемы В получено значение: $(\eta_T)_B = 0{,}332$.

2. При определении $(\eta_T)_B$ с учетом: $\Sigma(\delta_y)_i = 0{,}02$; $j = 1{,}15$, а также для значений: $(\eta_{изот})_B = 0{,}623$; $(\eta_s)_B = 0{,}75$ (для влажнопарового детандирования при паросодержании $x = 0{,}95$) получено значение для схемы В: $(\eta_{ex})'_B = 0{,}233$.

3.6. Надежность схемы В

Надежность схемы В (ввиду однотипности ее со схемой Б) определяется также, как и для схемы Б. Вероятность отказа для каждого элемента в отдельности, а также вероятность отказа всей схемы равна соответственным вероятностям схемы Б. Время наработки на отказ для схемы В равно аналогичному для схемы Б.

Заключение

Проведен сопоставительный анализ показателей термодинамического совершенства и надежности трех конкурирующих вариантов схемы адсорбционно-криогенной установки обратной конденсации паров азота при T=80 К производительностью 600,0...900,0 л/час, в основу которых положены:

- рефрижераторный цикл Клода среднего давления с двумя турбодетандерами;
- рефрижераторный цикл низкого давления с дожатием детандерного потока в компрессорной ступени газопарового турбодетандера;
- рефрижераторный цикл низкого давления с дожатием прямого потока азота в компрессорной ступени влажно-парового турбодетандера.

В результате проведенного сопоставительного анализа установлено, что:

- эксергетический КПД рефрижераторного цикла низкого давления с детандированием в область влажного пара примерно на 30% выше, чем у цикла низкого давления с детандированием перегретого пара азота на правую пограничную кривую и примерно на 20% ниже, чем у цикла Клода с двухступенчатым детандированием перегретого пара азота;
- по средней наработке на отказ ($\tau_{отк}$) установка обратной конденсации с турбодетандером среднего давления значительно уступает установке обратной конденсации с турбодетандером низкого давления: $\tau_{отк}$ установки обратной конденсации среднего давления составляет $3{,}33 \cdot 10^3$ час, тогда как $\tau_{отк}$ установки обратной конденсации низкого давления составляет $8{,}33 \cdot 10^3$ час;
- расход азота адсорбционного разделения на компенсацию утечек у турбомашинной установки обратной конденсации среднего давления примерно в 2,5 раза больше, чем у турбомашинной установки обратной конденсации низкого давления.

По результатам проведенного сопоставительного анализа показателей термодинамического совершенства и надежности конкурирующих вариантов в качестве базового варианта схемы адсорбционно-криогенной установки обратной конденсации и типов машинного и технологического оборудования выбрана схема УОК, построенная по рефрижераторному циклу низкого давления с влажно-паровым турбодетандером, с пластинчато-ребристыми теплообменниками и адсорбционной ВРУ для обеспечения непрерывного функционирования УОК.

Литература

1. Розеноер Т.М. Расчет турбодетандера: Методические указания по курсу «Турбомашины низкотемпературной техники». М.: Изд-во УНЦ МГТУ им. Н.Э. Баумана «Криоконсул», 2002. 80 с.

2. Архаров И.А., Александров А.А., Навасардян Е.С. Теория и расчет циклов криогенных систем. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 159 с.

3. Белов П.Г. Моделирование опасных процессов в техносфере. М.: Изд-во Академии гражданской защиты МЧС РФ, 1999. 124 с.

4. Буткевич И.К. Качество и надежность криогенных систем: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 52 с.

5. 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: Научно-технический отчет о СЧ НИР шифр «Норма-ИИФ» (промежут.) / МОУ «ИИФ»; руководитель В.В. Редькин. Инв. № 67/И. Серпухов, 2016. 109 с.: ил. Отв. исполнитель А.И. Смородин. Библиогр.: С. 105.

УДК 629.78

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНО-ПУСКОВОГО УСТРОЙСТВА ДЕТОНАЦИОННОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY OF CREATING A SAFETY-STARTING DEVICE DETONATION PRINCIPLE OF ACTION

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(4967)35-31-93
E-mail: svs_iif@mail.ru

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

Андрей Евгеньевич Салько
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

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 предохранительно-пускового устройства на основе линейных детонирующих зарядов, обеспечивающего защиту детонационных цепей систем пироавтоматики от несанкционированных внешних воздействий и формирующего линию взведения исполнительных механизмов.
Ключевые слова: линейный детонирующий заряд; предохранительно-пусковое устройство; инициирующее устройство.

Summary
The article considers the option of constructing a safety-starting device based on linear detonating charges, which protects the detonation circuits of pyroautomatics systems from unauthorized external influences and forms a cocking line for actuators.
Keywords: linear detonating charge; safety starting device; initiating device.

Предохранительно-пусковые устройства (ППУ) предназначены для надежной защиты (блокирования) детонационных цепей от различного рода случайных и паразитных сигналов, а также несанкционированных воздействий на них извне и гарантированного прохождения по программе (циклограмме) команд на срабатывание исполнительных устройств и механизмов, использующих энергию высокоэнергетических конденсированных систем.

К настоящему времени известно большое количество подобного рода устройств, которые широко применяются как в изделиях ракетно-космической, так и другой техники [1,2,3]. В основном это устройства пиромеханического или электромеханического принципа действия.

Общими для них недостатками являются сложность конструкции, наличие большого количества деталей и узлов, обязательное применение вращающихся, прокручивающихся на установленный угол вокруг оси или линейно перемещающихся деталей, пружин различных типов, которые длительное время находятся в сжатом или растянутом состоянии, различных приводов и т.д. Все это отрицательно сказывается на массово-габаритных характеристиках

таких устройств, ведет к повышенному энергопотреблению и снижению надежности функционирования.

Иным вариантом построения ППУ может быть устройство детонационного принципа действия, позволяющее по нашему мнению существенно упростить конструкцию, снизить массово-габаритные характеристики и повысить надежность. Схема детонационного ППУ представлена на *рисунке 1*.

Конструкция устройства включает три однотипных, но разной длины отрезка линейных детонирующих зарядов (ЛДЗ) малого калибра: взведения, предохранения и служебного применения, помещенных в выфрезерованные в корпусе устройства каналы заданной конфигурации, и два детонатора. В качестве ЛДЗ могут быть использованы отрезки либо штатных детонирующих удлиненных зарядов (ДУЗ) круглого сечения, снаряженных высокобризантными кристаллическими взрывчатыми веществами (ВВ) (гексогеном или октогеном) в металлических (алюминиевых или медных) оболочках, либо аналогичные заряды, снаряженные эластичным взрывчатым веществом (ЭВВ). С практической точки зрения наиболее приемлемы заряды в металлической оболочке. Применение их обусловлено тем, что критический диаметр детонации снаряжения (взрывчатых веществ) при наличии прочной оболочки составляет доли миллиметров. Например, у мелкокристаллического гексогена или октогена с размером кристаллов 1 ÷ 10 мкм критический диаметр детонации составляет порядка 0,5 мм [4], а у высокочувствительных и высокобризантных ЭВВ на основе бензотрифуроксана – порядка 0,2 мм [5], что позволяет использовать ДУЗы калибром (наружным диаметром) менее 1,0 мм. Этим достигается с одной стороны низкий уровень побочных ударно-волновых нагрузок на расположенные в непосредственной близости бортовую чувствительную и прецизионную служебную, научную и специальную аппаратуру, узлы и агрегаты при срабатывании устройства, а с другой – приемлемый уровень механического воздействия на разрушаемые заряды.

Принцип работы детонационного ППУ заключается в следующем. При подаче команды-сигнала от бортовой системы управления срабатывают последовательно инициирующее устройство (ИУ) взведения 1, за ним с определенной временной уставкой – ИУ пусковое 2. ИУ взведения 1 через заряд-усилитель 3 вызывает детонацию в ЛДЗ взведения 7. В точке пересечения ЛДЗ взведения с ЛДЗ предохранения 6 (на *рисунке 1* – т.А) происходит перебивание последнего. От ИУ пускового 2 через заряды-усилители 3 срабатывают одновременно два ЛДЗ: предохранения 6 и служебного применения 5.

Детонация по ЛДЗ предохранения 6, дойдя до т.А, заглохнет. По ЛДЗ служебного применения 5 она свободно пройдет точку пересечения В (перебьет в ней оставшийся несдетонированным отрезок ЛДЗ предохранения (между точками А и В) и через концевой заряд-усилитель 3 возбудит взрывчатое превращение в снаряжении детонатора 8, от которого детонационный импульс по заряду-транслятору передастся исполнительным устройствам (механизмам) летательного аппарата.

При поступлении на предлагаемое устройство ложного сигнала (случайного, паразитного или сигнала от несанкционированного вмешательства) возможны три варианта развития события.

При подаче ложного сигнала на ИУ взведения 1 сработает ЛДЗ взведения 7 и в точке А перебьет ЛДЗ предохранения 6. Предохранительно-пусковое устройство перейдет во взведенное состояние, но ИУ пусковое 2 будет заблокировано, срабатывание ЛДЗ служебного применения 5 не произойдет.

При подаче ложного сигнала на ИУ пусковое 2 сработают одновременно два ЛДЗ: служебного применения 5 и предохранения 6.

В силу того, что протяженность ЛДЗ предохранения 6 много меньше ЛДЗ служебного при-

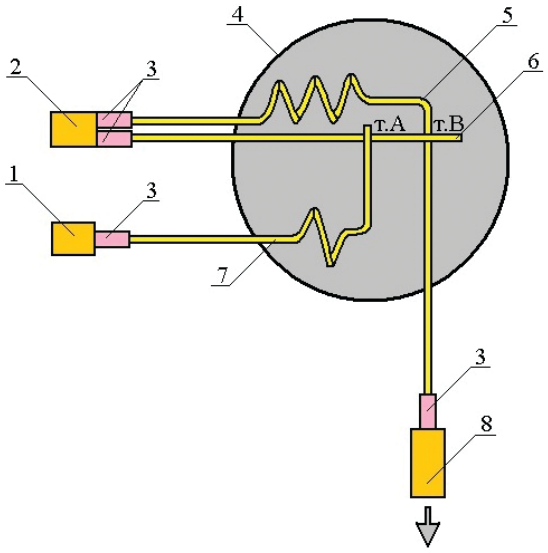


Рис. 1. Схема детонационного предохранительно-пускового устройства:
1 – инициирующее устройство взведения; 2 – пусковое устройство; 3 – заряды-усилители; 4 – корпус; 5 – линейный детонирующий заряд служебного применения; 6 – линейный заряд предохранения; 7 – линейный заряд взведения; 8 – детонатор исполнительного механизма

менения 5, детонационный импульс по линии предохранения достигнет точки пересечения В (см. *рисунок 1*) намного раньше, чем он дойдет до этой же точки В по линии служебного применения. ЛДЗ служебного применения 5 будет в т. В перебит; детонация его в дальнейшем направлении к детонатору 8 будет прервана. Ложного или несанкционированного срабатывания исполнительных детонационных устройств или основного заряда ВВ не произойдет.

Вполне очевидно, что для надежного функционирования устройства необходимо выполнить ряд условий. Прежде всего, во-первых, обеспечить перебивание детонирующих зарядов служебного применения и предохранения без инициирования взрывчатого превращения в них, которое может наступить в результате ударно-волновых воздействий. Во-вторых, исключить возможность передачи какого-либо взрывчатого превращения между отрезками перебитого заряда через образовавшийся зазор. Кроме того, срабатывание зарядов взведения и предохранения не должно приводить к нарушению работоспособности всего устройства.

Принципиально перебивание детонирующих зарядов можно осуществить различными способами. Например, расположив заряды в одной плоскости под прямым углом (*рисунок 2а*), либо путем расположения зарядов один над другим *(рисунок 2б*).

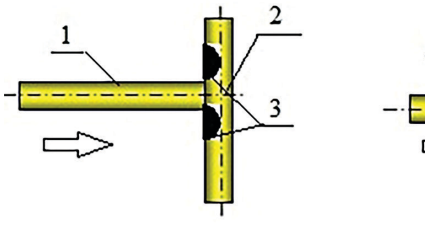
При расположении зарядов в одной плоскости под прямым углом трансляция детонации от активного заряда к пассивному может сопровождаться угловым эффектом [4,6], сущность которого состоит в образовании так называемых «темных» зон непрореагировавшего ВВ в пассивном заряде, примыкающих к угловым границам места контакта. В результате чего трансляция детонационного импульса в этом заряде становится невозможной.

Следует заметить, что угловые эффекты в наибольшей степени проявляются в безоболочных зарядах малочувствительных ВВ с невысокой детонационной способностью, а конфигурация и размеры «темной» зоны зависят от кривизны детонационного фронта, толщины слоя ВВ, характера подложки, на которой расположен заряд, точки инициирования и др. [4,6]. По этим причинам реализация углового эффекта при применении ЛДЗ из высокобризантных ВВ в металлических оболочках маловероятна. Так, расчет ударного давления по известным зависимостям [4] в условиях набегающей детонационной волны при переходе ее из активного заряда в снаряжение пассивного через тонкостенную оболочку из алюминия или меди дает давление около 25,8 ГПа, что намного превышает критическое давление инициирования детонации в ЛДЗ, снаряженных гексогеном. Экспериментально установлено, что при такой схеме расположения ЛДЗ с гексогеновым снаряжением в алюминиевых и медных оболочках калибром 2,9 и 2,0 мм (диаметр снаряжения 2,0 и 1,2 мм соответственно) в пассивных зарядах возбуждается детонация. На *рисунке 3* представлен результат эксперимента по передаче детонации от активного к пассивному ЛДЗ при расположении зарядов в одной плоскости под прямым углом.

Снизить уровень ударно-волнового нагружения пассивного заряда до значений ниже критических возможно либо размещением между зарядами волногасящей проставки (демпфера), изготовленной из материала с низкой акустической жесткостью (например, из полиэтилена или фторопласта), либо расположением зарядов с фиксированным зазором. Рассчитать толщину взрывонепроводящего демпфера несложно, воспользовавшись методикой, изложенной, например, в [7].

В тоже время наличие демпфера должно обеспечить не только отсутствие детонации в пассивном заряде, но и его деформирование в месте контакта с активным зарядом. При этом образовавшийся зазор должен быть таковым, чтобы исключить передачу детонации между отрезками разрушенного пассивного заряда.

Оценить теоретически минимально допустимую величину этого зазора не представляется



а) б)

Рис. 2. Схемы расположения линейных детонирующих зарядов:
1 – линейный заряд предохранения (взведения); 2 – линейный заряд служебного применения; 3 – «темные» зоны

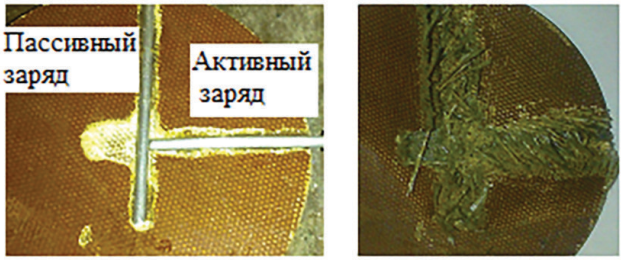


Рис 3. Результат эксперимента по передаче детонации от активного к пассивному ЛДЗ

возможным, поскольку процесс его формирования будет носить вероятностный характер. Более того необходимо учитывать свойства среды, заполняющей зазор, параметры ударной волны и потока продуктов детонации, истекающих с торца активного заряда, свойств активной и пассивной частей заряда и др. В первом приближении величина минимально допустимого зазора может быть рассчитана по трансформированной эмпирической зависимости, полученной авторами статьи в результате обработки экспериментальных данных для удлиненных зарядов в металлических корпусах не кумулятивного типа, в виде

$$\Delta_{min} = \xi \cdot m_a^{1/3} \cdot d_{вв}^{1/4}, \quad (1)$$

где Δ_{min} – минимальная величина зазора, обеспечивающая отсутствие детонации в пассивном заряде;

ξ – коэффициент, зависящий от характеристик ВВ (для зарядов с гексогеновым снаряжением малого калибра $\xi \geq 2.75$)

m_a – активная масса заряда;

$d_{вв}$ – диаметр снаряжения ЛДЗ.

Поскольку металлическая оболочка сдерживает боковой разлет продуктов детонации, препятствуя проникновению волн разрежения в зону химических реакций, расчет величины активной массы m_a может быть произведен по зависимости

$$m_a = 0{,}56 p \pi d_{вв}^3 \rho_{вв}, \quad (2)$$

где $\rho_{вв}$ – плотность снаряжения ЛДЗ.

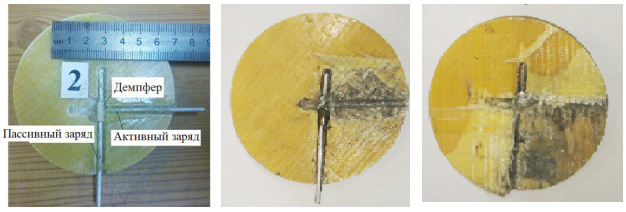
Нетрудно рассчитать, что для зарядов калибром менее 3,0 мм величина зазора между отрезками перебитого заряда, при котором гарантированно не передается детонация, должна быть не менее 1,0 мм.

На *рисунке 4* представлены результаты эксперимента по перебиванию пассивного заряда при наличии демпфера. Установлено, то в этом случае активный заряд перебивает пассивный без возбуждения в нем взрывчатого превращения. В свою очередь, при инициировании детонации в одном из отрезков перебитого ЛДЗ другой не детонирует.

При расположении зарядов в оболочке один над другим (*рисунок 2б*) набегание ударной волны от активного заряда на снаряжение пассивного будет осуществляться в скользящем режиме после перехода через оболочки зарядов. В этом случае задача гарантированного перебивания может быть решена с использованием закономерностей затухания осесимметричных ударных волн в оболочках детонирующих удлиненных зарядов, установленных на основании теоретико-экспериментальных исследований [7], теории чувствительности ВВ и прочностных характеристик пассивного ЛДЗ в условиях динамического нагружения [8].

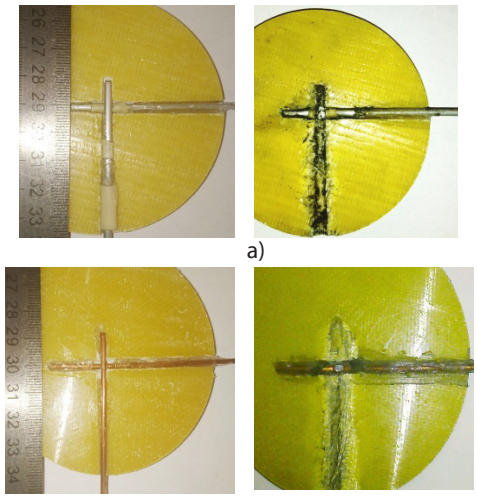
Выполненные расчеты по определению условий гарантированного перебивания пассивных детонирующих зарядов были подтверждены результатами прямых экспериментов для ЛДЗ малого калибра в алюминиевых и медных оболочках. На *рисунке 5* представлены результаты экспериментов по перебиванию ЛДЗ при расположении зарядов в оболочке один над другим.

В заключение необходимо отметить следующее. Показана принципиальная возможность создания предохранительно-пусковых устройств детонационного типа на основе линейных детонирующих зарядов в металлических оболочках малого калибра (диаметром 2,0 и менее мм со снаряжением из высокобризантного ВВ). Гарантированное перебивание пассивных ЛДЗ может быть осуществлено как при расположении зарядов в одной плоскости под прямым углом, так и расположении их один над другим. Однако второй вариант расположения представляется наи-



а) б) в)

Рис. 4. Результат эксперимента по перебиванию пассивного ЛДЗ при наличии демпфера:
а) исходная сборка для испытаний; б) результат срабатывания активного заряда; в) результат срабатывания пассивного заряда



а)

б)

Рис. 5. Результаты экспериментов по перебиванию ЛДЗ при расположении зарядов в оболочке один над другим:
а) результат перебивания пассивного ЛДЗ в алюминиевой оболочке; б) результат перебивания пассивного ЛДЗ в медной оболочке

более приемлемым для практического применения. Несомненно, что для разработки методики проектирования подобного типа предохранительно-пусковых устройств требуется дальнейшее проведение теоретических и экспериментальных исследований.

Литература

1. Вспомогательные системы ракетно-космической техники / Под ред. И.В. Тишунина. М.: Изд-во «Мир», 1970. 400 с.
2. Средства поражения и боеприпасы: Учебник / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др. Под общ. ред. В.В. Селиванова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 984 с.
3. Ефанов В.В., Кузин Е.Н., Горовцов В.В. Устройство защиты детонационных цепей бортовой автоматики летательных аппаратов // Патент РФ № 2541595. Приоритет 24.10.2013. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 14.01.2015. Опубликовано 20.02.2015. Бюл. № 5.
4. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. Изд. 3-е, переработанное. В 2т. Т1. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 832 с.
5. Котомин А.А., Душенок С.А., Демьяненко Д.Б., Ефанов В.В. Новое поколение систем пироавтоматики КА – результат успешного сотрудничества // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина, 2015. №3(29). С.48-54.
6. Аттетков А.А., Гнускин А.М., Пырьев В.А., Сагидуллин Г.Г. Резка металлов взрывом. М.: СИП РИА, 2000. 260 с.
7. 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(30). С.23-31.
8. Даниленко В.В. Взрыв: физика, техника, технология. М.: Энергоиздат, 2010. 784 с.

УДК 519.725

УПРОЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ДЕКОДИРОВАНИЯ КОДА РИДА–СОЛОМОНА

THE SIMPLIFIED ALGORITHM OF DECODING OF THE CODE OF READ–SOLOMON

Владислав Валентинович Квашенников
доктор технических наук
ведущий научный сотрудник
АО «Калужский научно-исследовательский институт телемеханических устройств»
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Карла Маркса, д. 4
Тел.: 8 (910) 864-52-75
E-mail: kvashienvv@mail.ru

Аннотация

Предложен упрощенный алгоритм декодирования кода Рида-Соломона в пределах, гарантированных половиной минимального кодового расстояния. Алгоритм декодирования основан на теории аппроксимации Паде и использует рекуррентные соотношения между определителями Ганкеля, составленных из компонент синдрома ошибок. Даны оценки сложности алгоритма. Рассмотрены примеры декодирования кода Рида-Соломона.

Ключевые слова: декодирование кода Рида-Соломона, аппроксимация Паде степенного ряда синдромов, определители Ганкеля, сложность декодирования.

Summary

The simplified algorithm of decoding of a code of Read-Solomon in the limits guaranteed by half of the minimum code distance is offered. The algorithm of decoding is based on the theory of Pade approximations and uses recurrent parities between Gankel determinants, made of a component of a syndrome of errors. Estimations of complexity of algorithm are given. Examples of decoding of a code of Read-Solomon are considered.

Keywords: decoding of a code of Read-Solomon, Pade approximations of a sedate number of syndromes, Gankel determinants, complexity of decoding.

Введение

В настоящее время известны различные алгоритмы декодирования кода Рида-Соломона в пределах, гарантированных половиной минимального кодового расстояния. Одним из первых известных алгоритмов декодирования кода Рида-Соломона был алгоритм Питерсона-Горенстейна-Цирлера [1]. Алгоритм исправляет ошибки за четыре этапа: вычисление синдрома, вычисление многочлена локаторов ошибок, определение корней многочлена локаторов, и наконец, последний этап – вычисление значений ошибок. Однако данный алгоритм имеет довольно высокую сложность и низкое быстродействие.

В дальнейшем Р. Блейхутом [2] и другими исследователями [3] был предложен более простой алгоритм на основе спектрального подхода, в котором первый этап декодирования представлялся как дискретное преобразование Фурье кодового вектора в поле Галуа. Применение техники быстрых преобразований Фурье ускоряло декодирование в несколько, а часто и в большее число раз. Для вычисления многочлена локаторов ошибок использовался итеративный алгоритм Берлекэмпа-Месси, либо алгоритм Евклида. Два последних этапа алгоритма Питерсона-Горенстейна-Цирлера были исключены, а для определения спектра ошибок выполнялось рекуррентное продолжение синдрома на основе ключевого уравнения [4,5]. Данный алгоритм обычно называют классическим. Асимптотическая сложность этого алгоритма оценивается величиной $O(n^2)$, а при использовании быстрых преобразований – $O(n(\log n)^2)$, где n – блоковая длина кода.

Наиболее простой и естественный алгоритм декодирования был предложен Гао [6] и Шиозаки [7]. Вывод и анализ этого алгоритма, а также доказательство его корректности можно найти в работе [8]. Алгоритм включает три шага: вычисление синдрома, вычисление многочлена локаторов ошибок и восстановление информации. Первый шаг выполняется путем полиномиальной интерполяции, второй шаг реализуется с помощью ускоренного алгоритма Берлекэмпа-Месси, либо ускоренного алгоритма Евклида, третий шаг выполняется делением многочлена значений ошибок на многочлен локаторов ошибок. Асимптотическая сложность алгоритма оце-

нивается величиной $O(n(\log n)^2)$, совпадающей со сложностью лучших классических алгоритмов декодирования кодов Рида-Соломона.

В настоящей статье предложен упрощенный алгоритм декодирования кодов Рида-Соломона на основе математического аппарата аппроксимации Паде. В этом алгоритме продолжение спектра ошибок вычисляют сразу после определения синдрома кода, для чего используют трехчленные рекуррентные соотношения между определителями Ганкеля различных порядков, составленные из коэффициентов синдрома. Вычисления многочлена локаторов ошибок не требуется, что упрощает декодирование кодов Рида-Соломона. Хотя асимптотическая сложность алгоритма соизмерима со сложностью классических алгоритмов, однако для продолжения спектра ошибок используют простые трехчленные рекуррентные соотношения, вычисление которых не вызывает затруднений.

Кодирование и основные параметры кода Рида-Соломона

Код Рида-Соломона (n,k,d), задаваемый над полем Галуа $GF(p^m)$, имеет блоковую длину $n=p^m-1$, информационную длину $k<n$ и минимальное кодовое расстояние $d=n-k+1$. Число корректируемых ошибок в пределах минимального кодового расстояния

$$t=\left[\frac{d-1}{2}\right],$$

где $[x]$ – есть целая часть числа x.

Пусть исходная информация

$$m_i \in GF(p^m), i=0..k-1.$$

Информационный многочлен записывается в виде

$$M(x)=m_0+m_1x+\ldots+m_{k-1}x^{k-1}.$$

При несистематическом кодировании вычисляют значения информационного многочлена в различных точках поля

$$c_i=M(\alpha^i), i=0..n-1,$$

где α – примитивный элемент поля.

При спектральном подходе символы кода получают умножением информационного вектора на матрицу, задающего дискретное преобразование Фурье в поле Галуа информационного вектора из временной области в частотную

$$C=W\times M,$$

где $M=(m_0,m_1,\ldots,m_{k-1},0,\ldots,0)$ – информационный вектор, дополненный нулями до длины n, $C=(c_0,c_1,\ldots,c_{n-1})$;

а матрица преобразования Фурье

$$W=\begin{vmatrix}\alpha^0 & \alpha^1 & \alpha^2 & \ldots & \alpha^{n-1}\\ \alpha^0 & \alpha^2 & \alpha^4 & \ldots & \alpha^{2(n-1)}\\ & & \ldots & & \\ \alpha^0 & \alpha^n & \alpha^{2n} & \ldots & \alpha^{n(n-1)}\end{vmatrix}.$$

Алгоритм декодирования

На приемной стороне символы кода, часть из которых может быть искажена, запишем в виде

$$r_i=c_i+e_i, i=0\ldots n-1,$$

где e_i – ошибки символов.

Первый этап декодирования заключается в вычислении синдрома кода. Для этого строим интерполяционный многочлен

$$T(\alpha^i)=r_i, i=0\ldots n-1.$$

При спектральном подходе интерполяционный вектор получают умножением принятого кодового вектора на матрицу обратного дискретного преобразования Фурье в поле Галуа

$$T=W^{-1}\times R.$$

Матрица обратного преобразования Фурье

$$W^{-1}=\frac{1}{n}\times\begin{vmatrix}\alpha^0 & \alpha^{-1} & \alpha^{-2} & \ldots & \alpha^{-(n-1)}\\ \alpha^0 & \alpha^{-2} & \alpha^{-4} & \ldots & \alpha^{-2(n-1)}\\ & & \ldots & & \\ \alpha^0 & \alpha^{-n} & \alpha^{-2n} & \ldots & \alpha^{-n(n-1)}\end{vmatrix}.$$

По определению интерполяционный многочлен для неискаженного кодового слова

$$c_i, i=0\ldots n-1$$

равен информационному многочлену $M(x)$, а для ошибок

$$e_i, i=0\ldots n-1$$

есть многочлен спектра ошибок, который обозначим $E(x)$. Интерполяция является линейной операцией и справедливо

$$T(x)=M(x)+E(x). \quad (1)$$

Многочлен $M(x)$ имеет степень $k-1$, поэтому старшие $n-k$ членов многочлена $T(x)$ зависят только от ошибок $e_i, i=0\ldots n-1$ и называют многочленом синдрома

$$S(x)=s_0x^k+s_1x^{k+1}+\ldots+s_{n-k-1}x^{n-1}. \quad (2)$$

Для коэффициентов многочлена синдрома справедливо рекуррентное соотношение, которое называют ключевым уравнением [2]. При t ошибках ключевое уравнение запишется

$$s_{j+t}=\sigma_1s_{j+t-1}+\sigma_2s_{j+t-2}+\ldots+\sigma_ts_j, \quad j=1,\ldots,t. \quad (3)$$

Компоненты синдрома являются известными компонентами спектра ошибок $E(x)$. Уравнение (3) для $j=t+1\ldots n$ позволяет продолжить степенной ряд $S(x)$ и получить неизвестные компоненты спектра ошибок $E(x)$. Тогда, из (1) исходный информационный многочлен будет

$$M(x)=T(x)-E(x). \quad (4)$$

Систему линейных уравнений (3) можно записать в матричном виде

$$\begin{vmatrix}s_1 & s_2 & s_3 & \ldots & s_t\\ s_2 & s_3 & s_4 & \ldots & s_t\\ & & \ldots & & \\ s_t & s_{t+1} & s_{t+2} & \ldots & s_{2t-1}\end{vmatrix}\begin{vmatrix}\sigma_t\\ \sigma_{t-1}\\ \ldots\\ \sigma_1\end{vmatrix}=\begin{vmatrix}s_{t+1}\\ s_{t+2}\\ \ldots\\ s_{2t}\end{vmatrix}. \quad (5)$$

Сопоставим квадратным блокам матрицы системы уравнений (5) определители Ганкеля вида [9]

$$C(L/M)=\begin{vmatrix} s_{L-M+1}s_{L-M+2}\dots s_L \\ s_{L-M+2}s_{L-M+3}\dots s_{L+1} \\ \dots \\ s_L \quad s_{L+1} \quad \dots s_{L+M-1} \end{vmatrix}.$$

Из множества значений $C(L/M)$, $L,M=0,1,2\dots$ составим C-таблицу

$$\begin{matrix} C(0/0) & C(1/0) & C(2/0) & \dots \\ C(0/1) & C(1/1) & C(2/1) & \dots \\ C(0/2) & C(1/2) & C(2/2) & \dots \\ \dots \end{matrix}$$

По определению начальные условия будут:

- первая строка таблицы $C(L/0)=1$;
- вторая строка – $C(L/1)=s_L$;
- первый столбец – $C(0/M)=(-1)^{M(M-1)/2}\cdot s_0^M$,

т.е. будет последовательностью символов

$$1, s_0, -s_0^2, -s_0^3, s_0^4, s_0^5, -s_0^6, -s_0^7,$$

При заполнении таблицы оставшиеся элементы таблицы можно вычислить, используя рекуррентное тождество

$$C(L/M+1)C(L/M-1)=C(L+1/M)C(L-1/M)-C(L/M)^2, \quad (6)$$

которое обычно называют звездным равенством. Оно показывает, как связаны соседние элементы С-таблицы. Равенство (6) является частным случаем теоремы Сильвестра [9].

Из (6) можно выразить один из определителей $C(L+1/M), C(L-1/M), C(L/M+1), C(L/M+1), C(L/M)$ через остальные определители. Это позволяет заполнять C-таблицу в различных направлениях: сверху-вниз, слева-направо и т.д.

Можно показать, что в C-таблице нулевые элементы образуют квадратные блоки, которые окружены со всех сторон ненулевыми элементами. В C-таблице будут бесконечные нулевые блоки, поскольку степенные ряды (2) соответствуют разложению конечных рациональных функций [10,11].

Последние замечания позволяют заполнять C-таблицу, даже если вычисления (6) приводят к делению на нуль. Достаточно определить нули только в одной строке или столбце таблицы, чтобы заполнить квадратные нулевые блоки. При t ошибках верхний правый угол бесконечного нулевого блока будет иметь координаты $(t+1,t)$.

Перечислим последовательность шагов заполнения C-таблицы.

Шаг 1. Начальное заполнение первого столбца и первой строки таблицы, а также частичное заполнение второй строки таблицы компонентами синдрома.

Шаг 2. Начальное заполнение нулевых квадратных блоков и определение местоположения бесконечного нулевого блока.

Шаг 3. Заполнение таблицы сверху-вниз

$$C(L/M+1)=\frac{C(L+1/M)C(L-1/M)-C(L/M)^2}{C(L/M-1)}$$

Шаг 4. Заполнение таблицы слева-направо

$$C(L+1/M)=\frac{C(L/M+1)C(L/M-1)+C(L/M)^2}{C(L-1/M)}$$

Вторая строка C-таблицы представляет собой компоненты синдрома, поэтому при продолжении этой строки таблицы $C(L/1)=s_L$, $L=0\dots n-1$ получают спектр ошибок, который затем используют для восстановления информации по формуле (4).

При выполнении шагов 3 или 4 можно получить нуль в знаменателе формул. Обойти деление на нуль возможно за счет заполнения C-таблицы вдоль стороны нулевого блока. Тогда выполняется умножение на нуль, что упрощает вычисления.

Наибольшее число операций требуется при заполнении C-таблицы. При коррекции t ошибок для заполнения C-таблицы необходимо выполнить $M(t)=2\cdot(t+(t+1)+\dots+2+1=O(t^2)$ операций.

Таким образом, асимптотическая сложность декодирования – $O(n^2)$.

Пример 1

Рассмотрим декодирование кода Рида-Соломона (6,2), определенного над полем Галуа $GF(7)$. Примитивный элемент поля $\alpha=3$. Матрица Вандермонда и ее обратная матрица будут

$$W=\begin{Vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 2 & 6 & 4 & 5 \\ 1 & 2 & 4 & 1 & 2 & 4 \\ 1 & 6 & 1 & 6 & 1 & 6 \\ 1 & 4 & 2 & 1 & 4 & 2 \\ 1 & 5 & 4 & 6 & 2 & 3 \end{Vmatrix},$$

$$W^{-1}=-1\times\begin{Vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 5 & 4 & 6 & 2 & 3 \\ 1 & 4 & 2 & 1 & 4 & 2 \\ 1 & 6 & 1 & 6 & 1 & 6 \\ 1 & 2 & 4 & 1 & 2 & 4 \\ 1 & 3 & 2 & 6 & 4 & 5 \end{Vmatrix}.$$

Пусть задана исходная информация из двух символов поля $M=(5,2)$. Кодирование заключается в вычислении информационного многочлена $M(x)=2x+5$ в различных точках поля

$$x=3^0,3^1,3^2,\dots,3^5$$

или умножении дополненного нулями информационного вектора, на матрицу Вандермонда. Получим кодовое слово

$$C(x)=x^5+6x^4+3x^3+2x^2+4x.$$

Предположим, что при передаче кодового слова произошла две ошибки $e(x)=x^4+x^2$, тогда принятое кодовое слово

$$R(x)=C(x)+e(x)=x^5+3x^3+3x^2+4x.$$

Интерполяционный многочлен $T(x)$ вычисляется умножением принятого кодового слова на обратную матрицу Вандермонда

$$T = W^{-1} \times \overline{R}\,, \text{ и}$$

$$T(x)=x^5+x^4+5x^3+x^2+3x+3.$$

Первые четыре коэффициента $T(x)$ составляют синдром ошибок, последние два коэффициента равны неизвестной сумме информационных символов и спектра ошибок. Спектр ошибок запишем

$$E(x)=x^5+x^4+5x^3+x^2+\#x+\#$$

$$E(x) = x^5 + x^4 + 5x^3 + x^2 + \#x + \#,$$

где # – неизвестные коэффициенты спектра ошибок.

Заполним клетки C-таблицы. Сначала заполним клетки начальными значениями. Первая строка таблицы содержит последовательность единиц 1,1,1,1,1,…. Первый столбец таблицы, содержит последовательность 1,1,-1,-1,1,1,-1,-1,… . Первые 4 клетки второй строки таблицы заполняются известными компонентами синдрома 1,1,5,1. Верхний левый угол бесконечного блока нулей будет иметь координаты (3,2). Начальное заполнение представлено в *таблице 1*.

Теперь, используя соотношение (6), заполняем остальные клетки C-таблицы, двигаясь сначала сверху-вниз по столбцу 1, а затем по столбцу 2 *(таблица 2)*.

Далее заполняем С-таблицу, двигаясь сначала слева-направо по строке 2, а затем по строке 1 *(таблица 3)*.

Отсюда из строки 1 спектр ошибок будет

$$E(x) = x^5 + x^4 + 5x^3 + x^2 + x + 5\,.$$

Восстановленная информация запишется в виде

$$M(x) = T(x) - E(x) = (x^5 + x^4 + 5x^3 + x^2 + 3x + 3) - ,$$

$$(x^5 + x^4 + 5x^3 + x^2 + x + 5) = 2x + 5$$

что соответствует исходной информации $M(x)=2x+5$.

В данном примере все компоненты синдрома отличны от нуля. При наличии нулевых сомножителей в тождестве (6) может возникнуть деление на нуль, однако такую ситуацию нетрудно обойти, как в примере 2.

Пример 2

Пусть при передаче того же кодового слова произошли две ошибки

$$e(x)=x^5+3x.$$

Принятое кодовое слово будет

$$R(x) = C(x) + e(x) = 2x^5 + 6x^4 + 3x^3 + 2x^2\,.$$

Интерполяционный многочлен запишется

$$T(x) = 4x^4 + 4x^3 + 5x + 1\,.$$

Спектр ошибок будет равен

$$E(x) = 4x^4 + 4x^3 + \#x + \#$$

и начальное заполнение C-таблицы в строке компонент синдрома будет иметь два 0 *(таблица 4)*.

Заполнение *таблицы 5* будет

Таблица 5

Заполнение С-таблицы

M \ L	0	1	2	3	4	5	6
0	0	1	1	1	1	1	1
1	0	4	4	0	**3**	**3**	
2	0	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	
3	0		0	0	0	0	
4	0		0	0	0	0	…
5	0			…			

Ячейка $C(4/1)=3$ заполняется при движении слева направо. Для ячейки $C(5/1)$ получается деление на 0. Эту ячейку можно сначала пропустить, а затем заполнить, вычисляя квадратный корень, согласно тождества (5).

Отсюда спектр ошибок

$$E(x) = 4x^4 + 4x^3 + 3x + 3\,.$$

Восстановленная информация запишется в виде

$$M(x) = T(x) - E(x) =$$

$$(4x^4 + 4x^3 + 5x + 1) - (4x^4 + 4x^3 + 3x + 3) = 2x + 5.$$

Выводы

Предложен упрощенный алгоритм декодирования кода Рида-Соломона на основе рекуррентных соотношений между определителями Ганкеля, составленных из компонент синдрома ошибок. Алгоритм включает два этапа: вычисление синдрома ошибок и продолжение спектра ошибок. В алгоритме не требуется вычисления многочлена локаторов ошибок, который является довольно сложным этапом декодирования

Таблица 1

Начальное заполнение С-таблицы

M \ L	0	1	2	3	4	5	6
0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	5	1			
2	-1						
3	-1		0	0	0	0	
4	1		0	0	0	0	…
5	1			…			

Таблица 2

Заполнение С-таблицы сверху-вниз

M \ L	0	1	2	3	4	5	6
0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	5	1			
2	-1	**4**	**4**				
3	-1		0	0	0	0	
4	1		0	0	0	0	…
5	1			…			

Таблица 3

Заполнение С-таблицы слева-направо

M \ L	0	1	2	3	4	5	6
0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	5	1	**1**	**5**	
2	-1	4	4	**4**	**4**		
3	-1		0	0	0	0	
4	1		0	0	0	0	…
5	1			…			

Таблица 4

Начальное заполнение С-таблицы

M \ L	0	1	2	3	4	5	6
0	0	1	1	1	1	1	1
1	0	4	4	0			
2	0						
3	0		0	0	0	0	
4	0		0	0	0	0	
5	…						
	0			…			

в классических алгоритмах. Асимптотическая сложность алгоритма соизмерима со сложностью известных алгоритмов декодирования.

Литература

1. Gorenstein D., Zierler N. A Class of Cyclic Linear Codes in p^m Symbol. SIAM J. Appl. Math., 9, 1961. Pp.207-214.
2. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 448 с.
3. Lempel A., Winograd S. A new approash to error-correcting codes. – IEEE Trans. Inform. Theory, 1977. №23. Pp.503-508.
4. Mandelbaum D.M. On decoding of Reed-Solomon codes. – IEEE Trans. Inform. Theory, 1971. 17. №6. Pp.707-712.
5. Mandelbaum D.M. Construction of error-correcting codes by interpolation. – IEEE Trans. Inform. Theory, 1979. 25. №2. Pp.27-35.
6. Gao S. A new algorithm for decoding Reed-Solomon codes // Communications, Information and Network Security / V. Bhargava, H. V. Poor, V. Tarokh, and S. Yoon, Eds. Norwell, MA: Kluwer, 2003. Vol. 712. Pp.55-68.
7. Shiozaki A. Decoding of redundant residue polynomial codes using Euclid's algorithm // IEEE Transactions on Information Theory. Sep. 1988. Vol. IT34. №. 5. Pp.1351-1354.
8. Федоренко С.В. Простой алгоритм декодирования алгебраических кодов. // Информационно-управляющие системы, 2008. №3(34). С.23-27.
9. Бейкер Дж. мл., Грейвс-Моррис П. Аппроксимация Паде. Пер.с англ. М.: Мир, 1986. 502 с.
10. Джоунс У., Трон В. Непрерывные дроби. Аналитическая теория и приложения. Пер. с англ.. М.: Мир, 1985. 414 с.
11. Утешев А.Ю., Боровой И.И. Решение задачи рациональной интерполяции с использованием ганкелевых полиномов // Вестник СПбГУ. Серия 10, 2016. Вып.4. С.31-43.

УДК 608.4

АВТОНОМНАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ГРУППИРОВКА МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ – КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «РАДИОСКАФ–5»

AUTONOMOUS INTELLIGENT CONSTELLATION OF SMALL SPACECRAFT – SPACE EXPERIMENT «RADIOSKAF–5»

Олег Игоревич Атакищев
доктор технических наук, профессор
заместитель генерального директора
по специальным проектам
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г.
Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: aoi007@mail.ru

Егор Андреевич Шиленков
кандидат технических наук
заместитель директора
НИИ РЭС ЮЗГУ
Адрес: 305040, г. Курск, ул.
50 лет Октября, д. 94
Тел.: +7 (4712) 50-48-00

Сергей Николаевич Фролов
кандидат технических наук
старший научный сотрудник
НИИ РЭС ЮЗГУ

Евгений Анатольевич Титенко
кандидат технических наук, доцент
начальник 2-го управления
НИИ РЭС ЮЗГУ
Тел.:+7 (4712) 22-24-09
E-mail: johntit@mail.ru

Алексей Николаевич Щитов
инженер центра перспективных
исследований и разработок
НИИ РЭС ЮЗГУ

Денис Михайлович Зарубин
научный сотрудник центра перспективных
исследований и разработок
НИИ РЭС ЮЗГУ

Аннотация

В статье рассматривается организация работы малых космических аппаратов в составе группировки. Для обеспечения непрерывного мониторинга и передачи данных аппараты образуют одноранговую информационную сеть – mesh-сеть. Эта сеть состоит из аппаратов-агентов и имеет возможность динамической реконфигурации группировки. Реконфигурация необходима для учета изменений состава группировки, т.е. добавление или выведение аппаратов на орбиту. Эти операции реализуются с помощью алгоритма сетевого взаимодействия аппаратов, позволяющего организовать автономную интеллектуальную группировку. Интеллектуализация заключается в возможности выполнения каждым агентом операций по приему, передаче и трансляции данных между аппаратами на основе собственных локальных алгоритмов работы и использования ресурсов других аппаратов при выполнении космических экспериментов. Алгоритм позволяет динамически назначать или удалять адреса аппаратов как силами группировки, так и с наземного пункта управления. Технология управления отдельными малыми космическими аппаратами с наземного пункта реализуется путем передачи команд-сообщений на заданные малые космические аппараты.

Ключевые слова: mesh-сеть, мультиагентные системы, алгоритм взаимодействия, координация аппаратов.

Summary

The article deals with the organization of small spacecraft in the group. To ensure continuous monitoring and data transmission devices form a peer – to-peer information network-mesh network. This network consists of agent machines and has the capability of dynamic reconfiguration of the grouping. Reconfiguration is necessary to account for changes in the composition of the group, i.e. the addition or removal of vehicles into orbit. These operations are implemented using the algorithm of networking devices that allows you to organize Autonomous intelligent grouping. Intellectualization is the ability to run each agent operations on reception, transfer and translation of data between devices based on their own local algorithms and resource usage of other devices when performing space experiments. The algorithm allows you to dynamically assign or remove the addresses of the devices both by grouping and from the ground control point. The control technology of individual small spacecraft from the ground station is implemented by transmitting commands to the specified small spacecraft.

Keywords: mesh-network, multi-agent systems, interaction algorithm, coordination of devices.

Введение

Расширение рынка космических услуг, вызванное возрастающей потребностью в информации, необходимой для принятия решений в различных сферах хозяйственной деятельности, приводит к усилению конкуренции среди его участников, которые должны предоставлять свои возможности в кратчайшие сроки, качественно и по низким ценам. В связи с этим одной из наиболее перспективных тенденций является создание и применение много спутниковых орбитальных группировок, состоящих из малых космических аппаратов (МКА).

Развитие МКА позволяет планировать и ставить научные эксперименты силами организаций высшего образования, т.е. с невысокими затратами на изготовление, запуск аппаратов и получение данных экспериментов на наземные пункты.

Тем не менее, известно, что малые космические аппараты, актуальны только лишь тогда, когда задачи, выполняемые аппаратом, не превышают его срока существования на орбите Земли. Для того что бы увеличить срок работы аппаратного ресурса и тем самым повысить рентабельность малых космических аппаратов необходимо объединение космических аппаратов в группировки.

Постановка задачи

Образование группировки МКА подразумевает выполнение ряда работ по:

- автоматическому образованию информационно-управляющей сети между аппаратами (mesh-сеть);
- реконфигурации сети при добавлении новых или исключении вышедших с орбиты аппаратов;
- дистанционному управлению каждым аппаратом в группировке;
- ретрансляции информационных и управляющих сообщений между МКА;
- организации модуля хранения данных для передачи по команде на наземный пункт;
- перепрограммированию списка операций на борту МКА.

Первыми МКА, создаваемыми силами Юго-Западного государственного университета и входящими в эксперимент «Радиоскаф», были аппараты «Танюша 1», «Танюша 2». Основной задачей эксперимента, проводимого в 2014-2015 гг., являлось создание одноранговой информационной сети, позволяющей производить адресацию вновь прибывших аппаратов и исключать вышедший из строя аппарат без удаленного управления. Внутри сети организована ретрансляция и параллельная передача данных на наземный пункт мониторинга. Согласно эксперименту в МКА установлена инерциальная навигационная система для определения углов поворота в трех осях: рысканья, тангажа и вращения. Каждый аппарат имеет вакуумметр.

Далее в статье рассмотрен космический эксперимент «Радиоскаф 5» с малыми космическими аппаратами «Танюша 3» с позывным сигналом RS-6S, «Танюша 4» с позывным сигналом RS-7S, на базе которых была создана группировка МКА.

Метод исследования

Для обеспечения долгосрочного существования группировки и управления отдельными аппаратами использован мультиагентный подход. Согласно данному подходу каждый МКА – это отдельный агент, описываемый набором параметров и выполняемых функций (операций). В соответствии с мультиагентным подходом функции агентов могут активироваться:

- по установленному времени;
- по наступлению целевого события (приближение космической станции, появление в зоне видимости целевых объектов Земной поверхности и др.);
- по достижению заложенного порогового значения параметра агента (предельный уровень заряда аккумулятора, критическое значение радиации, фиксированная плотность вакуума и др.).

Разнообразие условий активаций агентов и организация mesh-сети малых космических аппаратов позволяют гибко перераспределять ресурсы аппаратов при решении задача видеомониторинга и приемо-передачи данных с (на) наземные пункты управления.

Для описания МКА-агентов введены такие параметры:

t – время взаимодействия спутниковых аппаратов при передаче информации в группировке;
N_S – количество служебных команд передаваемых космическими аппаратами в группировке;
N_D – число оборотов аппарата за минуту (стабилизация МКА);
N_k – кручение;
N_R – рысканье;
N_T – тангаж;
U_{SPP} – напряжение солнечной панели;
I_{SPP} – ток солнечной панели.

Любой МКА-агент обладает следующими свойствами:

- активность – каждый МКА способен к орга-

низации и реализации действии (в соответствии с внутренним алгоритмом функционирования);

● автономность – относительная независимость от окружающей среды и работы соседних МКА;

● целенаправленность – наличие собственных источников мотивации (у каждого агента есть некоторая главная цель, для достижения которой он функционирует).

В периоды времени, свободные от передачи данных на наземный пункт, аппараты находятся в режиме взаимодействия. Без дополнительных команд с Земли аппараты обмениваются только текущим состоянием. По запросу с Земли МКА может передать сохраненную ранее телеметрию, данные экспериментов за определенный период, как собственные измерения, так и с другого аппарата, т.е. быть ретранслятором. Предоставляется возможность съема данных с аппарата, находящегося вне зоны радиовидимости для наземной станции, но в зоне видимости аппарата-ретранслятора. Для больших объемов данных реализована возможность начать обмен напрямую с одним МКА и продолжать принимать через другой МКА. При достаточно большой группировке аппаратов обеспечивается непрерывная временная радиовидимость конкретного аппарата и реализация космических экспериментов [1-2].

Таким образом, интеллектуальная группировка МКА способна к автоматической организации при условии контроля значений собственных параметров и выполнении ряда общесистемных действий (найти соседа, оценить состояние, назначить/исключить адрес в сети, передать данные, изменить расположение на орбите (угол, рысканье, тангаж) и др)).

Алгоритм взаимодействия космических аппаратов построен по принципу мультиагентных систем (*рисунок 1*). В такой группе формируются локальные правила организации, важнейшие из которых представлены в алгоритме взаимодействия МКА. В процессе проработки алгоритма взаимодействия выработаны три типа автономных сообщений между МКА: синхронизация, команды, данные.

Синхронизация. В сообщении передается текущее состояние циклограммы аппарата. МКА с более «поздним» временем подстраивает свое состояние под «ранний», так чтобы исключить одновременную передачу голосовых сообщений. При общей длительности циклограммы в 180 секунд каждого аппарата для наземной станции периодичность приема будет 90 секунд (каждый аппарат по очереди).

Команды. Короткое сообщение с установкой какого-либо режима, запроса данных.

Данные. Длинное сообщение, содержащее данные состояния питания внутренних систем и телеметрию датчиков вакуумметра и инерциальной навигационной системы.

Приемо-передающая система реализует полудуплексную связь внутри сети группировки совместно с возможностью приема команд от наземного пункта управления. Модуль управления выполняет функции бортового вычислителя, обеспечивая контроль систем приемо-передачи и энергообеспечения, сбор и обработку данных измерителей, и автономную организацию сети группировки. Экспериментальные измерители осуществляют сбор экспериментальной телеметрии. Инерциальная навигационная система предоставляет информацию о пассивном ориентировании МКА в трех направлениях вращения (тангажа, кручения и рысканья).

Запущенные МКА «Танюша-ЮЗГУ» №3 и №4 с расширенными функциональными возможностями отличают от предыдущих аппаратов следующие особенности.

1. Создана адаптивная модель энергообеспечения МКА. Она позволяет изменять режим работы аппарата в зависимости от объема накопленной энергии.

2. В дополнение к микромеханической, пассивной системе ориентирования внедрена система активной ориентации, созданная на основе четырехосевого гиродина и векторного процессора.

3. Операционная система аппарата позволяет с Земли изменять полетное задание в реальном режиме времени.

4. Телеметрия и голосовые сообщения передаются параллельно (частотная модуляция). Радиолюбительские станции Земли могут демодулировать голосовые сообщения и телеметрию в известных форматах при помощи обычного полосового фильтра.

Помимо этого, МКА также будут транслировать на Землю новые голосовые приветствия на четырех языках: русском, английском, испанском, китайском. Структура обновленного МКА представлена на *рисунке 2*.

В процессе эксплуатации МКА апробирована локальная передача команд-сообщений путем их ретрансляции в mesh-сети через другие аппараты в составе группировки (*рисунок 3*). Здесь из списка параметров МКА-агента использованы только 3 параметра, отвечающие за изменение местоположения на орбите, а именно: N_R – рысканье, N_k – кручение, N_T – тангаж.

Достижение временной и пространственной синхронизации МКА в составе группировки по-

зволяет проводить космический эксперимент с большей длительностью, интенсивностью и эффективностью. В первую очередь это синхронное сопровождение объектов на земной поверхности, параллельный прием или передача информации. Во-вторых, улучшение коммуникации за счет выгодного взаимного расположения в пространстве. Как практически значимый

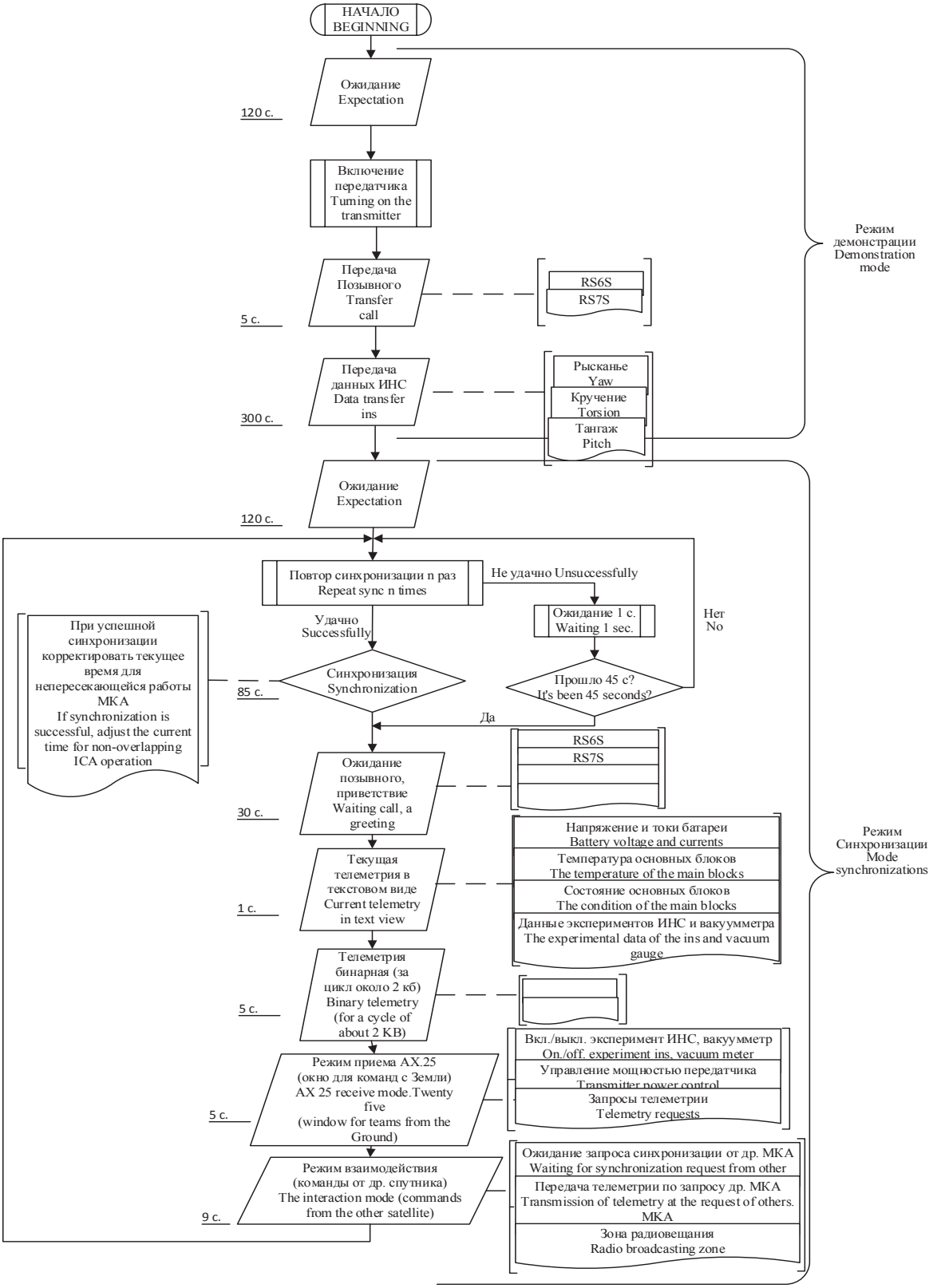


Рис. 1. Алгоритм сетевого взаимодействия

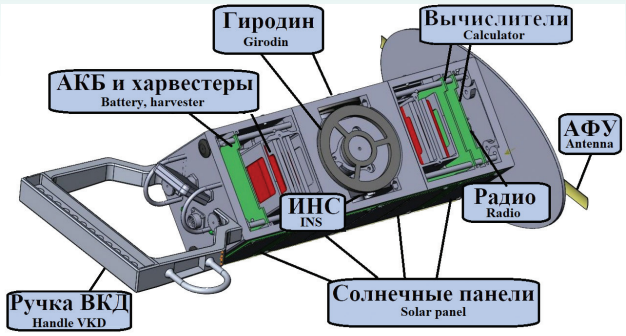


Рис. 2. Структура МКА «Танюша-ЮЗГУ» №3 и №4

Рис. 3. Окно программного продукта для одиночного взаимодействия с МКА

пример на *рисунке 4* показана группировка МКА-агентов, сориентированная на один источник излучения. Она образует в стереометрии составную апертуру антенны, обладающую уникальными характеристиками при пеленговании и мониторинге источника, такими как: диаграмма направленности, коэффициент усиления, пространственный прием [1-4].

Такое проявление эмерджености по отношению к работе одиночного аппарата позволяет объединить ресурсы всех агентов и выполнить эксперимент с меньшими затратами.

Обсуждение результатов

Группировка МКА «Танюша-ЮЗГУ» разработана с учетом возможности проведения как одиночного, так и группового эксперимента. Основной сложностью работы в группе является распределение задач и формирование полетных заданий для МКА. Перед началом полета каждый аппарат имеет собственное задание, которое может реализовывать как в группе, так и самостоятельно. На текущий момент это:

- измерение плотности вакуума;
- изучение возможности стабилизации;
- регистрация и формирование сети радиообмена;
- адаптивное управление энергоресурсами.

Полетное задание МКА может быть изменено при непосредственном радиоконтакте и при помощи ретрансляции. Для того чтобы задействовать большее количество сателлитов в одном процессе период выполнения однотипного задания синхронизируется между аппаратами. По достижению временного интервала происходит синхронизация вторичных параметров (например, поворот МКА в пространстве для параллельной передачи данных на наземный пункт управления). На *рисунке 4* изображено окно программного продукта группового управления МКА [5-7,9].

Сателлиты первого этапа успешно выполни-

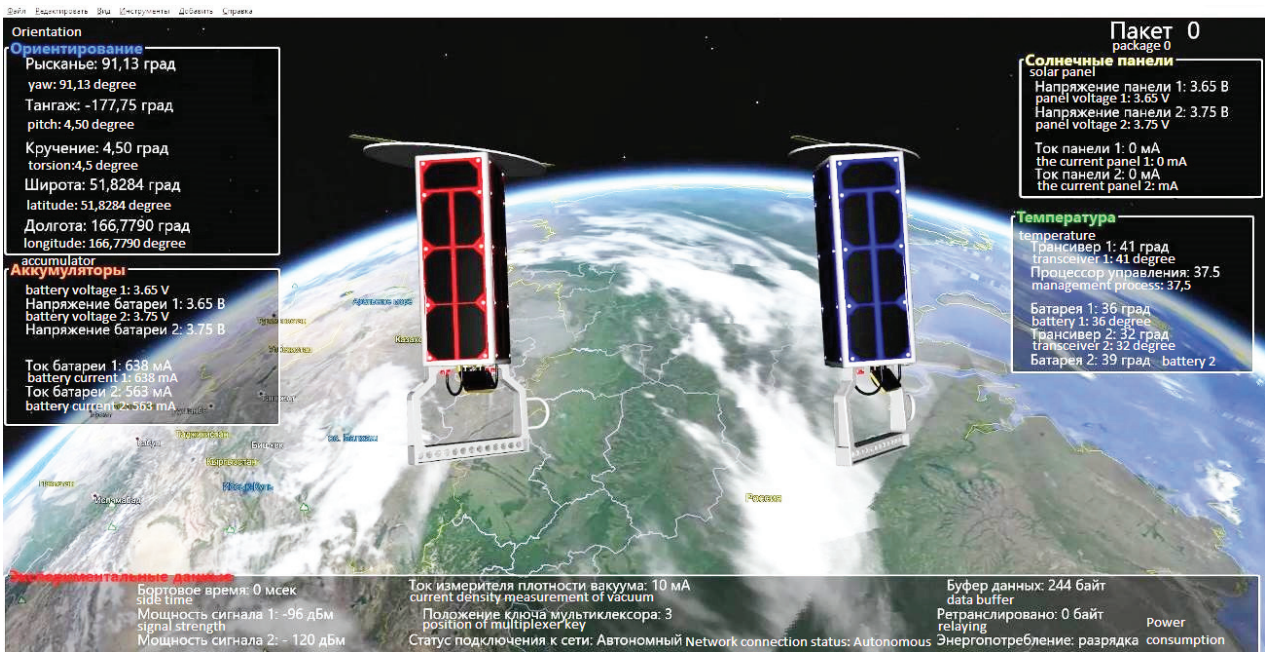


Рис. 4. Окно программного продукта для группового управления МКА

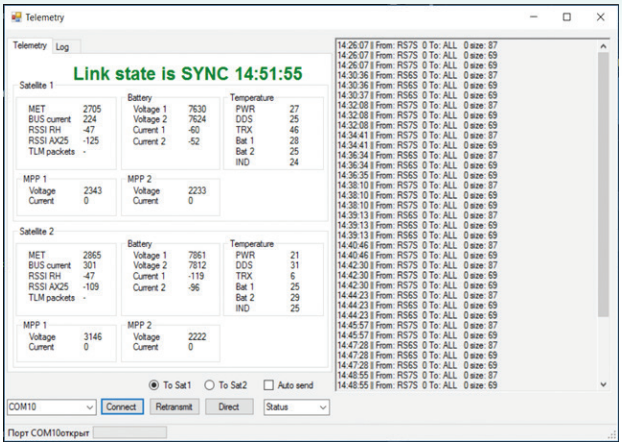


Рис. 5. Установление информационного обмена между RS7S и RS6S

ли информационную самоорганизацию спустя месяц после запуска, о чем свидетельствовала взаимная ретрансляция телеметрии, как показано на *рисунке 5*. Надпись в главном окне ПО приема телеметрии «Link state is SINC» зеленого цвета означает успешную синхронизацию двух аппаратов. Наличие пакетов справа соответствует принятой телеметрии от «RS6S» и «RS7S» в указанное время.

Спустя 25 минут после начала полета RS8S и RS9S обсерватория, расположенная в Северной Америке (штат Массачусетс), успешно приняла первый сигнал «Танюши-ЮЗГУ-3». Еще через 80 минут сигнал «Танюши-ЮЗГУ-4» зафиксировала обсерватория на западе Австралии. Телеметрия «Танюши-ЮЗГУ-4» содержала в себе копии телеметрических данных «Танюши-ЮЗГУ-3», что само по себе говорит о ретрансляции и свидетельствует об успешной временной синхронизации двух аппаратов и формировании второго кластера автономной интеллектуальной группировки. В последующий десятидневный период было осуществлено более двухсот успешных сеансов связи с «Танюшами» обсерваториями, расположенными по периметру всего земного шара (см. обсерватории на *рисунке 6*). Процент успешных наблюдений колеблется возле отметки в 90%.

Наконец, в рамках космического эксперимента осуществлено управление вращением – проведена стабилизация положения МКА. Постепенный запуск двигателей гиродина привел к снижению скорости вращения по оси тангажа и рысканья до приемлемого для синхронного радиообмена значения: 1 оборот вокруг оси более чем за 36 секунд [8, 10].

Спустя 14 месяцев после начала полета первых МКА, созданных в ЮЗГУ, внутри автономной интеллектуальной группировки зафиксирован обмен данными между «Танюша-ЮЗГУ-1» и запущенной годом позже «Танюша-ЮЗГУ-4» (*таблица 1*).

Далее при проведении третьего этапа КЭ запланировано оснастить МКА «Танюша-ЮЗГУ» №5 и №6 видео модулями с параметром V (Мбайт), позволяющими фотографировать, вести видеосъемку и передавать изображение в известных форматах SSTV и Digital amateur TV.

Выводы

В статье была рассмотрена мультиагентная система межсетевого взаимодействия малых космических аппаратов, разработан алгоритм взаимодействия МКА и произведен анализ резуль-

Рис. 6. География обсерваций

Таблица 1. Обмена данными и состояние

Параметр	МКА (позывной)		Значение
Ресурс	Танюша-ЮЗГУ-1 (RS6S)		Минимум (последний сеанс 7.6.18) 0 Вт/виток
	Танюша-ЮЗГУ-2 (RS7S)		Минимум (последний сеанс 20.10.18) 1 Вт/виток
	Танюша-ЮЗГУ-3 (RS8S)		Полный цикл (сеансы ежедневно) 24 Вт/виток
	Танюша-ЮЗГУ-4 (RS9S)		Ограниченный цикл (сеансы ежедневно) 15 Вт/виток
Байт передано	Группировка		1 878 604 (из них ретранслировано 340 768)
Отработано команд управления	Группировка		189 (ретранслировано 41)
Энергии собрано	Танюша-ЮЗГУ-3/4 (RS8S/RS9S)		7866 мВт/ч
Угловая скорость вращения	Танюша-ЮЗГУ-1 (RS6S)	Тангаж	501 град/сек
		Рысканье	123 град/сек
	Танюша-ЮЗГУ-2 (RS7S)	Тангаж	422 град/сек
		Рысканье	45 град/сек
	Танюша-ЮЗГУ-3 (RS8S)	Тангаж	10 град/сек
		Рысканье	4 град/сек
	Танюша-ЮЗГУ-4 (RS9S)	Тангаж	12 град/сек
		Рысканье	5 град/сек

татов космических экспериментов «Радиоскаф», свидетельствующий о работоспособности и целесообразности создания группировки МКА.

Показано, что мультиагентный подход позволяет гибко перераспределять ресурсы отдельных МКА при решении задач непрерывного видеомониторинга и передачи данных за счет многообразия аппаратно-программных форм активации агентов в сети.

Как яркий результат, демонстрирующий работоспособность предложенного подхода, показано, что в ходе проведения космического эксперимента «Радиоскаф 5» спустя 14 месяцев после начала полета первых МКА, созданных в Юго-Западного государственном университете, внутри автономной интеллектуальной группировки был зафиксирован обмен данными между аппаратом «Танюша-ЮЗГУ-1» и запущенной годом позже аппаратом «Танюша-ЮЗГУ-4.

Литература

1. Самбуров С.Н., Колмыкова Т.С., Шиленков Е.А. Развертывание автономной интеллектуальной группировки наноспутников, запущенных с борта МКС // Материалы 53-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского: Идеи К.Э. Циолковского в контексте современного развития науки и техники, 2018. С.26-27.
2. Шиленков Е.А., Самбуров С.Н., Колмыкова Т.С. Разработка автономной интеллектуальной группировки малых космических аппаратов // Материалы 52-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского: Идеи К.Э. Циолковского в контексте современного развития науки и техники, 2017. С.62-64.
3. Потапенко А.М., Шиленков Е.А. Методика построения динамических сигнально-кодовых конструкций с целью повышения пропускной способности диапазона связи // Проектирование и технология электронных средств, 2012. №1. С.12-15.
4. Мухин И.Е., Шиленков Е.А. Метод параметрического синтеза антенно-фидерных, радиоприемных и демодуляторных средств сигнально-приемного тракта современных систем телекоммуникаций // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2012. №2-3. С.110-115.
5. Воробьев К.А., Косилов И.С., Лобов Е.М., Шиленков Е.А. Широкополосные многочастотные сигнально-кодовые конструкции для передачи информации через ионосферный канал // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2012. №2-3. С.41-46.
6. Цыплаков Ю.В., Шиленков Е.А. Сравнительный анализ специальных средств для измерения реального затухания электромагнитных волн и контроля качества средств экранирующей групповой защиты // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2012. №2-3. С.32-37.
7. Многоагентные системы в технической диагностике сложных технических объектов / Е.А. Титенко [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета, 2015. №3(60). С.18-25.
8. Емельянов С.Г., Гривачев А.В., Курочкин А.Г., Шиленков Е.А., Самбуров С.Н. Разработка автономной интеллектуальной группировки спутников «ЮЗГУ» для МКС // В книге: К.Э. Циолковский. Проблемы и будущее российской науки и техники Материалы 52-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского, 2017. С.379-381.
9. Шиленков Е.А.Метод построения сигнально-кодовой конструкции диапазона GSM–1800 с повышенной энергетической скрытностью // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций. Материалы IV Региональной научно-практической конференции, 2012. С.15-19
10. Combined processing of geospatial and symbolic information for mobile robots. Titenko E.A., Grivachev A.V., Avdeev V.O., Frolov S.N., Panov V.V., Pykhtin A.I. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. Т. 14. № 18. С. 6788-6790.

УДК 681.23

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕСТОВОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В ШУМАХ ПРИ КОГЕРЕНТНОЙ СТРОБИРУЮЩЕЙ ДИСКРЕТИЗАЦИИ

RESTORATION OF TEST IMPULSE SEQUENCE IN NOISE AT COHERENT GATEWAY DISCRETIZATION

Александр Дмитриевич Поздняков
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87
Тел.: 8 (4922) 27-96-24
E-mail: 11alexpozd@mail.ru

Владислав Александрович Поздняков
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87
Тел.: 8 (4922) 27-96-24
E-mail: vlad_23@mail.ru

Александр Александрович Калюжный
аспирант кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87
Тел.: 8 (910) 093-78-54
E-mail: alex.kalyuzhnyy77@gmail.com

Аннотация

Рассмотрен метод восстановления повторяющейся последовательности импульсов с известной тактовой частотой в виртуальном стробоскопическом анализаторе путем перестановки, накопления и усреднения дискретных отсчетов при нелинейной трансформации временного масштаба. Массив данных, полученных с помощью стробирующего аналого-цифрового преобразователя (АЦП), выстраивается в нужном порядке путем вычисления положения каждой точки. Показано, что метод перестановки, накопления и усреднения отсчетов позволяет восстанавливать во временной области не только периодические сигналы произвольной формы, но также повторяющиеся импульсные последовательности при низком отношении сигнал/шум. Основой комплекса является персональный компьютер (ПК), в свободный слот которого включена плата расширения, содержащая устройства ввода-вывода, цифроаналоговый и аналого-цифровой преобразователи (ЦАП и АЦП). На выходе ЦАП формируется сигнал в виде повторяющейся тестовой последовательности, подаваемой на вход цифрового канала связи в соответствии с задачей испытаний. Результаты апробации и моделирования восстановления сигнала в шумах представлены в виде исходных выборок и графиков восстановленных сигналов.

Ключевые слова: восстановление сигнала, стробирование, аналого-цифровой преобразователь, трансформация временного масштаба, дискретизация.

Summary

A method for reconstructing a repeating sequence of pulses with a known clock frequency in a virtual stroboscopic analyzer by rearranging, accumulating and averaging discrete samples during non-linear transformation of a time scale is considered. An array of data obtained using a gating analog-to-digital converter (ADC) is built in the desired order by calculating the position of each point. It is shown that the method of permutation, accumulation and averaging of samples allows us to restore in the time domain not only periodic signals of arbitrary shape, but also repeating impulse sequences with a low signal to noise ratio. The basis of the complex is a personal computer (PC), in an empty slot of which an expansion card is included, containing input-output devices, digital-to-analog and analog-to-digital converters (DAC and ADC). At the output of the DAC, a signal is generated in the form of a repeating test sequence supplied to the input of a digital communication channel in accordance with the test task. The results of testing and modeling the restoration of the signal in noise are presented in the form of initial samples and graphs of the reconstructed signals.

Keywords: signal recovery, gating, analog-to-digital converter, time-scale transformation, sampling.

Постановка задачи

При передаче тестовых, зондирующих и пилот сигналов в радио и телекоммуникационных каналах связи возникает необходимость обнаружения и восстановления замаскированной в шумах кодовой импульсной последовательности. Для расширения полосы пропускания анализаторов сигналов можно применить когерентное стробирование, при котором в периодической последовательности импульсов укладывается целое число равномерных отсчетов [1-3].

Структура виртуального комплекса, предназначенного для мониторинга и испытаний цифрового канала связи, представлена на *рисунке 1*. Основой комплекса является персональный компьютер (ПК), в свободный слот которого включена плата расширения, содержащая модули аналогового адаптера, цифроаналогового и аналого-цифрового преобразователей (ЦАП и АЦП). На выходе ЦАП с заданным отношением сигнал/шум формируется последовательность импульсов, подаваемых на вход тестируемого канала через аналоговый адаптер, который нормализует выходные параметры в соответствии с задачей испытаний.

При линейной трансформации временного масштаба сигнала на выходе стробирующего АЦП формируется последовательность отсчетов, повторяющих форму исходного сигнала. Чтобы получить заданный коэффициент трансформации и необходимое число N отсчетов в пределах периода сигнала T_S, выбирается шаг считывания по времени Δt и период дискретизации

$$T_D = nT_S \pm \Delta t,$$

где n – целое число периодов сигнала между точками стробирования;

$\Delta t << T_S$.

При стробировании с равномерным последовательным считыванием мгновенных значений сигнала [4] отношение T_D/T_S является числом близким, но не равным целому:

$$T_D/T_S = n \pm \Delta t/T_S,$$

где Δt – заданный шаг считывания в пределах периода сигнала;

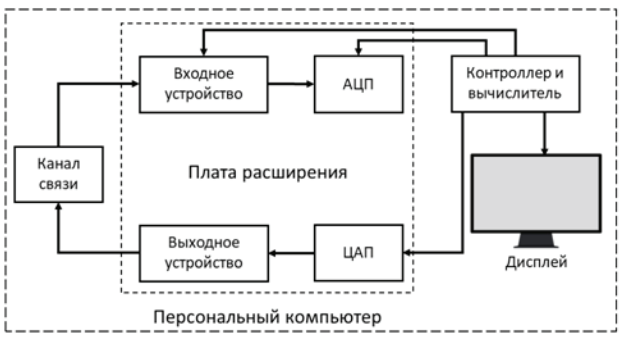


Рис. 1. Комплекс для мониторинга цифрового канала связи

$T_S/\Delta t = N$ – целое число отсчетов в периоде восстановленного сигнала ($\Delta t << T_S$).

В режиме когерентного стробирования дробь

$$T_S/T_D = N/M$$

и является несократимым отношением целых чисел, показывающим, какое количество отсчетов N делается за один полный цикл, содержащий M периодов сигнала. Если продолжить сбор данных в дополнительных циклах, то при отсутствии шумов и отсутствии нестабильности сигнала по частоте и амплитуде будут получены отсчеты в тех же точках периода восстановленного сигнала, что и в первом цикле. За $2M$ периодов формируется два цикла отсчетов, за $3M$ – три цикла и так далее.

Восстановление сигнала методом перестановки отсчетов

В общем случае на выходе АЦП образуется последовательность отсчетов, не повторяющих форму исходного сигнала. Методом восстановления при этом является нелинейная трансформация временного масштаба сигнала с перестановкой мгновенных отсчетов, получаемых путем стробирования в интервале M периодов сигнала. В этом режиме рабочие частоты дискретизации могут принимать значения в более широком диапазоне, чем в режиме когерентного стробирования с равномерным последовательным считыванием мгновенных значений сигнала.

Метод восстановления периодического сигнала путем перестановки рассмотрен в работах [5-7]. Отсчеты, получаемые на выходе АЦП, располагают в интервале восстанавливаемого периода сигнала в порядке, который соответствует линейной трансформации временного масштаба. Положение каждого отсчета (t_i) уточняется в соответствии с выражением:

$$t_i = jT_D - iT_S,$$

где j – порядковый номер (целое число) отсчета;

i – целое число, для которого выполняется условие

$$T_S \geq iT_D - iT_S > 0.$$

При нелинейной трансформации временного масштаба положение каждой точки восстановленного сигнала получается в результате вычисления. При восстановлении порядок расположения точек стробирования изменяется, и последний отсчет может стать первым. Условием нормальной работы является высокая стабильность частот дискретизации и исследуемого периодического сигнала в интервале сбора массива отсчетов. Увеличение времени анализа приводит к повторному считыванию тех же значений периодического сигнала, образуя группы

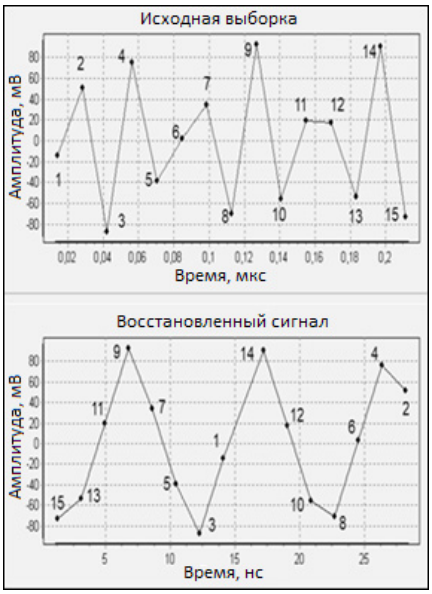
точек, близость расположения которых определяется погрешностью установки частот дискретизации и сигнала.

На *рисунке 2* показано восстановление 3-х периодов треугольного сигнала для 15 и 150 отсчетов при отсутствии шума, частоте сигнала 100 МГц и частоте дискретизации 71 МГц, т.е. отношение

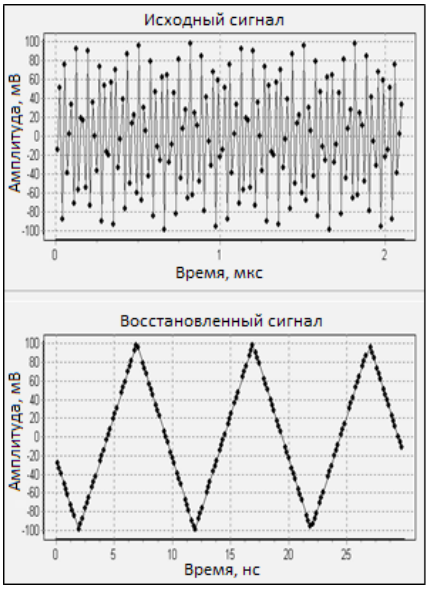
$$F_D/F_S=N/M=71/100,$$
$$F_S/F_D=1.40845070.$$

Последовательность отсчетов с 1 по 15 после перестановки стала иной:

15-13-11-9-7-5-3-1-14-12-10-8-6-4-2.



а) 15 отсчетов в одном цикле



б) 150 отсчетов в 10 циклах

Рис. 2. Восстановление трех периодов треугольных импульсов

Многоцикличное стробирование и восстановление сигнала в шумах

Для выделения периодического сигнала, замаскированного стационарным шумом, необходимо усреднить входной периодический процесс за большое число циклов стробирования. В каждом цикле формируется массив цифровых отсчетов, полученных в интервале одного или нескольких тактовых периодов сигнала. В каждой восстанавливаемой точке последовательности импульсов присутствует сумма мгновенных значений анализируемого коррелированного сигнала и некоррелированного шума. Будем считать, что шум стационарный и имеет нулевое среднее значение.

Метод усреднения применяется в метрологии при фильтрации шумов путем многократных измерений [8] с нахождением среднего значения и среднеквадратического отклонения (СКО) среднего, которые соответственно равны:

$$\sigma_{CP}=\sigma_1/\sqrt{K}$$
$$U_S=\frac{1}{K}\sum_{i=1}U_i$$

т.е. СКО уменьшается в $\sqrt{K}$ раз, где K – число отсчетов в каждой точке, равное числу полных циклов; σ_1 – СКО однократного измерения.

В каждом цикле реализация представляет собой сумму полезного сигнала с шумом. После суммирования K реализаций отношение сигнала к шуму возрастет в $\sqrt{K}$ раз.

Метод восстановления путем накопления и усреднения хорошо работает с периодическими сигналами разной формы. На *рисунке 3* показано восстановление гармонического и пилообразного сигналов в шумах.

На верхних графиках приведен исходный массив последовательных отсчетов, получаемых с частотой дискретизации (здесь 71 МГц) во временном интервале 100 циклов для сигнала 100 МГц. Исходные последовательности выглядят как шумоподобный сигнал. На среднем графике представлен тот же массив после перестановки отсчетов на нужные позиции в пределах восстанавливаемого интервала длительностью трех периодов. На нижнем графике приведены усредненные данные.

На *рисунке 4* показано восстановление 3 и 17 тактов прямоугольных импульсов при отношении сигнал/шум -10 дБ и 0 дБ, длительности выборки составляет 100 циклов. Моделирование показало, что можно восстанавливать последовательности более 64 тактов. При числе тактов от 16 и выше заметно возрастает время накопления и обработки. Если сигнал в течение всех циклов сбора данных является периодическим, то

метод называют синхронным или когерентным накоплением [9].

Алгоритм восстановления последовательности импульсов содержит следующие шаги:

1. Для известной длительности и тактовой частоты повторяющейся последовательности сигнала выбирается период дискретизации и число циклов.

2. Собирается массив данных в требуемом объеме.

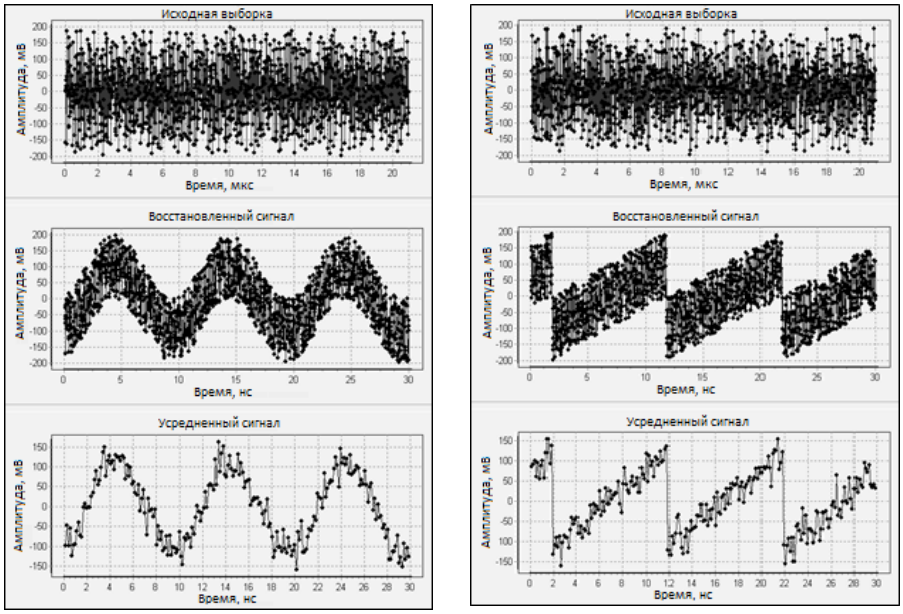
3. Осуществляется перестановка дискретных отсчетов, полученных в результате стробирования.

4. Реализуется усреднение по массиву отсчетов в каждой точке с фильтрацией шумов.

5. Восстанавливается импульсная кодовая последовательность или заданное число периодов сигнала специальной формы.

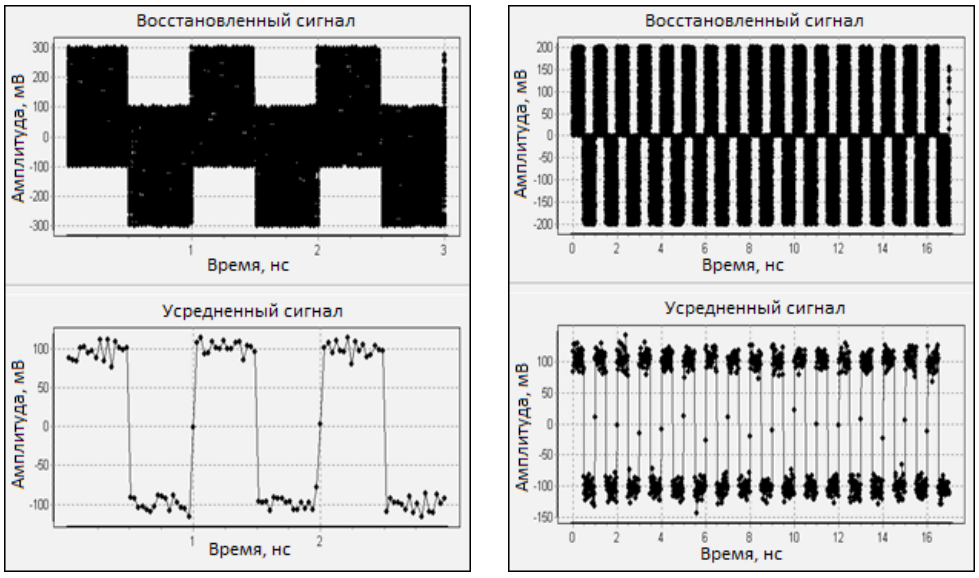
Заключение

Моделирование показало, что методом перестановки, накопления и усреднения можно восстанавливать периодические кодовые последовательности импульсов прямоугольной и специальной формы длительностью более 64 тактов при превышении амплитуды шума над сигналом более чем на 20 дБ.



а) гармонический сигнал б) пилообразный сигнал

Рис. 3. Восстановление трех периодов гармонического и пилообразного сигнала



а) 3 такта, сигнал/шум -10 дБ б) 17 тактов, сигнал/шум 0 дБ

Рис. 4. Восстановление импульсной последовательности

Литература

1. A Tutorial in Coherent and Windowed Sampling with A/D Converters, RENESAS APPLICATION NOTE, AN9675, Rev.0.00, Feb 1, 1997
2. A Theoretical View of Coherent Sampling, RENESAS APPLICATION NOTE, AN9705, Rev.0.00, Jun 1, 1997
3. Patent WO2006086257A2 – Coherent interleaved sampling; Application number, PCT/US2006/003986. Publication date, Aug 17, 2006.
4. Захарченко В.Д. Обработка сложных радиосигналов стробоскопическими методами // АН СССР. Радиотехника и электроника, 1980. №10. С.2099-2104.
5. Никитин О.Р., Поздняков В.А., Поздняков А.Д. Восстановление формы сигнала на экране виртуального осциллографа / Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы четвертой междунар. науч.-техн. конф. Владимир, 2001. С.190-192.
6. Поздняков А.Д., Поздняков В.А. Автоматизация экспериментальных исследований, испытаний и мониторинга радиосистем. М.: Радиотехника, 2004. 208 с.
7. Поздняков А.Д., Поздняков В. А. Вычислительный метод восстановления формы дискретизированного периодического сигнала в компьютерных системах испытаний электронных средств // Проектирование и технология электронных средств, 2008. № 1. С.57-61.
8. Поздняков А.Д., Поздняков В.А., Калюжный А.А. Восстановление дискретизированного сигнала при несинхронизированном стробировании // Методы и устройства передачи и обработки информации, 2017. Вып.19. С.4-7.
9. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применения цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1978. 545 с.

УДК 519.21

СИСТЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫМ ТРЕБОВАНИЯМ

SYSTEM MECHANISMS FOR ASSESSING THE COMPLIANCE OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS WITH THE REQUIREMENTS

Владимир Петрович Карулин
заслуженный работник высшей школы РФ
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
ФГБНУ «Госметодцентр»
старший научный сотрудник
ВА РВСН имени Петра Великого
Адрес: 115093, Москва,
ул. Люсиновская, д.51
Тел.: +7 (499) 706-81-25
E-mail: kvp-1948@mail.ru

Юлия Владимировна Аляева
кандидат технических наук
заместитель начальника отдела
ФГБНУ «Госметодцентр»
доцент
НИУ «Московский
энергетический институт»
Адрес: 115093, Москва,
ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7 (499) 706-81-25
E-mail: julaliaev@gmail.com

Аннотация
В статье рассматривается порядок оценки соответствия научных изданий предъявляемым требованиям к научным изданиям в виде последовательности этапов проверки условий включения в Перечень, учитывающий функциональное содержание этапов, их взаимосвязь и тип научного издания, а также предложены подходы к определению степени соответствия изданий предъявляемым требованиям с целью последующего рейтингования.
Ключевые слова: научное издание, Перечень ВАК, рейтинг, оценка.

Summary
The article discusses the procedure for assessing the compliance of scientific publications with the requirements for scientific publications in the form of a sequence of the validation phases of conditions for inclusion in the List, taking into account the functional content of the phases, their interrelation and type of scientific publication, as well as the proposed approaches to determining the degree of compliance of scientific publications with the requirements for the purpose of subsequent rating.
Keywords: scientific publication, the list of HAC, rating, assessment.

Основным подходом к формированию оценки качества научных изданий является последовательное прохождение научным изданием всех этапов проверки соответствия установленным Требованиям к рецензируемым научным изданиям для включения в Перечень ВАК. Правила прохождения отдельных этапов [1] данного подхода неоднократно корректировались, но основная идея осталась без изменений [2-4].

По итогам анализа характеристик основных критериев научных изданий в соответствии с приказом Министерства образования и науки Российской Федерации №99 от 12 февраля 2018г. [1], который утвердил изменения в правилах формирования Перечня, можно выделить следующие группы научных изданий:

- Издания группы «А» – издания, входящие в международные реферативные базы данных и системы цитирования;
- Издания группы «Б» – издания, учредителями которых являются организации государств, с которыми от имени Российской Федерации заключены соглашения (договоры) о сотрудничестве в области аттестации научных и научно-педагогических работников;
- Издания группы «В» – издания, входящие в Перечень на общих основаниях.

Для каждой группы изданий определены т

Порядок оценки качества научных изданий предусматривает последовательную реализацию совокупности условий включения в Перечень, включающих [2]:

- необходимые условия;
- предварительные условия;
- достаточные условия.

Порядок оценки качества научных изданий предусматривает этапность, функциональное

содержание мероприятий и их взаимосвязь, а также учитывает тип научного издания. При этом, принцип этапности подразумевает наличие нескольких порядковых взаимосвязанных процедур, в том числе и предшествующих основной процедуре оценки качества научного издания [5].

Ниже рассмотрен порядок оценки качества научных изданий.

Необходимые условия заключаются в:

● проверке вхождения издания в МБД. При подтверждении вхождения научного издания в одну из МБД из установленного в [1] списка оно считается включенными в Перечень по научным специальностям и отраслям науки, соответствующим их профилю. К данным изданиям остальные требования не предъявляются.

● формировании полного комплекта документов, предусмотренных пунктом 7 Правил формирования Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, установленных Приказом Минобрнауки России от 12 февраля 2018 г. № 99.

В случае отсутствия подтверждения о включении издания в МБД и/или наличии не полного комплекта документов принимается отрицательное решение о включении научного издания в Перечень. Если подтверждение вхождения издания в МБД представлено, то формируется решение о полном включении издания в Перечень.

При выполнении условия наличия сформированного полного комплекта документов проводится оценка реализуемости предварительных условий путем проведения предварительной экспертизы по определенным пунктам Требований. Невыполнение условий влечет отказ о включении научного издания в Перечень.

На данном этапе научные издания, удовлетворяющие предварительным условиям и в зависимости от принадлежности к одной из групп «Б» или «В»:

● издания, относящихся к группе «Б» сразу переходят к этапу рассмотрения экспертными советами;

● издания, относящихся к группе «В» проходят на третий этап оценки качества – оценка соответствию пп. 2, 5 и 10 Требований.

На последующих этапах, в рамках проверки достаточных условий включения в Перечень, осуществляется обобщенная оценка соответствия предъявляемым требованиям, с учетом заключений профильных экспертных советов ВАК и формирование решений по включению (не включению) научных изданий в Перечень.

В условиях повышения требований к научным изданиям важной особенностью получения экспертными советами обобщенных оценок является определение степени соответствия изданий предъявляемым требованиям и последующее рейтингование.

С этой целью в основу порядка количественной оценки профильным экспертным советом ВАК соответствия рецензируемого научного издания предъявляемым требованиям предлагается положить определение обобщенной оценка степени проявления признаков, характеризующих:

● значимость издания;

● соответствие научных статей журнала заявленным отраслям науки/ научным специальностям и доля научных статей в научном издании;

● научный уровень («научность») опубликованных статей;

● качественный состава редакционной коллегии и/или редакционного совета научного издания.

Выявление степени проявления признаков, характеризующих соответствия рецензируемого научного издания предъявляемым требованиям, производится экспертным путем.

Обобщенная оценка степени соответствия рецензируемого научного издания предъявляемым требованиям по заявленной отрасли науки/ научной специальности ($\bar{s}$) представляет собой средневзвешенный балл [2]:

$$\bar{s} = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^{m} k_i \sum_{j=1}^{n} s_{ij}, \qquad (1)$$

где s_{ij} – балльная оценка j-го эксперта степени соответствия научного издания i-му признаку;
n – количество экспертов по специальности;
k_i – коэффициент важности i-го признака, определяемый экспертами по правилу:
«5» – если i-й признак «очень важный»;
«4» – если i-й признак «важный»;
«3» – если i-й признак «менее важный»;
«2» – если i-й признак «неважный».
m – количество рассматриваемых признаков.

Системная взаимосвязь обобщенных оценок степени соответствия научных изданий предъявляемым требованиям базируется на количественных оценках отношений множеств, подмножеств и отдельных элементов рассматриваемой системы, обеспечивающих формирование всесторонних экспертных оценок научных изданий.

Наиболее значимые критериальные функции, позволяющие получить всестороннюю оценку научного издания на множестве элемен-

тов оценочной системы имеют вид:

a. Обобщенная оценка одним j-м экспертным советом степени соответствия множества рецензируемых научных изданий $\{i=1/m\}$ предъявляемым требованиям по заявленной r-й отрасли науки / научной специальности представляет собой средневзвешенный балл – $\bar{s}_1$:

$$\bar{s}_1 = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^{m} k_i^u \cdot s_{ijr}, \quad \forall j \in J \wedge R_j, \qquad (2)$$

где s_{ijr} – балльная оценка степени соответствия требованиям i-го научного издания j-м экспертным советом по заявленной r-ой отрасли науки/ научной специальности (порядок расчета определяется формулой (1));

k_i^u – коэффициент важности i-го научного издания;

m – количество научных издания;

J – множество экспертных советов;

R_j – множество отраслей науки / научных специальностей в j-ом экспертном совете.

Логическая схема получения оценки представлена последовательностью «условия – результат» (*рисунок 1*).

Рис. 1. Логическая схема – 1

b. Обобщенная оценка одним j-м экспертным советом по всем заявленным отраслям науки/ научным специальностям степени соответствия множества рецензируемых научных изданий $\{i=1/m\}$ предъявляемым требованиям представляет собой средневзвешенный балл – $\bar{s}_2$:

$$\bar{s}_2 = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^{m} k_i^u \sum_{r=1}^{n} s_{ijr}, \quad \forall j \in J, \qquad (3)$$

где s_{ijr} – балльная оценка степени соответствия требованиям i-го научного издания j-м экспертным советом по заявленной r-ой отрасли науки / научной специальности;

n – количество заявленных отраслей науки / научных специальностей;

k_i^u – коэффициент важности i-го научного издания;

m – количество научных издания.

Логическая схема получения оценки представлена последовательностью «условия – результат» (*рисунок 2*).

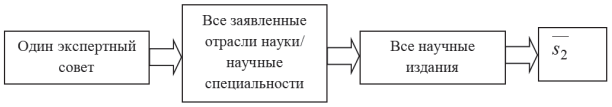


Рис. 2. Логическая схема – 2

c. Следует отметить, что при $m=1$ получаем обобщенную оценку одного i-го научного издания одним j-м экспертным советом на множестве заявленных отраслей науки / научных специальностей – $\bar{s}_3$

$$\bar{s}_3 = \frac{1}{n} k_i^u \sum_{r=1}^{n} s_{ijr}, \quad \forall j \in J \wedge i \in I, \qquad (4)$$

Логическая схема получения оценки представлена последовательностью «условия – результат» (*рисунок 3*).

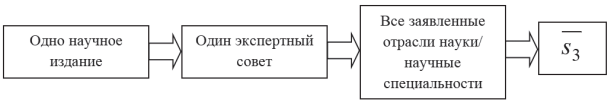


Рис. 3. Логическая схема – 3

d. Обобщенная оценка степени соответствия предъявляемым требованиям одного i-го научного издания по одной r-ой заявленной отрасли науки/ научной специальностей всеми экспертными советами $\{j=1/n\}$ представляет собой средневзвешенный балл – $\bar{s}_4$:

$$\bar{s}_4 = \frac{1}{n} k_i^u \sum_{j=1}^{n} s_{ijr}, \forall i \in I \wedge r \in R_i, \qquad (5)$$

где s_{ijr} – балльная оценка степени соответствия требованиям i-го научного издания j-ым экспертным советом по заявленной r-ой отрасли науки/ научной специальности;

n – количество экспертных советов по заявленной r-ой отрасли науки/ научной специальности;

k_i^u – коэффициент важности i-го научного издания;

I – множество научных изданий;

R_i – множество отраслей науки/научных специальностей заявленных научным изданием (*рисунок 4*).

Логическая схема получения оценки представлена последовательностью «условия – результат».

Рис. 4. Логическая схема – 4

e. Обобщенная оценка степени соответствия предъявляемым требованиям одного научного изданий по всем заявленным отраслям науки / научным специальностям всеми экспертными советами представляет собой средневзвешенный балл – $\bar{s}_5$:

$$\bar{s}_5 = \frac{1}{m \cdot n} k_i^u \sum_{r=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} s_{ijr}, \qquad (6)$$

где s_{ijr} – балльная оценка степени соответствия требованиям i-го научного издания j-м экспертным советом по заявленной r-ой отрасли науки / научной специальности;

n – количество заявленных отраслей науки / научных специальностей;

k_i^u – коэффициент важности i-го научного издания;

m – количество экспертных советов.

Логическая схема получения оценки пред-

ставлена последовательностью «условия – результат» (*рисунок 5*).

Рис. 5. Логическая схема – 5

Проведенный анализ и уточнение порядка формирования экспертной оценки научного издания, претендующего на включение в Перечень рецензируемых научных изданий показывает, что в основу предлагаемой оценочной системы положена обобщенная оценка степени соответствия рецензируемого научного издания предъявляемым требованиям по заявленной отрасли науки/научной специальностей – $\overline{S}$.

Полученные количественные оценки (1-6) позволяют сформировать систему рейтинговых оценок, включающую:

Рейтинговые оценки научного издания:

- оценка научного издания на множестве научных изданий;
- оценка научного издания на множестве отраслей науки/научных специальностей;
- оценка заявленной отрасли науки/ научной специальности на множестве отраслей науки / научных специальностей, заявленных данным научным изданием.

Рейтинговые оценки экспертного совета ВАК по значимости рейтинга научных изданий:

- оценка экспертного совета на множестве научных изданий одной отрасли науки/ научной специальности;
- оценка экспертного совета на множестве научных изданий всех заявленных отраслей науки/ научных специальностей.

Рейтинговые оценки отраслей науки/ научных специальностей:

- оценки отраслей науки/групп научных специальностей на множестве научных изданий;
- оценки отраслей науки/ научных специальностей на множестве экспертных советов.

Литература

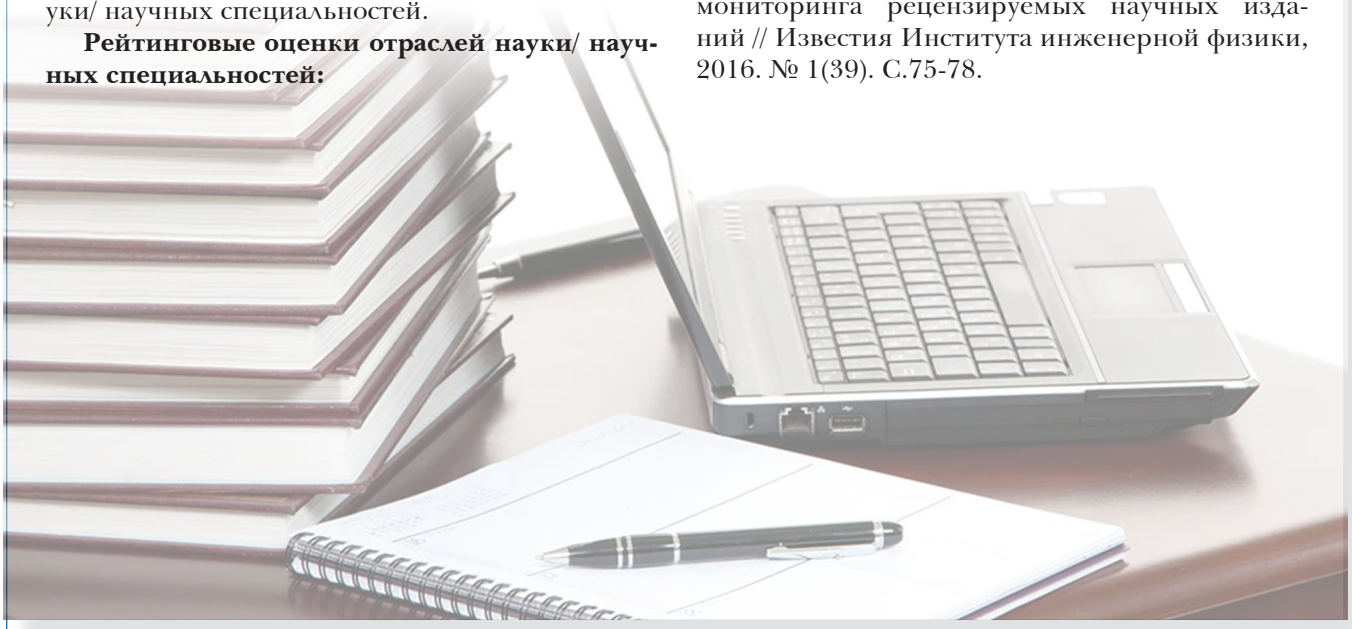
1. Приказ Минобрнауки России № 99 от 12 февраля 2018г. «О внесении изменений в правила формирования перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, и требования к рецензируемым научным изданиям для включения в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденные приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 декабря 2016г. №1586»

2. Емелин Н.М., Карулин В.П. Обобщенная оценка соответствия научных изданий требованиям. Предъявляемым к рецензируемым научным изданиям // Известия Института инженерной физики, 2018. №3(49). С.97-100.

3. Емелин Н.М. Перечень рецензируемых научных изданий: достоинства и недостатки. // В сборнике: Современное непрерывное образование и инновационное развитие, 2017. С.183-186.

4. Емелин Н.М., Карулин В.П., Тараброва И.Н. Алгоритм оценивания рецензируемых научных изданий. // Сборник научных трудов Института инженерной физики за 2016-2017 годы. Вып.5. Ч. 1. 2017. С. 75-79

5. Емелин Н.М. Информационное обеспечение мониторинга рецензируемых научных изданий // Известия Института инженерной физики, 2016. № 1(39). С.75-78.



УДК 519.248+629.7.01

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТОКА ОТКАЗОВ НА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 6(10) КВ

PHYSICO-STATISTICAL MODEL FOR PREDICTING THE FAILURE FLOW ON CABLE LINES WITH A VOLTAGE OF 6(10) KV

Александр Владимирович Майструк
почётный работник высшего профессионального образования РФ
доктор технических наук, профессор
действительный член АВН РФ
профессор
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
Адрес: 107023, Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38
Тел.: +7 (906) 034-01-01
E-mail: maisav2981958@mail.ru

Евгений Сергеевич Сюрсин
младший научный сотрудник
12 ОНИ ВА РВСН имени Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: 8 (905) 509-95-15
E-mail: syursin@yandex.ru

Александр Сергеевич Верещагин
кандидат технических наук
доцент кафедры «Электроснабжения ракетных комплексов»
ВА РВСН имени Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: 8 (916) 064-36-43
E-mail: vas-energy@bk.ru

Сергей Алексеевич Коннов
преподаватель кафедры «Электроснабжения ракетных комплексов»
ВА РВСН имени Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: 8 (495) 524-02-61
E-mail: konnov82@mail.ru

Аннотация
В статье проведено статистическое оценивание надежностных характеристик кабельных линий 6(10) кВ. Произведена проверка гипотезы о законе распределения между отказами на КЛ в СЭС и вычислены его числовые характеристики.
Ключевые слова: Кабельные линии, система электроснабжения, поток отказов, прогнозирование, статистическое оценивание.

Summary
In the article the statistical estimation of reliability characteristics of cable lines of 6(10) kV is carried out the hypothesis about the law of distribution between failures on CL in SES is checked and its numerical characteristics are calculated.
Keywords: cable lines, power supply system, failure flow, forecasting, statistical estimation.

К системам внутреннего электроснабжения (СВЭС) объектов специального назначения (ОСН) относится оборудование, которое включает в себя значительное количество трансформаторных подстанций (ТП), энергоблок, автономные источники питания и кабельные линии (КЛ). Для обеспечения требуемых значений показателей готовности, надежности и безопасности функционирования объектов специального назначения необходимо гарантированное и бесперебойное электроснабжение потребителей. Это достигается проведением комплекса организационно-технических мероприятий (ОТМ), в том числе, и в процессе эксплуатации кабельных линий электропередачи напряжением 6-10 кВ (КЛ). Исходя из специфики выполняемых боевых задач, КЛ обладают существенными преимуществами по сравнению с другими видами распределительных сетей: повышенная стойкость к воздействию климатических условий; повышенная защищённость от возможных воздействий электромагнитных импульсов, создаваемых, как атмосферными, так и перенапряжениями, возникающими в ходе возможных

воздействий средств вероятного противника; соответствие условиям скрытности и маскировки объектов; относительная простота монтажа; относительно высокая степень защищенности от механических повреждений.

Реализация принципа максимального использования запаса технического ресурса ОСН предполагает продление первоначально установленных сроков эксплуатации при сохранении требований к качеству выполнения целевых задач. Реализация указанного принципа возможна при условии оценки и прогнозирования (мониторинга) динамики параметров технического состояния объектов контроля, которое должно производиться с учетом существующий системы восстановления их технического ресурса.

Надежное и бесперебойное электроснабжение объектов специального назначения зависит от технического состояния кабельных линий 6-10 кВ (КЛ) и эффективности функционирования системы эксплуатации. В настоящее время в позиционных районах ОСН используются высоковольтные КЛ с бумажно-пропитанной изоляцией. Согласно ГОСТ 18410-73 гарантийный срок службы кабельных линий составляет 4,5 года со дня ввода в эксплуатацию, а срок эксплуатации составляет 30 лет [4].

Анализ надежности КЛ в зависимости от срока эксплуатации показал, что около 70% всех неисправностей приходится на те линии, которые эксплуатируются более 30 лет (*рисунок 1*) [4,7].

Ежегодно в системе электроснабжения ОСН происходит более 1000 неисправностей и опасных отказов, из которых большее количество приходится на КЛ. Для оперативного устранения которых требуются значительные затраты сил, средств и времени. При этом часто возникают ситуации, связанные как с возникновением дефицита ЗИП, так и ограниченными возможностями сил и средств системы эксплуатации, что приводит к снижению показателей готовности, надежности и безопасности эксплуатации потребителей.

В частности, анализ количества неисправностей на двух специальных системах внутреннего электроснабжения (*рисунки 2а, 2б*) и отдельно взятом позиционном районе (*рисунок 2в*), за период с 2009 по 2017 год, показал, что 40,3% от общего числа отказов приходится на КЛ.

Таким образом, количество неисправностей на КЛ ежегодно увеличивается, а наработка до отказа сокращается. В этой ситуации для обеспечения требуемых (заданных) показателей готовности, надежности и безопасности эксплуатации ОСН необходим научно-методический аппарат (НМА) позволяющий, путем анализа статистических данных и особенностей планируемого периода эксплуатации (модернизация, снятие и ввод в эксплуатацию новых объектов, наличие ресурсов, контрольно-измерительной аппаратуры и т.п.), прогнозировать динамику параметров технического состояния систем внутреннего электроснабжения, в том числе и кабельных линий 6-10 кВ. И на основании полученных результатов, проводить заблаговременную оптимизацию сил и средств (ОСН) системы эксплуатации [6]. При этом процесс выработки комплекса управляющих воздействий предполагает разработку (адаптацию) как планов подготовки соответствующих специалистов, так и оптимизацию ремонтной базы, планов поставок и обслуживания спецагрегатов и ЗИП.

Одним из эффективных направлений получения приемлемых по точности и достоверности оценок параметров о техническом состоянии

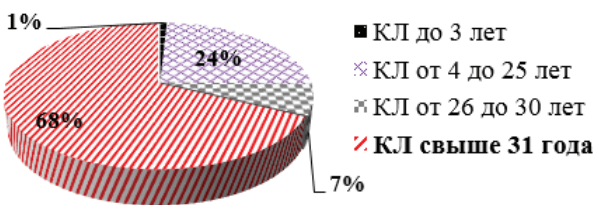


Рис. 1. Количество неисправностей на кабельных линиях СЭС в зависимости от срока эксплуатации

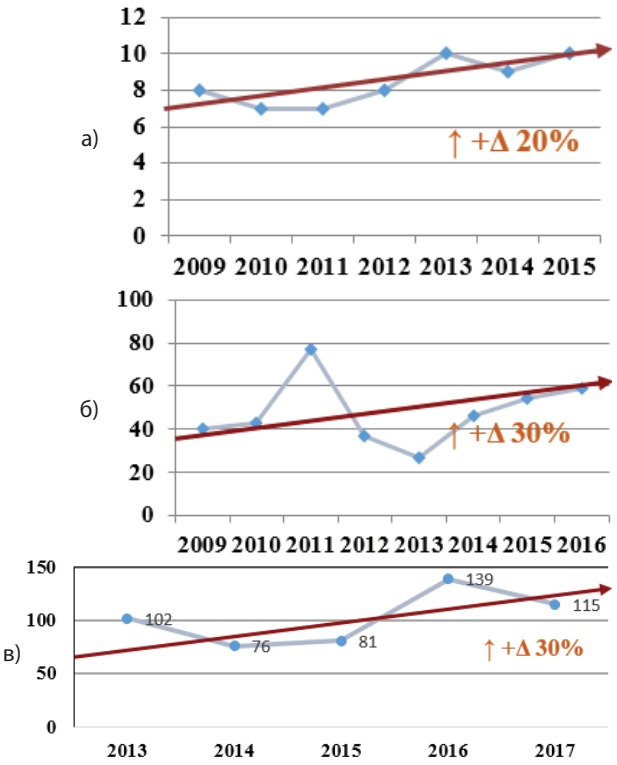


Рис. 2. Неисправности КЛ на СВЭС: а) специальная система №1; б) специальная система №2; в) позиционный район специального назначения

сложных систем является физико-статистический подход, сущность которого заключается в выявлении и описании устойчивых необратимых закономерностей изменения свойств конструкционных материалов объекта под воздействием дестабилизирующих факторов различной природы и процессов старения, определении множества параметров, характеризующих эти изменения и доступных для инструментального (приборного) измерения (контроля), построении формализованных моделей взаимосвязи данных параметров с показателями качества объекта и прогнозирования их динамики в процессе эксплуатации [1,3,5].

Известно, что эксплуатация оборудования ОСН представляет наиболее информативный вид испытаний на надежность и безопасность, так как оборудование подвергается такому спектру внешний воздействий, режимов работы и обслуживания, который невозможно воссоздать в искусственных условиях. Однако, полученные в результате эксплуатации объектов данные, как правило, являются случайными величинами, случайными векторами или функциями, которые являются выборкой из генеральной совокупности. К таким случайным величинам относятся: наработка до отказа; наработка на отказ; наработка до предельного (опасного) состояния; время восстановления; число отказов; число восстановлений; число предпосылок к происшествиям (инцидентов).

При формализации самой полной характеристикой любой случайной величины (СВ) является закон ее распределения, устанавливающий связь между возможными значениями этой величины и соответствующим им вероятностями. Для описания распределения выборки $x_1,x_2,\ldots x_n$, образованной наблюдаемыми значениями непрерывной случайной величины, используются эмпирические (выборочные) аналоги разновидностей закона распределения – эмпирическая функция распределения и эмпирическая плотность распределения. Следовательно, одна из основных задач прогнозирования технического состояния ОСН состоит в том, чтобы с помощью аппарата математической статистики провести анализ выборки и сделать научно обоснованные выводы о закономерностях, которым подчиняется исследуемая генеральная совокупность. Другими словами, основываясь на анализе выборки, полученной в ходе наблюдения над случайной величиной X, закон которой неизвестен, сделать обоснованное заключение о функции распределения F(X) этой случайной величины или о ее числовых характеристиках: математическом ожидании, дисперсии, асимметрии и эксцессе и т.п.

Постановка задачи

С целью прогнозирования надежностных характеристик КЛ СВЭС объектов специального назначения, необходимо решить задачу стати-

Карман	*Частота*
0,0	67
1,0	59
2,0	32
3,0	19
4,0	22
5,0	15
6,0	10
7,0	13
8,0	6
9,0	2
10,0	1
11,0	2
17,0	2
19,0	2
27,0	2
Еще	0

Числовые характеристики наработки между отказами КЛ

Среднее	2,8110236
Стандартная ошибка	0,2367174
Медиана	2
Мода	0
Стандартное отклонение	3,7726544
Дисперсия выборки	14,232921
Эксцесс	14,997679
Асимметричность	3,1983151
Интервал	27
Минимум	0
Максимум	27
Сумма	714
Счет	254
$\lambda =$	0,356

Таблица частот

i	x'_i	n_i	N_i
0	0,0	67	67
1	1,0	59	126
2	2,0	32	158
3	3,0	19	177
4	4,0	22	199
5	5,0	15	214
6	6,0	10	224
7	7,0	13	237
8	8,0	6	243
9	9,0	2	245
10	10,0	1	246
11	11,0	2	248
12	17,0	2	250
13	19,0	2	252
14	27,0	2	254
		254	

Рис. 3. Результаты обработки статистических данных и вычисления эмпирических числовых характеристик наработки между отказами КЛ СВЭС

стического оценивания наработки до отказа при эксплуатации КЛ. Для этого основываясь на анализе выборки наработки X между отказами КЛ в позиционном районе, закон распределения которой неизвестен, требуется сделать обоснованное заключение о функции распределения и ее числовых характеристиках. Произвести проверку гипотезы о законе распределения наработки между отказами.

Для анализа была взята статистика неисправностей на КЛ за 2017 год в отдельном позиционном районе [7]. Первичная обработка статистических данных, в виде наработки между очередными отказами на КЛ СВЭС (в сутках), и вычисление их числовых характеристик проводилась с использованием пакета Excel и процедуры *Описательная статистика*, входящей в Пакет анализа и встроенных статистических функций [7].

Результаты обработки выборочных данных наработки на отказ сведены в таблицы, представленные на *рисунке 3*, где i – номера интервалов группировки, x'_i – границы интервалов группировки случайной наработки между отказами (карман), n_i – групповые частоты попадания данных наблюдения в каждый из интервалов группировки, N_i – накопленные частоты.

Первичная обработка статистических данных заключалась в группировке данных наблюдения случайной величины наработки между отказами. Для группировки данных использовалась процедура *Гистограмма*, входящая в Пакет анализа, и встроенная статистическая функция ЧАСТОТА (FREQUNCY). В результате группировки вместо большого массива данных наработки до очередного отказа (>250), образующих выборку, была получена таблица, дающая достаточно ясное представление об основных закономерностях распределения данных наблюдения.

Анализ результатов группировки показывал, что с увеличением номера интервала групповые частоты монотонно убывают. На основании этого можно предположить, что для описания случайного промежутка времени между отказами на КЛ может быть использовано экспоненциальное (показательное) распределение. В пользу такого выбора свидетельствует форма гистограммы, приведенной на рис. 4, и сравнительная близость значений выборочного среднего $\bar{x}^* = 2{,}81$ и выборочного стандартного отклонения $\sigma_x^* = 3{,}77$ (см. таблицу числовых характеристик наработки между отказами, *рисунок 3*).

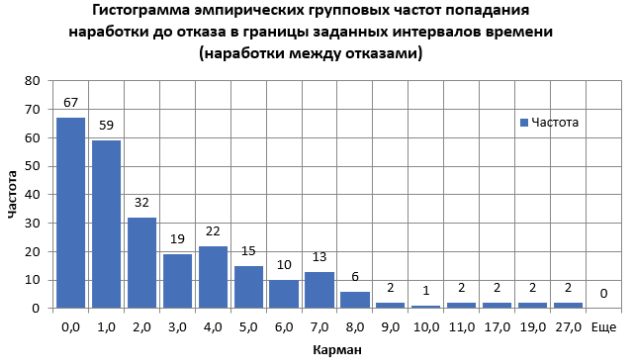


Рис. 4. Гистограмма эмпирических групповых частот попадания наработки до отказа в границы заданных интервалов времени

Внешний вид гистограммы групповых частот попадания наработки до отказа в границы заданных интервалов (*рисунок 4*), построенной на основании табличных данных (см. *рисунок 3*), убедительно подтверждают обоснованность высказанного ранее предположения о том, что экспоненциальное (показательное) распределение может служить достаточно точной вероятностной моделью случайного промежутка времени между последовательными отказами на КЛ СВЭС. Параметр λ показательного распределения связан с математическим ожиданием $\bar{x}$ этого распределения соотношением $\lambda = 1/\bar{x}$. Подставляя в это соотношение выборочную оценку математического ожидания $\bar{x}^* = 2{,}81$, получим выборочную оценку $\lambda^* \approx 0{,}356$.

Таким образом, функция распределения $F(x)$ и функция плотности $f(x)$ гипотетического распределения имеют следующий вид:

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x) = 1 - \exp(-0{,}356x), \quad (1)$$

$$f(x) = \lambda \exp(-\lambda x) = 0{,}356 \cdot \exp(-0{,}356x), x \geq 0. \quad (2)$$

Графики этих функций приведены на рисунках 5 и 6 в виде плавных кривых линий. Расчет значений эмпирической функции плотности вероятности наработки между отказами КЛ $p_n^*(x_i')$ производится по формуле

$$f_n^*(x) = p_n^*(x_i') = p_i^* / \Delta x_i = n_i / N\Delta x_i, \quad x_{i-1}' < x \leq x_i', \quad (3)$$

где N=254 – объем выборки;

n_i – групповая частота i-го интервала группировки;

p_i=n_i/N – относительная частота (частость) попадания элементов выборки в i-й интервал группировки;

$\Delta x_i = x_i' - x_{i-1}'$ – длина этого интервала.

При расчетах значений теоретической (гипотетической) функции плотности вероятности наработки $p_n(x_i)$ использовалась встроенная статистическая функция экспоненциального распределения ЭКСПРАСП $(x;\lambda;0)$. Результаты расчетов сведены в таблицу (см. *рисунок 5*).

Расчет значений эмпирической функции распределения наработки между отказами КЛ $F_n^*(x_i')$ производится по формуле

$$F_n^*(x_i') = P_n^*(X < x_i') = N_i / N_i, \quad (4)$$

где N_i – накопленная частота i-го интервала группировки.

При расчетах значений теоретической (гипотетической) функции распределения $F_n(x_i')$ использовалась встроенная статистическая функция экспоненциального распределения ЭКСПРАСП (*x;λ;1*). Результаты расчетов, представлены в сводной таблице (см. *рисунок 6*).

Из этих рисунков следует, что кривые гипотетического распределения довольно хорошо согласуются с графиками эмпирического закона распределения. Плавные кривые гипотетического распределения, отражая основные закономерности эмпирического распределения, свободны от отклонений эмпирических кривых, вызванных, как правило, случайным составом выборки ограниченного объема. Объективность данного предположения проверим с помощью критерия согласия χ^2 Пирсона, который является наиболее универсальным и наиболее часто используемым из всех критериев согласия. Данный критерий согласия можно использовать для проверки гипотез относительно любых видов гипотетических распределений, как непрерывных, так и дискретных случайных величин [1,2]. При этом даже не надо знать заранее значения параметров гипотетического распределения, так как оценки могут быть определены по тем же данным наблюдения, по которым найден эмпирический закон распределения, т.е. по которым найдены групповые частоты. Кроме того, применяя этот критерий согласия можно по-разному разбивать и область определения случайной величины на интервалы группировки. Основной недостаток критерия Пирсона состоит в том, что при малом числе наблюдений

Эмпирическая и теоретическая ФП СВ X

i	x_i'	$p^*_n(x_i')$	$p_n(x_i)$
0	0,0	0,264	0,3557
1	1,0	0,232	0,2493
2	2,0	0,126	0,1746
3	3,0	0,075	0,1224
4	4,0	0,087	0,0857
5	5,0	0,059	0,0601
6	6,0	0,039	0,0421
7	7,0	0,051	0,0295
8	8,0	0,024	0,0207
9	9,0	0,008	0,0145
10	10,0	0,004	0,0101
11	11,0	0,008	0,0071
12	17,0	0,008	0,0008
13	19,0	0,008	0,0004
14	27,0	0,008	0,0000
	$\sum p^*_i =$	1	1

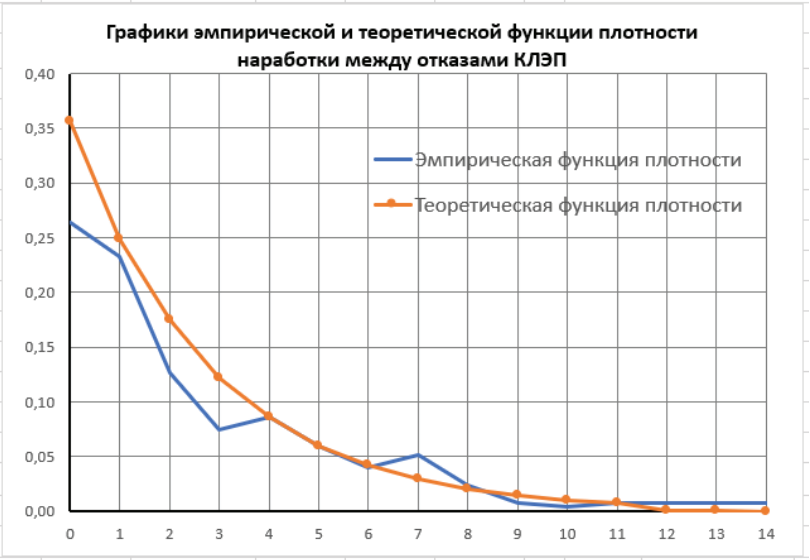


Рис. 5. Графики эмпирической и теоретической функции плотности наработки между отказами на кабельных линиях

Эмпирическая и теоретическая ФР СВ X

i	$F^*_n(x_i')$	$F_n(x_i')$	$p_n(x_i)$	$x_i = p_n(x_i)'n$
0	0	0,000	0,299	76,034
1	0,264	0,299	0,210	53,274
2	0,496	0,509	0,147	37,326
3	0,622	0,656	0,103	26,153
4	0,697	0,759	0,072	18,324
5	0,783	0,831	0,051	12,839
6	0,843	0,882	0,035	8,996
7	0,882	0,917	0,025	6,303
8	0,933	0,942	0,017	4,416
9	0,957	0,959	0,012	3,094
10	0,965	0,971	0,009	2,168
11	0,969	0,980	0,006	1,519
12	0,976	0,986	0,004	1,064
13	0,984	0,990	0,003	0,746
14	0,992	0,993	0,010	2,491
				254,75

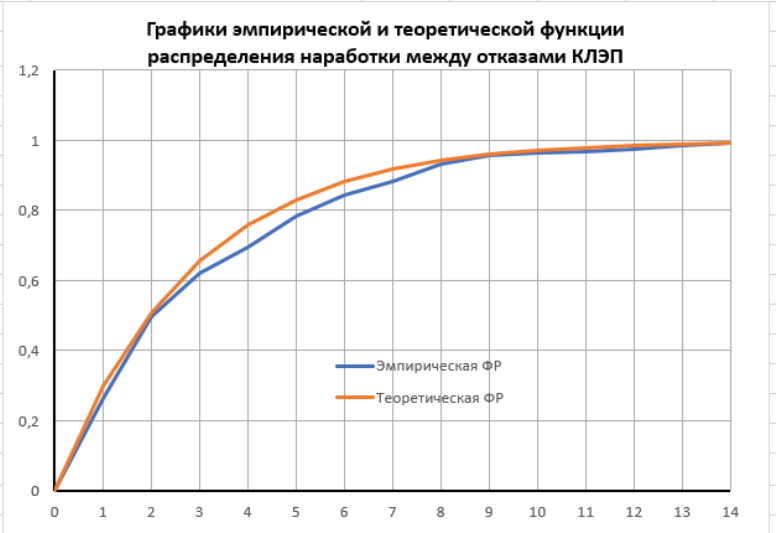


Рис. 6. Графики эмпирической и теоретической функции распределения наработки между отказами на КЛ

результаты проверки сильно зависят от выбора границ интервалов группировки.

Результаты проверки, выдвинутой гипотезы о экспоненциальном законе распределения наработки между отказами с параметром $\lambda^* \approx 0{,}356$, представлены в сводной таблице (*рисунок 7*).

Расчетное значение

$$u = \sum_{i=1}^{10} (n_i^* - n_i)^2 / n_i = 13{,}304,$$

статистики U меньше ее критического значения

$$u_{(0{,}05)} = \chi^2(0{,}05; 8) = 15{,}507,$$

поэтому можно считать, что проверяемая гипотеза (наработка наработки между отказами на КЛ СВЭС подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметром $\lambda = 0{,}365$) не противоречит данным наблюдения. К данному выводу приводит и сравнение значимости

$$\alpha^* = P(U \geq u) = 0{,}898$$

с заданным уровнем значимости $\alpha = 0{,}05$, так как альфа со звездой значительно больше альфа.

Таким образом, по результатам обработки статистических данных наработки между отказами на КЛ СВЭС, установлено что случайное значение наработки подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметром $\lambda = 0{,}365$. Обоснованность такого заключения подтверждена с помощью критерия согласия χ^2 Пирсона, который является наиболее универсальным и наиболее часто используемым из всех критериев согласия. Результаты, полученные в ходе статистического оценивания параметров потоков отказов КЛ СВЭС, являются исходными данными при решении задач оптимизации состава сил и средств восстановления систем электроснабжения. При формализации задачи оптимизации может использоваться научно-методический аппарат теории массового обслуживания.

Критерий согласия χ2 Пирсона

n_i^*	n_i	$(n_i^* - n_i)^2 / n_i$
67	76,034	1,073
59	53,274	0,616
32	37,326	0,760
19	26,153	1,956
22	18,324	0,737
15	12,839	0,364
10	8,996	0,112
13	6,303	7,116
6	4,416	0,568
11	11,082	0,001
254	254,746	13,304
	ν - r - 1=	8
	χ2(0,05; 8) =	15,507
α* =	P(χ2 ≥ 13,304) =	0,898

Рис. 7. Результаты проверки согласия по критерию χ^2 Пирсона

Литература

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для вузов. 7-е изд., стер. М.: Высшая школа, 2001. 575 с.
2. Васильев А.Н. Научные вычисления в Microsoft Excel. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 512 с.
3. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
4. Майструк А.В., Сюрсин Е.С., Верещагин А.С., Куликов А.Ю. Особенности эксплуатации системы электроснабжения специальных объектов. Материалы XXXVII Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и перспективы совершенствования СЭС». Серпухов, 2018. Т.4. С.252-255.
5. Майструк А.В., Боркин В.С. Системный анализ и моделирование потенциально опасных технологических процессов // Безопасность в техносфере, 2014. №3(48). С.3-9.
6. Майструк А.В. Моделирование задачи оптимизации показателей безопасности сложных систем с учетом эксплуатационных затрат и показателей риска // Машиностроение и инженерное образование, 2013. №3(36). С.42-51.
7. Сюрсин Е.С. Прогнозирование отказов на кабельных линиях на основе ведения статистики параметра сопротивления изоляции // Научно-технический сборник ВА РВСН №279, 2019. С.364-370.

УДК 629.783

КОМБИНИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С АКТИВНЫМ КООРДИНАТНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ

COMBINED CONTROL OF STABILIZATION OF THE ANGULAR POSITION OF A SPACECRAFT WITH ACTIVE COORDINATE-PARAMETRIC DAMPING OF ELASTIC STRUCTURAL ELEMENTS

Ярослав Николаевич Гусеница
кандидат технических наук
начальник испытательной лаборатории
ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА»
Адрес: 353456, Краснодарский край, г.Анапа, Пионерский пр., д. 28
Тел.: +7 (981) 831-50-29
E-mail: yaromir226@gmail.com

Евгений Николаевич Алёшин
кандидат технических наук
старший преподаватель
ВКА имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7 (911) 822-03-50
E-mail: aleshin_evgeny@inbox.ru

Валентин Николаевич Воротягин
адъюнкт
ВКА имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7 (911) 813-83-73
E-mail: vorotyagin@rambler.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

Ирина Александровна Якимова
кандидат технических наук
старший преподаватель кафедры механики и инженерной графики
филиал ВА РВСН имени Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: zelenoglazka1989@mail.ru

Аннотация

Комбинированный подход в сочетании с методом компенсационно-параметрической стабилизации позволил сформировать закон компенсационного управления стабилизацией углового положения корпуса космического аппарата совместно с локальным координатно-параметрическим управлением колебаниями упругой части конструкции. Применение такого управления позволяет обеспечить практически полную компенсацию возмущающего влияния динамики присоединенных упругих элементов на угловое движение объекта управления. Высокая точность стабилизации космического аппарата достигается компенсирующим управлением объекта, учитывающим текущее состояние упругой системы. Для решения задачи синтеза параметрического управления жесткостью упругих элементов конструкции с целью подавления колебаний использована редуцированная моногармоническая модель. При этом закон управления активным демпфированием колебаний исследуемой модели можно использовать на случай управления полигармонической системой на основе концепции обобщенного нестационарного осциллятора, сущность которой состоит в возможности использования на конце упругого элемента конструкции датчика перегрузок для выделения колебательной составляющей, доминирующей в полигармоническом процессе. Стратегия управления жесткостью выбрана таким образом, чтобы с учетом текущего состояния упругих элементов, а также величины и знака прикладываемого управляющего воздействия спираль на фазовой плоскости скручивалась бы с наибольшим градиентом. Длительность этого процесса в значительной степени зависит от инерционности используемых исполнительных органов, начальной амплитуды колебаний и требуемых точностей стабилизации объекта по углу и угловой скорости, а также частоты смены знака прикладываемого управления.

Ключевые слова: угловое движение; демпфирование; упругие элементы конструкции; система стабилизации.

Summary
The combined approach in combination with the method of compensation-parametric stabilization made it possible to formulate the law of compensatory control of stabilization of the angular position of the spacecraft's hull together with the local coordinate-parametric control of vibrations of the elastic part of the structure. The use of such a control makes it possible to provide almost complete compensation for the disturbing effect of the dynamics of the attached elastic elements on the angular motion of the control object. High accuracy of stabilization of the spacecraft is achieved by compensating control of the object, taking into account the current state of the elastic system. To solve the problem of synthesizing parametric control of the stiffness of elastic structural elements in order to suppress vibrations, a reduced monoharmonic model is used. Moreover, the control law of active damping of oscillations of the model under study can be used for the case of controlling a polyharmonic system based on the concept of a generalized unsteady oscillator, the essence of which is the possibility of using an overload sensor at the end of the elastic element to isolate the oscillating component that dominates the polyharmonic process. The stiffness control strategy is chosen so that, taking into account the current state of the elastic elements, as well as the magnitude and sign of the applied control action, the spiral on the phase plane will be twisted with the greatest gradient. The duration of this process largely depends on the inertia of the executive bodies used, the initial amplitude of the oscillations and the required accuracy of stabilization of the object by angle and angular velocity, as well as the frequency of the change in sign of the applied control.
Keywords: angular motion; damping; elastic structural elements; stabilization system.

Введение

Общий подход к решению задач локально-автономного координатно-параметрического управления динамикой присоединенных упругих элементов конструкции (УЭК) в процессе управляемого углового движения космического аппарата (КА), сформированный в [1], был назван локализационным подходом. Причем под координатным управлением подразумевается управление, реализуемое за счет приложения к УЭК управляющих сил и моментов, а также параметрическое – за счет целенаправленного изменения параметров (диссипативных и жесткостных свойств) упругой системы. Известно, что реализация координатного управления приводит к принципиальной возможности не только гашения, но и возбуждения упругих колебаний за счет возникающего в процессе функционирования подобных систем перераспределения энергии между исполнительным механизмом демпфера и демпфируемой упругой конструкцией, что ограничивает область их практического применения достаточно простыми колебательными системами с редким низкочастотным спектром.

Для организации активного гашения колебаний сложных упругодеформированных конструкций с плотным спектром колебаний как в области низких, так и в области сравнительно высоких частот, использование координатного управления оказывается проблематичным в силу имеющегося эффекта транспонирования энергии колебаний распределенной конструкции из низкочастотного колебательного спектра в высокочастотный и обратно [2]. Данный эффект может приводить к появлению околорезонансных и резонансных явлений в упругой системе.

Одним из перспективных способов гарантированного гашения колебаний УЭК является введение в конструкцию дополнительных устройств гашения колебаний [3] параметрического типа, которые вместе с системой управления и измерительной системой образуют локальный контур активного параметрического гашения колебаний УЭК. Исходно задачу активного гашения колебаний УЭК за счет управления их жесткостными свойствами можно сформулировать как задачу оптимального по быстродействию управления УЭК КА [4], например, в режиме стабилизации. При этом с технической точки зрения на практике обеспечить требуемые терминальные условия, характеризующие полное отсутствие энергии колебаний УЭК, за ограниченное время становиться практически не возможным. Поэтому ориентируясь на нужды практического использования, синтезируемого управления гашения колебаний УЭК переменной жесткости предлагается способ комбинированного управления стабилизацией углового положения космического аппарата с активным координатно-параметрическим демпфированием УЭК.

Синтез управления стабилизацией углового движения объекта с активным координатно-параметрическим демпфированием колебаний упругих элементов

Пусть динамика процесса угловой одноканальной стабилизации объекта с учетом основной низкочастотной формы колебаний присоединенного к нему упругого элемента описывается следующей системой дифференциальных уравнений [1]

$$\begin{cases} \ddot{\varphi} = \theta\,(q, q') + u_{st} + \Delta u_q \\ \ddot{q} = -d\cdot q' - \omega^2\cdot q - (a/m)\cdot(u_{st} + \Delta u_q) \end{cases} \quad (1)$$

где $\ddot{\varphi}$, φ – текущие рассогласования по углу и угловой скорости объекта управления;
q, q' – текущие отклонения по углу и скорости относительного движения присоединенного к объекту упругого элемента;
Δu_q – компенсирующая управляющая добавка (компенсирующая возмущающее влияние упругого элемента);
a – коэффициент динамического взаимовлияния объекта и упругого элемента;
m – массовый параметр упругого элемента (приведенная масса).

Для расчета значения величины коэффициента d используется формула

$$d = (b/m)\cdot[(1 - a^2)/(I\cdot m - a)],$$

где b – диссипативный параметр упругого элемента.

Квадрат частоты колебаний упругого элемента ω^2 определяется выражением

$$\omega^2 = (c/m)\cdot[(1 - a^2)/(I\cdot m - a)],$$

где c – жесткостный параметр упругого элемента.

Возмущающее ускорение, обусловленное динамикой упругого элемента $\theta(\cdot)$ определяется выражением

$$\theta(\cdot) = a^*\cdot q + b^*\cdot q',$$

где $a^* = (a\cdot c)/(I\cdot m - a)$;
$b^* = (b\cdot c)/(I\cdot m - a)$.

Пропорционально-дифференциальное стабилизирующее управление u_{st} рассчитывается по формуле

$$u_{st} = k_1\cdot\varphi + k_2\cdot\varphi',$$

где k_1, $k_2 < 0$.

Самым простым очевидным решением формирования компенсирующего управления является

$$\Delta u_q = -\theta(q, q').$$

Однако данное решение не учитывает тот факт, что при слабом собственном демпфировании упругого элемента потребуется достаточно долго прикладывать компенсирующее управление, которое по величине при малых координатных рассогласованиях объекта может оказаться несоизмеримо больше самого стабилизирующего управления и, более того, противоположно ему по знаку. Следовательно, любые (даже сравнительно малые) погрешности в формировании компенсирующего управления могут привести к нарушению качества стабилизации. Чтобы этого не происходило или возможность проявления таких эффектов были сведены к минимуму, необходимо одновременно с эффективной компенсацией возмущения обеспечить и активное демпфирование колебаний упругого элемента. Этого можно достичь за счет рационального (без ущерба основному контуру управления) целенаправленного изменения величины компенсирующего управления в зависимости от текущего состояния упругого элемента, чем определяется величина и знак создаваемого возмущающего ускорения, а также от знака, формируемого по состоянию самого объекта стабилизирующего управления.

Закон формирования величины Δu_q для случая постоянной жесткости упругого элемента записывается в виде

$$\Delta u_q = \begin{cases} 0, \ \text{sign}\, u_{st} = \text{sign}\,\theta \wedge \text{sign}\, u_{st} = \text{sign}\, q \\ \Delta u_T, \ |\Delta u_T| > |\theta| \wedge \text{sign}\,\Delta u_T = -\text{sign}\,\theta \wedge \text{sign}\, u_{st} = \text{sign}\, q \\ -\theta(q, q'), \ \text{в остальных ситуациях} \end{cases} \quad (2)$$

Управление Δu_T определяется по следующим формулам:

$$\Delta u_T = u_T - u_{st}$$
$$u_T = (0{,}5\cdot\omega^2)/c^*\cdot(q^2/(\omega^2\cdot q)+q),$$
$$c^* = -(a/m) \quad (3)$$

где u_T – терминальное управление.

В случае переменной жесткости упругого элемента целесообразно изменять ее таким образом, чтобы, не ухудшая характеристики движения объекта при управлении по закону (2), внести дополнительный вклад в демпфирование колебаний упругого элемента.

Пусть $\omega_{min} \in [\omega_{min}, \omega_{max}]$ – диапазон изменения частоты колебаний присоединенного упругого элемента.

Пренебрегая собственным затуханием упругого элемента, из формулы (1) уравнение его относительного движения имеет вид [5]

$$\ddot{q} = -\omega^2\cdot q + c^*\cdot U \quad (4)$$

где $u = u_{st} + \Delta uq$.

Траектория движения упругого элемента при управлении по закону (2) при $\omega=\omega_{max}=\text{const}$ и $U<0$.

Обозначим $\nu=c^*u=\text{const}$, тогда из выражения (4) уравнение фазовой траектории упругого элемента, начинающейся в точке $(q_0, q'_0/\omega)$, имеет вид

$$(q - \nu/\omega^2)^2 + (\dot{q}/\omega)^2 = (q0 - \nu/\omega_{max}^2)^2 + (\dot{q}_0/\omega_{max})^2 \quad (6)$$

а при $\omega = \omega_{min}$ получаем

$$(q-\nu/\omega_{min}^2)^2+(\dot{q}/\omega_{max})^2\cdot 1/\alpha=(q_0-\nu/\omega_{min}^2)^2+(\dot{q}_0/\omega_{max})^2\cdot 1/\alpha,$$
$$\alpha = (\omega_{min}\cdot\omega_{min})/(\omega_{max}\cdot\omega_{max}) \quad (7)$$

Уравнение (6) определяет окружность с центром в точке $(\nu/\omega_{max}^2, 0)$ и радиусом

$$R = \sqrt{((q_0 - \nu/\omega_{max}^2)^2 + (\dot{q}_0/\omega_{max})^2}.$$

Уравнение (7) описывает эллипс с центром в точке $(\nu/\omega_{min}^2, 0)$, большой полуосью

$$D = \sqrt{((q_0 - \nu/\omega_{min}^2)^2 + (\dot{q}_0/\omega_{min})^2)}$$

и малой полуосью $D\sqrt{\alpha}$. Из формул (6) и (7) в результате вычислений определены точки пересечения двух траекторий с координатами

$$(q_0, \pm q_0/\omega_{max})$$

и

$$(-q_0, \pm\sqrt{((q_0^2 - 4\cdot\nu\cdot q_0)/\omega_{max}}).$$

Вследствие того, что абсциссы этих точек симметричны относительно начала координат сделаны следующие выводы.

В секторах AOB и COD целесообразно принимать $\omega=\omega_{max}$, поскольку круговая траектория, исходящая из любой точки этих секторов, лежит к началу координат ближе, чем эллиптическая.

В секторе BOC выгоднее принять $\omega=\omega_{min}$, поскольку эллиптическая траектория, исходящая из любой точки этого сектора, лежит к началу координат ближе, чем круговая.

В секторе DOA по закону (2) осуществляется терминальное управление [6-11]. Если мощности исполнительных органов недостаточно для приведения упругого элемента в начало координат при максимальной жесткости, тогда необходимо переходить к минимальной жесткости, что следует из анализа выражения (3) для расчета u_T, т.е. чем меньше ω, тем меньше по абсолютной величине терминальное управление требуется для перевода объекта из заданного положения в требуемую конечную точку. Поэтому уменьшая ω, можно обеспечить перевод в терминальную точку даже тогда, когда при большем ω реализация такого управления невозможна из-за того, что $|u_T|>U_{max}$ при $\omega=\omega_{max}$.

Следовательно, логика управления жесткостью в этом секторе (DOA) следующая

$$\begin{aligned}&\omega_{min},\ |u|>U_{max}\\ &\omega=\omega_{max},\ |u|\le U_{max},\end{aligned}\qquad(8)$$

где U_{max} – абсолютная величина максимального ускорения, развиваемого исполнительными органами объекта.

В нижней части *рисунка 1* показаны области фазовой плоскости и соответствующие им жесткости упругого элемента согласно приведенным выводам при v>0. В силу симметрии при изменении знака нагружения упругого элемента достаточно провести геометрическую инверсию логик относительно начала координат.

Таким образом, закон управления жесткостью может быть представлен в следующем виде

$$u_\omega=\begin{cases}u_{\omega1},\ \text{sign}\,(q\cdot U)=1\ \wedge\ \text{sign}\,(q\cdot q')=-1\\ u_{\omega2},\ \text{в остальных случаях},\end{cases}\qquad(9)$$

где

$$u_{\omega1}=\begin{cases}1,\ |u|>U_{max}\\ 0,\ |u|\le U_{max};\end{cases}\qquad u_{\omega2}=\begin{cases}1,\ \text{sign}\,(q\cdot\dot q)=-1\\ 0,\ \text{sign}\,(q\cdot\dot q)=1.\end{cases}$$

Сигналы управления «1» и «0» соответствуют минимальной и максимальной жесткости упругого элемента.

Закон управления (2) и (9) предполагает многоконтурную схему системы стабилизации. Основной контур системы стабилизации объекта формирует управление u_{st} в условиях «фактического» отсутствия колебаний упругого элемента, когда их амплитуда не превосходит зону нечувствительности измерительной части системы. Если же уровень упругих колебаний превышает зону нечувствительности, то в работу включается еще два контура управления: контур формирования компенсирующего управления

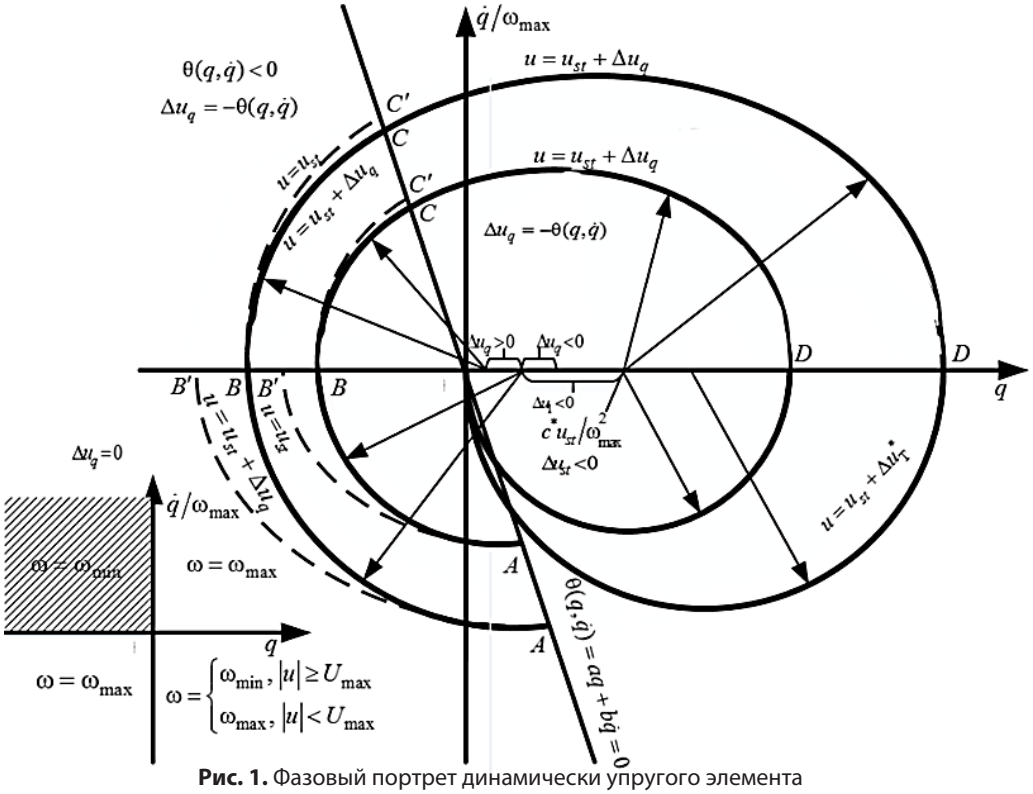


Рис. 1. Фазовый портрет динамически упругого элемента

Δu_q; контур активного демпфирования колебаний упругого элемента u_ω. Взаимоувязка работы контуров предполагаемой многоконтурной системы стабилизации осуществляется за счет использования управляющей информации, первого контура при формировании управления во втором контуре, а информации о суммарном управляющем воздействии от первых двух контуров – при формировании управляющей информации в третьем контуре. Второй и третий контуры согласованно решают задачу по максимальному снижению амплитуды колебаний упругого элемента. Кроме того, второй контур обеспечивает еще и компенсацию возмущающего влияния на корпус самого объекта. При этом в режиме грубой стабилизации объекта система стабилизации объекта допускает работу и без участия второго (компенсирующего) контура. Этот режим осуществляется путем задания нулевых значений ω, a^*, b^* и c^*.

Заключение

Реализация компенсационного управления позволяет решить задачу стабилизации углового положения КА с УЭК с ощутимым улучшением качества переходных процессов по сравнению с традиционным пропорционально-дифференциальным управлением. При этом следует отметить, что система компенсационного управления является комбинированной, поскольку она построена на принципах управления как по отклонению (основной контур стабилизации), так и по возмущению (дополнительны контур формирования компенсирующей добавки). В таких системах не возникает противоречия между условиями инвариантности и условиями устойчивости, что является их существенным преимуществом по сравнению с системами регулирования по отклонению.

Литература

1. Мануйлов Ю.С., Алёшин Е.Н., Зиновьев С.В. Методы и алгоритмы компенсационно-параметрического управления угловым движением космического аппарата с упругими элементами конструкции. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015. 223 с.

2. Рутковский В.Ю., Суханов В.М., Глумов В.М. Стабилизация упругих колебаний конструкции крупногабаритных спутников с переменными параметрами методами адаптации // Автоматика и телематика, 2011. № 12. С.91-103.

3. Jyoti L. Gurav, In-Keun Jung, Hyung-Ho Park, Eul Son Kang, Digambar Y. Nadargi Silica Aerogel: Synthesis and Applications // Journal of Nanomaterials, 2010. Vol.2010. Pp. 1257-1268.

4. Тимаков С.Н., Жирнов А.В. Алгоритм активного демпфирования упругих колебаний конструкции международной космической станции // Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение», 2014. № 3. С.37-53.

5. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение. 1976. 184 с.

6. Алёшин Е.Н., Мануйлов Ю.С. Терминальное управление движением космического аппарата с упругими элементами конструкции / Сб. тр. XVI междунар. конф. «Региональная информатика и информационная безопасность». СПб.: СПОИСУ, 2018. Вып. 5. С.15-19.

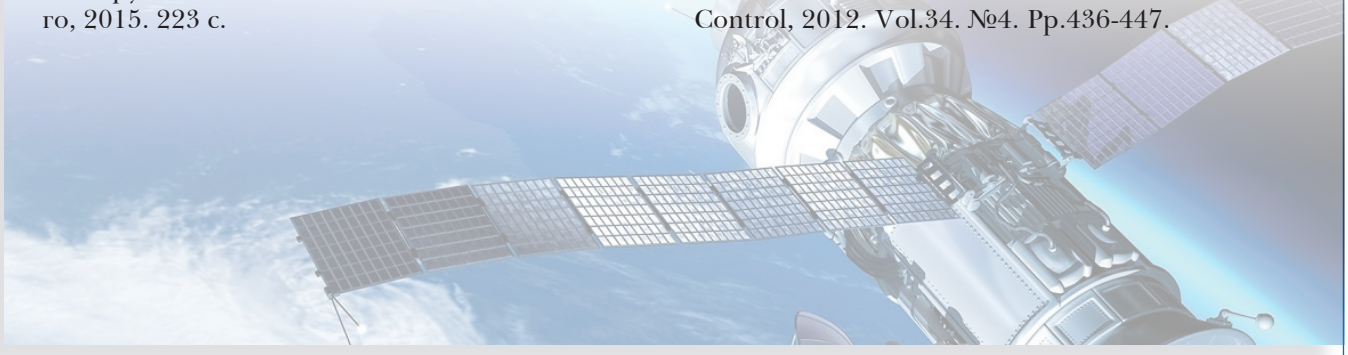
7. Крутова И.Н. Суханов В.М. Синтез модифицированного PD-алгоритма управления угловым движением большой космической конструкции // Автоматика и телематика, 2009. № 1. С.39-50.

8. Zhang A., Ni J., Huo X. Finite-Time Stabilization Control for a Rigid Spacecraft under Parameter Uncertainties // Journal of Applied Mathematics, 2014. Pp.578-693.

9. Somov Ye.I., Butyrin S.A., Somov S.Ye. Spacecraft guidance and robust attitude control with-precise pointing the flexible antennas // Proc. 18th IEEE Int. Conf. on Control Applications, Part 3rd IEEE Multi-conference on Systems and Control. Saint Petersburg, 2009. Pp.1057-1062.

10. Kong X.R., Yang Z.X. Combined freedback control and input shaping for vibration suppression of flexible spacecraft // International Conference on Mechattronics and Automation, 2009. Pp. 3257-3262.

11. Hu Q. Robust adaptive sliding mode attitude control and vibration damping of flexible spacecraft subject to unknown disturbance and uncertainty // Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2012. Vol.34. №4. Pp.436-447.



УДК 004.056.53

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ХРАНЕНИЯ СИГНАТУР И ПРИЗНАКОВ СЕТЕВЫХ АТАК В IDS

RESEARCH OF METHODS OF DISTRIBUTED STORAGE OF SIGNATURES AND SIGNS OF NETWORK ATTACKS IN IDS

Павел Валерьевич Фролов
аспирант
кафедра «Защита информации»
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: 8 (910) 598-45-81
E-mail: HAN-92@mail.ru

Елизавета Алексеевна Галуза
студентка магистратуры
кафедра «Системы обработки информации»
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: 8 (910) 705-06-09
E-mail: lizagaluza@gmail.com

Анатолий Викторович Мазин
доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой «Защита информации»
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: 8 (910) 915-58-25
E-mail: mazinav@yandex.ru

Евгений Владимирович Вершинин
кандидат физико-математических наук, доцент
заведующий кафедрой
«Системы обработки информации»
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: 8 (910) 510-73-50
E-mail: yevgeniyv@mail.ru

Аннотация

В статье приведена архитектура исследуемой информационной системы. Сформулированы проблемы, возникающие при хранении признаков сетевых атак в IDS. Выделены основные существующие технологии распределенного хранения данных. Приведены критерии для сравнения РСХД. Осуществлен анализ систем хранения данных по приведенным критериям. Выявлена наиболее подходящая технология распределенного хранения данных для решения поставленной задачи.

Ключевые слова: информационная система, облачное хранилище, блокчейн, торрент, Google File System, РСУБД, распределенные системы хранения данных, системы обнаружения вторжений.

Summary

This article describes the architecture of the investigated information system. The problems arising when storing signs of network attacks in IDS are formulated. The main existing technologies of distributed data storage are highlighted. Criteria are given for comparing RSHD. The analysis of data storage systems according to the above criteria. The most suitable distributed data storage technology for solving the task has been identified.

Keywords: information system, batter storage, blockchain, torrent, Google File System, RDBMS, distributed storage systems, intrusion detection systems.

Введение

В связи с экспоненциальным развитием информационных технологий и средств автоматизации одной из наиболее актуальных проблем является обеспечение кибербезопасности информационных систем (ИС). Нарушение доступности, целостности и конфиденциальности обрабатываемой информации внутри ИС может привести к крупным финансовым потерям. Защита сетевой и информационной инфраструктуры (СИИ) в ИС является важной задачей, решение, которой оказывает непосредственное влияние на весь жизненный цикл ИС. Проблемы безопасности СИИ решаются с помощью межсетевых экранов, антивирусов, систем обнаружения вторжений (IDS), систем контроля целостности, криптографических средств защиты и т.д. Наиболее распространенными инструментами для обнаружения кибер-атак на ИС в режиме реального времени являются системы IDS.

Правильный выбор технологии хранения сигнатур и признаков атак (ТХСПА) является одним из важнейших этапов проектирования IDS систем, так как это напрямую влияет на эффективность и скорость обнаружения вторжений, возможность работы в режиме реального

времени, обеспечение собственной защиты и безопасности системы IDS.

1. Постановка цели и задач исследования

Для исследования технологий хранения сигнатур и признаков кибер-атак выбрана крупная информационная система, которая включает в себя *n* территориально распределенных подсистем (ПИС). Каждая ПИС осуществляет хранение, обработку и передачу информации как внутри самой подсистемы, так и между другими подсистемами и может иметь выход в интернет (*рисунок 1*).

В связи с тем, что каждая из подсистем ИС может генерировать огромный поток сетевых данных, централизованно выявлять вторжения в режиме реального времени становится невозможным. Для решения данной проблемы предлагается использовать собственные анализаторы в каждой ПИС, что в свою очередь порождает необходимость использования распределенных систем и ТХСПА.

К ТХСПА предъявляются высокие требования, поэтому выбор технологии распределенного хранения данных (ТРХД) включает в себя множество факторов. Целью данной работы является определение наиболее оптимальной ТРХД, которая позволит обеспечить эффективную работу IDS в выбранной для исследования ИС.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- определить все подходящие для данного исследования ТРХД;
- привести критерии для их сравнения;
- провести сравнительный анализ по выделенным критериям;
- выбрать наиболее оптимальную ТРХД.

2. Основная часть

2.1. Технологии распределенного хранения данных

Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть подходящие существующие решения для хранения признаков сетевых атак.

1. ***Облачное хранилище*** – это виртуальный онлайн-диск с неопределенным объемом, где пользовательские данные распределяются по многочисленным серверам, структуры и расположения которых не имеют значения. В случае потери связи с облаком вся система теряет работоспособность.

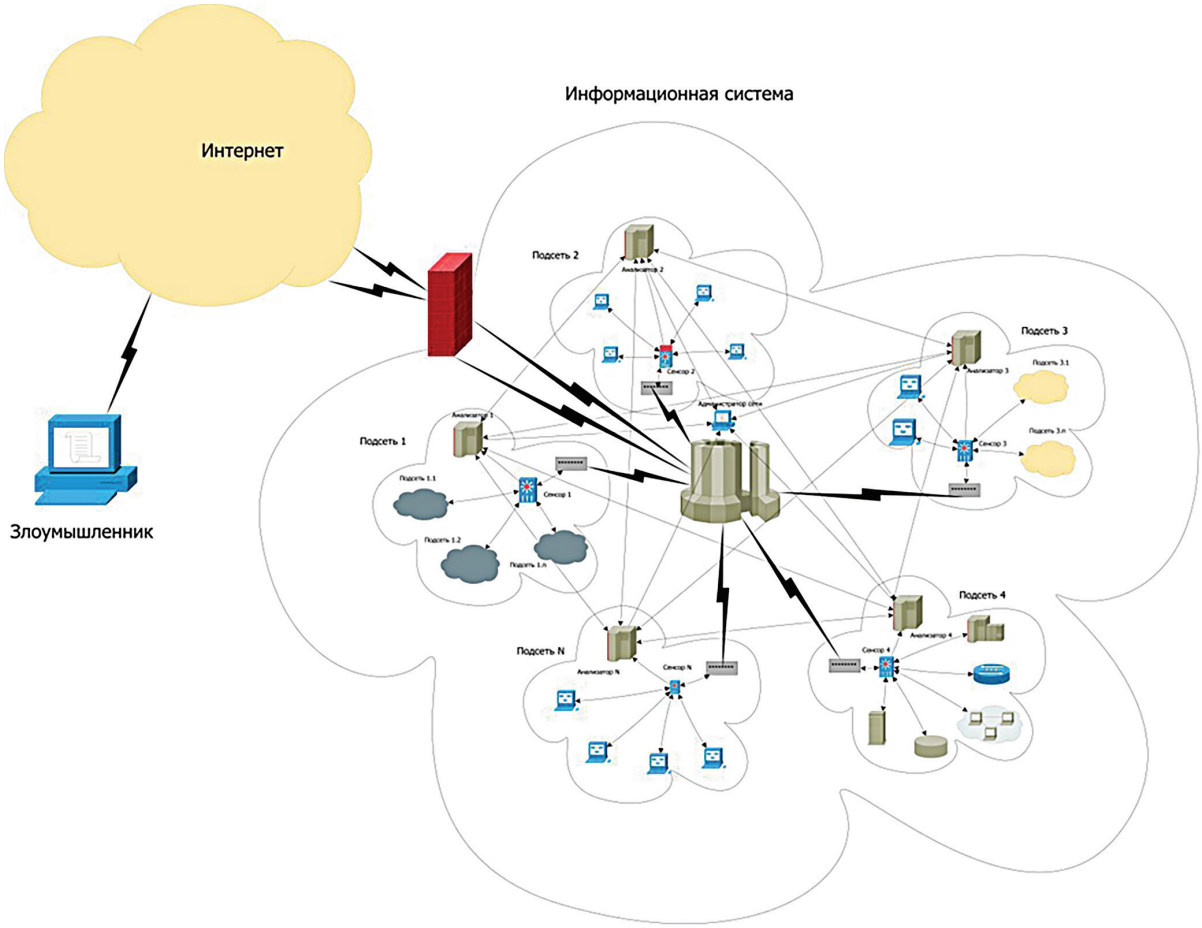


Рис. 1. Исследуемая информационная система

Для исследуемой системы облачное хранилище предполагает добавление в систему минимум еще одного Mainframe, что усложнит систему, повысит объем циркулирующего трафика внутри системы, увеличит время обработки информации при переходе от центрального узла к конечному. При этом в случае потери соединения с облаком анализаторы выйдут из строя.

2. ***Торрент*** – интернет-протокол, позволяющий быстро скачивать большие файлы. Через сервер в интернете происходит отслеживание отдельных элементов файла. На скорость передачи информации влияет совокупность факторов, в том числе тип протокола и нагрузка на сервер.

Систему хранения признаков сетевых атак можно представить в виде торрента, где главный сервер подкачивает информацию с узлов, которая распределена между анализаторами. Однако применение данной технологии также подразумевает использование единого сервера, что порождает те же проблемы, что и при использовании облачного хранилища.

3. ***Google File System (GFS)*** – распределенная система, организованная по схеме «главный подчиненный». В системе есть один главный сервер и несколько chunk-серверов. Файлы разбиваются на блоки, размещаемые на chunk-серверах. Для обеспечения надежности и распределения нагрузки каждый блок реплицируется на нескольких серверах, размещенных в различных серверных стойках. Клиент обращается к главному серверу только за метаданными, а все операции по чтению и записи данных осуществляются напрямую с chunk-серверами.

4. ***Распределенная система управления базой данных (СУБД)*** – программный комплекс, предназначенный для управления распределенными базами данных и позволяющий сделать распределение информации прозрачной для конечного пользователя. Характеристики распределенных баз данных:

- Локальная автономность. Отсутствие опоры на центральный сервер.
- Непрерывное функционирование.
- Независимость от фрагментации и репликации, от типа оборудования, операционной системы, сетевой архитектуры, расположения.
- Обработка распределенных запросов и транзакций.

При использовании распределенных база данных возникают следующие проблемы:

- Повышение сложности и стоимости.
- Проблемы защиты.
- Усложнение контроля за целостностью данных.

5. ***Blockchain*** – распределенная система хранения данных, состоящая из непрерывной последовательной цепочки блоков, выстроенной по определенным математическим правилам. Сформированный блок проверяется другими участниками сети, после чего присоединяется к концу цепочки. Внести в него изменения уже невозможно. Каждый блок хранит данные о предыдущих блоках, которые шифруются с помощью алгоритмов, хеш-функций, цифровой подписи. Работа сети основана на строгих математических вычислениях.

Транзакции являются основой Блокчейн, и единственная цель цепи блоков – это хранить транзакции безопасным и надежным способом, чтобы никто не смог модифицировать их после создания. Блокчейн уменьшает транзакционные издержки, но не способен обеспечивать огромное количество транзакций за короткое время, но для рассматриваемой системы – это не основное требование, т.к. количество анализаторов ограничено логической схемой сети ИС.

2.2. Анализ технологий хранения данных

Для выбора оптимальной системы хранения признаков сетевых атак были выделены следующие основные критерии для сравнения: мобильность, масштабируемость, надежность, производительность. Результаты оцениваются по уровням «Высокий», «Средний», «Низкий», которые показывают насколько те или иные качества подходят для решения поставленной задачи.

Мобильность – это независимость системы от среды, в которой она работает. Средой в данном случае является как аппаратура, так и программное обеспечение (операционная система (ОС)). Сравнение систем хранения данных по критерию «Мобильность» представлено в *таблице 1*. Все системы достаточно мобильны, но GFS и облачные хранилища за счет высоких требованиях к аппаратной составляющей уступают другим системам распределенного хранения данных.

Масштабируемость. При выборе системы хранения данных необходимо учитывать, сможет ли данная система соответствовать росту информационной системы. Лучше всего в рамках исследуемой ИС масштабируются Торренты и Blockchain Результаты исследования представлены в *таблице 2*.

Надежность. Понятие надежности включает сохранность информации независящая от любых сбоев, безотказность работы системы в любых условиях, и обеспечение защиты данных от несанкционированного доступа. При возникновении программных или аппаратных сбоев це-

Таблица 1
Сравнение РСХД по мобильности

Наименование	Мобильность	Уровень
1. Облачное хранилище	Зависит только от аппаратных средств, на которых размещены сервера. При наличии схожей инфраструктуры достаточно легко мигрирует.	Средний
2. Торренты	Программное обеспечение не зависит от дополнительного внешнего аппаратного обеспечения.	Высокий
3. Google File System (GFS)	Файловая система создается практически в любом контейнере, однако требует значительных аппаратных ресурсов.	Средний
4. Распределенная система управления базой данных(РСУБД)	РСУБД способна функционировать на оборудовании с различными вычислительными платформами, под управлением различных ОС.	Высокий
5. Blockchain	Зависит только от участников Blockchain сети и не требует каких-либо особенных аппаратных или программных ресурсов.	Высокий

Таблица 2
Сравнение РСХД по масштабируемости

Наименование	Масштабируемость	Уровень
1. Облачное хранилище	Возможность наращивать ресурсы хранения данных обеспечивается за счет увеличения аппаратных ресурсов, что может быть очень затратно.	Средний
2. Торренты	Торренты увеличивают свои масштабы с появлением новых клиентов, что указывает на отличную масштабируемость.	Высокий
3. GFS	Достигается за счет возможности «горячего» подключения новых chunk-серверов. Однако подключение дополнительных chunk-серверов является достаточно ресурсозатратным процессом.	Средний
4. РСУБД	Масштабируемость РСУБД требует дополнительных аппаратных и программных решений. Однако РСУБД обладают достаточно хорошей масштабируемостью.	Средний
5. Blockchain	Сеть Blockchain отлично масштабируется при появлении новых участников сети.	Высокий

Таблица 3
Сравнение РСХД по надежности

Наименование	Надежность	Уровень
1. Облачное хранилище	Облачные хранилища предусматривают систему резервных копий, что позволяет не потерять данные в случае сбоев. Однако если основной и резервный серверы будут выведены из строя, то данные будут утеряны. К тому же, при потери связи с облаком, анализаторы потеряют доступ к базе сигнатур сетевых атак.	Средний
2. Торренты	В торрентах не предусмотрена система резервных копий. Данные распределены между участниками торрент-сети. Если участник, владеющей уникальной информации выйдет из строя, то информация перестанет быть доступной. Так же основную роль играет торрент-сервер, где хранятся ссылки на клиентов, у которых хранятся данные. При выходе из строя сервера, все данные станут недоступны.	Низкий
3. GFS	GFS достаточно надежна при условии сохранности master сервера. Резервные копии chunk-серверов предусмотрены самом системой.	Высокий
4. РСУБД	Восстановление системы выполняется при помощи архивной копии базы данных и журнала транзакций. При выводе из строя главного сервера система теряет свою работоспособность	Низкий
5. Blockchain	Локальные копии всех данных хранятся на всех участниках Blockchain сети, что позволяет обеспечить работоспособность системы при выходе из строя любого участника. Система считается устойчивым к сбоям.	Высокий

Таблица 4
Сравнение РСХД по производительности

Наименование	Производительность	Уровень
1. Облачное хранилище	В зависимости от объема данных может доходить до одной транзакции в день. При небольших объемах данных показывает хорошую производительность.	Средний
2. Торренты	2000TPS	Высокий
3. GFS	1000 TPS	Высокий
4. РСУБД	50000 TPS	Высокий
5. Blockchain	До 100 TPS при использовании протокола NG	Низкий

лостность, работоспособность всей системы может быть нарушена. В результате аппаратного сбоя может быть частично поврежден или выведен из строя носитель информации и тогда восстановление данных невозможно. Оценка технологий по критерию приведена в *таблице 3*. Наиболее надежны облачное хранилище и блокчейн.

Производительность любой СХД определяется параметром IOPS (числом операций ввода вывода в секунду, которое способна обработать СХД) и временем отклика системы. Самая высокая производительнось в торрент, GFS, РСУБД. Наихудшую производительность имеет технология Blockchain. Оценка технологий по производительности представлена в *таблице 4*.

Исследование показало, что нет распределенной системы хранения данных, которая по всем критериям превосходила другие хранилища данных. Однако стоит выделить GFS и Blockchain, показавшие наилучшие результаты. Торренты из-за низкой степени надежности в дальнейших исследованиях рассматриваться не будут.

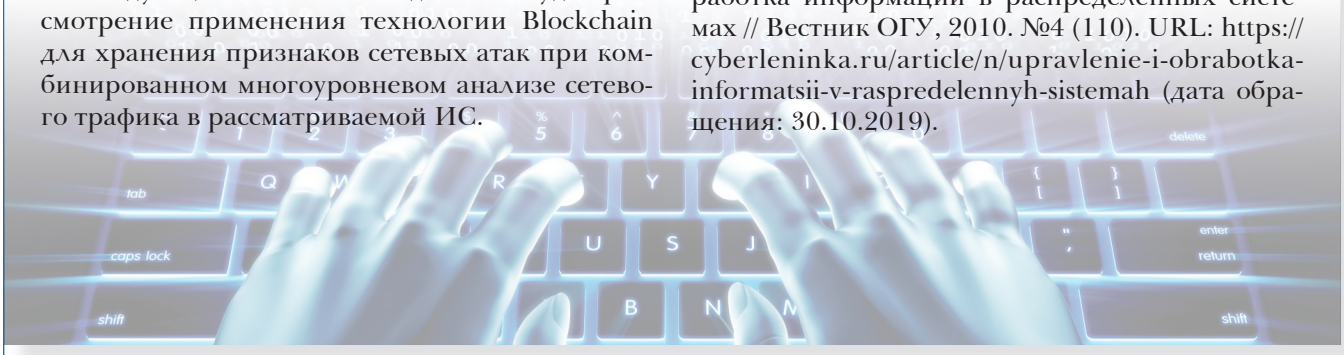
Выводы

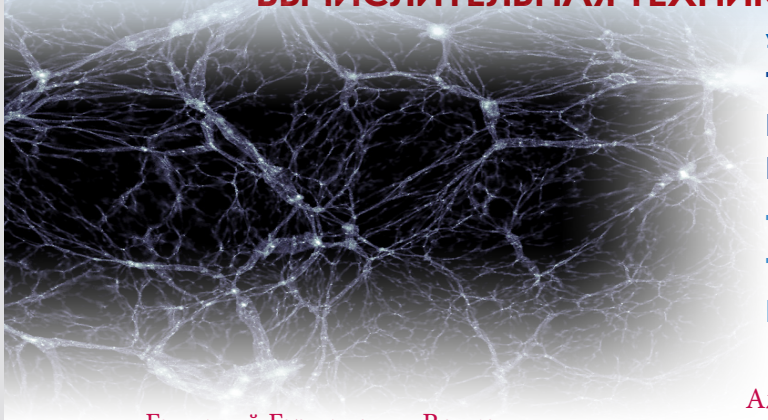
В современном мире существует множество решений, каждое из которых обладает своими преимуществами для распределенного хранения и передачи данных между узлами. Однако не все технологии подходят для рассматриваемой ИС. Для решения поставленной задачи наилучшим образом удовлетворяем всем потребностям технология Blockchain. В ходе данного исследования именно Blockchain получил наивысшие оценки по всем критериям, за исключением производительности. Однако для исследуемой ИС производительность РСХД не является критичным фактором, т.к. обмен данными между участниками сети (в данном случае анализаторами IDS) будет происходить только при обнаружении новых типов атак или добавлении нового анализатора IDS. Благодаря этому отпадает необходимость в высокой производительности РСХД.

Следующим этапом исследования будет рассмотрение применения технологии Blockchain для хранения признаков сетевых атак при комбинированном многоуровневом анализе сетевого трафика в рассматриваемой ИС.

Литература

1. Бурлаков М.Е. Применение метода анализа соответствий для оптимизации комбинаций атрибутов у наборов данных // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2018. №26. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metoda-analiza-sootvetstviy-dlya-optimizatsii-kombinatsiy-atributov-u-naborov-dannyh (дата обращения: 30.10.2019).
2. Adetunmbi A.Olusola., Adeola S.Oladele. and Daramola O.Abosede Analysis of KDD '99 Intrusion Detection Dataset for Selection of Relevance Features Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2010 Vol I WCECS 2010, October 20-22, 2010, San Francisco, USA
3. F.Chang, J. Dean, S. Ghemawat, W.C. Hsieh, D.A. Wallach, M. Burrows, T.Chandra, A. Fikes, and R. E. Gruber. Bigtable: A distributed storage system for structured data. In OSDI'06: Seventh Symposium on Operating System Design and Implementation,Seattle, WA, USA, Pp. 205-218.
4. Суханов В.И., Чагаева О.Л. Облачный сервис хранения данных // Научный журнал КубГАУ, 2013. №86. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/oblachnyy-servis-hraneniya-dannyh (дата обращения: 30.10.2019).
5. Krylov A.V., Gritsay I.P. Blockchain and cryptocurrency // Наука и образование сегодня. 2018. №5(28). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/blockchain-and-cryptocurrency (дата обращения: 30.10.2019).
6. Кузнецов С.Д., Посконин А.В. Распределенные горизонтально масштабируемые решения для управления данными // Труды ИСП РАН. 2013. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelennye-gorizontalno-masshtabiruemye-resheniya-dlya-upravleniya-dannymi (дата обращения: 30.10.2019).
7. Клеменков П.А., Кузнецов С.Д. Большие данные: современные подходы к хранению и обработке // Труды ИСП РАН. 2012. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bolshie-dannye-sovremennye-podhody-k-hraneniyu-i-obrabotke (дата обращения: 30.10.2019).
8. Влацкая И.В., Сормов С.И. Управление и обработка информации в распределенных системах // Вестник ОГУ, 2010. №4 (110). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-i-obrabotka-informatsii-v-raspredelennyh-sistemah (дата обращения: 30.10.2019).





УДК 539.182

ТЕРНАРНЫЕ СИММЕТРИИ О НЕВИДИМОМ СВЕТЕ И ТЕМНОЙ МАТЕРИИ ВСЕЛЕННОЙ

TERNARY SYMMETRIES ABOUT THE INVISIBLE LIGHT AND DARK MATTER OF THE UNIVERSE

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

Александр Альбертович Масликов
кандидат физико-математических наук, доцент
заведующий комплексной лабораторией физики
Филиал «Протвино»
Государственного университета «Дубна»
Адрес: 142281, Московская обл.,
г. Протвино, Северный проезд, д. 9
Тел.: +7(4967)31-01-92
E-mail: masspref@yandex.ru

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

Аннотация

В рамках геометрии n-арных комплексных и гиперкомплексных чисел рассмотрены возможности построения Абелевых обобщений U(1)em – симметрии света и не-Абелевых обобщений спиновой группы SU(2), которые могли бы стать основой описания «невидимого света», взаимодействующего с экзотической «n-спинорной» материей.

Ключевые слова: алгебры и группы Ли, тернарная алгебра и тернарная группа, кубические матрицы, субматерия и темная материя, невидимый свет.

Summary

Within the framework of the geometry of n-ary complex and hypercomplex numbers, the possibilities of constructing Abelian generalizations U(1)em – light symmetries and non-Abelian generalizations of the SU(2) spin group – which could become the basis for the description of «invisible light» interacting with exotic «n-spinor» matter.

Keywords: algebras and Lie groups, ternary algebra and ternary group, cubic matrices, submatter and dark matter, invisible light.

Необычные структуры многомерных пространств и новые динамические симметрии

Основные успехи в квантовой физике, начиная с нерелятивистской квантовой механики и заканчивая современными квантовыми теориями, положенными в основу Стандартной Модели, основанной на перенормируемых теориях квантовых Лоренц-ковариантных полей в 4-х мерном пространстве-времени [1], связаны с калибровочными группами внутренних симметрий *SU(3)*, *SU(2)*, *U(1)*. Конструкции неприводимых представлений не-Абелевых алгебр и соответствующих им групп во всей Картан-Ли классификации опираются на бесконечную серию конечномерных неприводимых представлений фундаментальной su(2)-алгебры и соответствующей ей *SU(2)*-группы. Не-Абелева группа *SU(2)* позволила совершить многие наиважнейшие открытия в квантовой физике. Это и теория *SU(2)*-спина, теория изотопического *SU(2)*-спина протона и нейтрона, электрослабая модель Салама-Вайнберга с

$$SU(2_I) \times U(1_Y) -$$

калибровочной симметрией, спонтанно-нарушенной до $U(1)_{EM}$, и, наконец, *SU(2)*-кубитные

системы в квантовой теории информации. Квантовая информатика является производной квантовой физики, и ее прогресс может сталкиваться с теми же трудностями и проблемами, с которыми сталкивается вся огромнейшая область современной квантовой физики, которых накопилось с момента ее зарождения предостаточно. Одно из важнейших направлений в квантовой информации связано с квантовым запутыванием многокубитных-кутритных состояний [2], анализ которых уходит в многомерные групповые многообразия. Пути поиска новых идей за пределами квантовой физики [3-6] могут быть связаны либо с поисками новых групп внутренних симметрий, либо с расширением размерности 4-х мерного пространства-времени и, соответственно, группы Лоренца, которое немедленно сталкивается с проблемами перенормируемости. Условие перенормируемости явилось одним из важнейших факторов для создания современной Стандартной Модели кварков и лептонов, базирующейся на теориях квантовых полей, которые перенормируемы только для 4-х мерного пространства-времени Лобачевского-Минковского[1]. Проблема использования в квантовой информации кутритов ведет в формализме матрицы плотности к рассмотрению 8-мерного $SU(3)$–многообразия. Стандартная модель (СМ) с внутренней калибровочной симметрией

$$SU(3^C) \times SU(2_I) \times U(1_Y),$$

описывающая динамику 3-х взаимодействий $n_f=3$ кварк-лептонных семейств, с одной стороны, включает в себя большое количество свободных параметров, а с другой-ряд важнейших открытых до сих вопросов:

а) запирание $SU(3^c)$-несинглетных $N^c=3$ цветовых состояний в адронах,

б) появление во Вселенной $n_f=3(+1?)$ кварк-лептонных семейств,

так и ждут до сих пор понимания. Попытки объяснения неполноты СМ инициировали огромные усилия по поиску более фундаментальной теории, например, в Теориях Великого Объединения, либо в супер-струнных подходах. Неполнота описания в Стандартной Модели кварк-лептонного многообразия квантового микромира Вселенной, скорее всего, обуславливается существованием в ней темной материи и темной энергии, которые могут составлять до ~20% и ~75% всей ее плотности. Существование темной материи подтверждается астрофизическими исследованиями, и если космологические оценки окажутся верными, то изученная человечеством электромагнитно-заряженная материя – планеты, звезды, галактики, мета-галактики и пр-чая звездная пыль составляют всего до 5% всей плотности Вселенной?!

Об Абелевых расширениях световой симметрии Вселенной

Открытие спина для огромного класса электромагнитных заряженных частиц позволило расширить основы Специальной теории относительности [3,7], первоначальное понимание которой было основано на заключительном этапе многовекового исследования, с одной стороны, электрических и магнитных свойств материи, а с другой стороны, пространственно-временных свойств света, которые были окончательно сформулированы в волновых уравнениях Максвелла, объединяющих все эти три явления в единую электромагнитную теорию. Неожиданным следствием этой единой теории физических явлений материи, вещества и электромагнитного излучения, является новое понимание геометрии окружающего мира, которое было выражено в гиперболической связи между пространственными и временными координатами

$$(x_0=ct,x_1,x_2,x_3)$$

в описании движения тела в различных инерциальных системах, которое привело к абсолютизму скорости света, отражающего необычную структуру электромагнитного вакуума видимой вселенной. Эта связь явилась следствием преобразований группы $SO(1,3)$, относительно которых уравнения Максвелла инвариантны. Однако открытие спина в 20-х годах XX-века, в дополнение к уже известной внутренней $U(1)_{EM}\approx S^1$ электромагнитно-зарядовой симметрии, позволило открыть новое фундаментальное свойство материи видимой вселенной, связанное с новой внутренней симметрией, описываемой не-Абелевой группой $SU(2)_{EM}\approx S^3$, которая была найдена Гамильтоном в конце XIX века в теории гипер-комплексных чисел – единичных кватернионов. Неприводимые унитарные представления группы

$$SU(2):\mathcal{R}^{(j)};j=0,\frac{1}{2},1,\frac{3}{2},2,\ldots$$

и затем

$$SL(2,\mathbb{C}):\mathcal{R}^{(j_1,j_2)};(j_1,j_2)=(0,0),\left(\frac{1}{2},0\right)\left(0,\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2},\frac{1}{2}\right),\ldots$$

позволили классифицировать материю и, в частности, бозоны и фермионы и, более того, разделить материю на вещество и на материю-излучение, и наконец, на материю и антиматерию. Современная наука, как никогда, близка к пониманию некоторых особенностей более фундаментальной материи (субматерии или темной материи) и возможной ее роли в образовании видимой части Вселенной в $D=(3+1)$-мерном

пространственно-временном континууме со всеми свойствами ее вакуума, выраженного прежде всего в абсолютизме скорости света совместно с наблюдаемой фермионной материей-веществом, имеющей «единую» электромагнитную природу.

Вопрос о свойствах этой субматерии и о «свете», который он излучает, можно исследовать из исторической эволюции познания современной Абелевой теории света и электромагнетизма вещества. Можно было бы предположить, что, подобно геометрическим свойствам электромагнитного излучения – света, гипотетическое излучение субматерии могло бы иметь также групповой характер Абелевой симметрии, так что оно способно было бы распространяться по всей многомерной гипер-вселенной и со скоростью, намного большей, чем скорость света [3,6,7]. В нашем предположении геометрические свойства такого излучения могут быть связаны с геометрией n-арных Абелевых комплексных чисел, имеющей, соответственно, $(n-1)$-Абелевых симметрий, одна из которых могла бы соответствовать уже известной внутренней Абелевой $U(1)$-симметрии электромагнитного света.

Заметим, что существование сингулярностей на малых расстояниях может привести к изменению метрики Римана и, следовательно, к динамическому нарушению пространственно-временной Лоренц-симметрии [8]. В случае нарушения локальной калибровочной симметрии группы

$$SU(2)_I \times U(1)_Y,$$

сопровождающееся нарушением пространственной симметрии P-четности, зарядовой симметрии C-четности и, соответственно, комбинированной симметрии CP-четности, пространственно-временная симметрия Лоренца-Пуанкаре не нарушается и, следовательно, в соответствие с теоремой Паули-Людерса [1], универсальная CPT-инвариантность также должна сохраняться со всеми ее важнейшими следствиями о равенства ряда свойств материи и анти-материи- массы и времени жизни частиц и анти-частиц [1].

Наш интерес к геометрии Абелевых (циклических) и не Абелевых комплексных чисел возник из наших поисков необычных алгебраических структур графов Берже, которые естественно появляются в классификации Калаби-Яу пространств с $SU(n)$-голономией (n=3,4,5,…) в рамках теории n-арных рефлексивных проективных чисел [4].

Абелевы расширения теории света на основе бесконечной C_n-серии групповых гиперповерхностей [10,11]. Комплексификация Эвклидовых пространств R^n на основе циклических групп C_n [9] позволяет строить групповые гипер-пространства

$$\sum^{n-1} \subset \mathbb{R}^n,$$

причем соответствующие Абелевы группы симметрии $G^{(n-1)}$, являющиеся произведением компактных и некомпактных однопараметрических подгрупп. Основываясь на изученных свойствах внутренней калибровочной симметрии электромагнитного света $U(1)_{EM}$, разумно предположить, что соответствующая калибровочная симметрия невидимого света, распространяющегося во вселенной (гипер-вселенной), также должна быть Абелевой. Абелевы симметрии $G^{(n)}$ группового гипер-пространства

$$\sum^{n-1} \subset \mathbb{R}^n,$$

в соответствие с голоморфизацией комплексифицированного Эвклидового пространства $\mathbb{R}^n$ позволяют также определить волновые уравнения предполагаемого невидимого излучения, инвариантные относительно группы $G^{(n)}$. Соответственно нашей схеме, вся внутренняя первичная «заряженная» материя Вселенной будет взаимодействовать с этим “невидимым светом” благодаря калибровочной локализации предлагаемых глобальных $G^{(n)}$Абелевых симметрий. В такой интерпретации можно предположить, что излучение, связанное с компактными симметриями, может распространяться только внутри компактных подпространств гипер-подпространства $\sum^{(n-1)}$, а некомпактные Абелевы излучения связаны некомпактными «направлениями» $\sum^{(n-1)}$. Возможно введение в такие схемы зарядов, которые могут быть связаны с расширением понятия операций n-комплексного сопряжения на основе неприводимых одномерных представлений циклических групп C_n. «Спиновые» свойства таких «n-спиноров» можно найти при рассмотрении не-Абелевых расширений циклических групп C_n [10].

Хорошо известно, что геометрическое начало внутренней калибровочной локальной симметрии квантовой электродинамики $U(1)_{EM}$ исторически связано с комплексификацией Эвклидовой плоскости $\mathbb{R}^2 \to \mathbb{C}$, при которой множество единичных по модулю комплексных чисел z в соответствии с определением закона композиции, сохраняющего норму

$$|z_1 \cdot z_2|^2 = |z_1|^2 \cdot |z_2|^2, \text{ где } |z|^2 = z \cdot \bar{z},$$

образует групповую поверхность

$$U(1) \cong S^1 \equiv \{z \in S^1 : |z|^2 = 1\}.$$

Аналогично n=2, для случая n=3 [10-14] использование циклической группы позволяет получить групповую поверхность $\sum^2 \subset \mathbb{R}^3$, чья

двух-параметрическая Абелева группа

$$G^{(2)} = TU(1_K, 1_{NK})$$

имеет одну компактную Абелеву и одну некомпактную Абелеву подгруппы. Те же процедуры комплексификации $\mathbb{R}^n$и голоморфизиции на основе наборов всех неприводимых представлений циклических групп C_n мы провели до n=6 [11].

Основной вывод наших вычислений состоит в том, что Абелевы свойства циклических групп C_n приводят к факторизации всех соответствующих групповых (n-1)-мерных гиперповерхностей $\sum^{(n-1)}$ с определением Абелевой группы $G^{(n-1)}$, а анализом $G^{(n-1)}$-инвариантных дифференциальных уравнений Лапласа для n-арити гармонических функций

$$F_i(x_0, \cdots, x_{n-1}), i = 0, \dots, n-1,$$ [11],

где гармонические функции определяются через разложение голоморфной функции [10-14]:

$$\Phi(z, z^{(1)}, z^{(2)} \dots, z^{(n-1)}) \equiv \Phi(x_0, \cdots, x_{n-1}) = F_0(x_0, \cdots, x_{n-1})q_0 + F_1(x_0, \cdots, x_{n-1})q + \cdots + F_{n-1}(x_0, \cdots, x_{n-1})q^{n-1}$$

где для комплексных чисел n-арити

$$z = x_0 q_0 + x_1 q + \cdots + x_{n-2} q^{n-2} + x_{n-1} q^{n-1}$$

были введены следующие операции сопряжения [3-6, 10-14]

$$z^{(1)} \equiv \bar{z}, z^{(2)} \equiv \bar{\bar{z}}, z^{(3)} \equiv \bar{\bar{\bar{z}}}, \dots$$

Из дифференциальных уравнений Лапласа, найденных из уравнений Коши-Римана

$$\frac{\partial \Phi(z, z^{(1)}, z^{(2)} \dots, z^{(n-1)})}{\partial z^{(1)}} = \cdots = \frac{\partial \Phi(z, z^{(1)}, z^{(2)} \dots, z^{(n-1)})}{\partial z^{(n-1)}} = 0,$$

имеющих по производным порядок deg=(n), можно, следуя Дираку, извлечь корень степени deg=(n), и получить линейные по производным, $G^{(n-1)}$-групп инвариантные уравнения для n-спиноров [10.11]:

$$\hat{F}(\partial x_0, \cdots, \partial x_{n-1})\psi = 0, \quad \psi = \begin{pmatrix} \xi_0 \\ \vdots \\ \xi_{n-1} \end{pmatrix}.$$

Приведем для двух случаев

А) q^n=q_0;

В) q^n=–q_0

алгебраические выражения для Абелевых групповых гипер-поверхостей

$$\sum^{n-1}: \sum^{n-1} \subset \mathbb{R}^n,$$

определенных при циклической C_n-комплексификации Эвклидовых пространств $\mathbb{R}^n$ и соответствующих единичным нормированным алгебрам комплексных чисел n-арити (n=3,4,5,6):

$$|z \cdot z^{(1)} \dots z^{(n-2)} z^{(n-1)}| = 1.$$

Групповая 2-мерная гиперповерхность $\sum^2 \subset \mathbb{R}^3$, соответствующая единичным комплексным числам 3-арити:

случай А) n=3 →$q_3{}^3$=q_0; $\bar{q}_3$=$e2^{i\P/3}q_3$

$$F_3(x_0, x_1, x_2) = x_0^3 + x_1^3 + x_2^3 - 3x_0x_1x_2 = R^3 = \rho * r^2$$

Групповая 3-мерная гиперповерхность $\sum^3 \subset \mathbb{R}^4$, соответствующая единичным комплексным числам 4-арити:

А) $q_4^4 = q_0 = \hat{1}$; $\bar{q}_4 = e^{\frac{i\pi}{2}} q_4$

$$F_4(x_0, \dots, x_3) = (f_1^2)^2 - (f_2^2)^2 = [x_1^2 + x_3^2 - 2x_0x_2]^2 - [x_0^2 + x_2^2 - 2x_1x_3]^2 = 1$$

Или

$$F_4(x_0, \dots, x_3) = (u_+^2 - v_+^2) * (u_-^2 + v_-^2) = H_-^2 * H_+^2 = 1$$

$$u_\pm = x_0 \pm x_2; v_\pm = x_1 \pm x_3$$

В) $q_4^4 = -q_0$; $\bar{q}_4 = e^{i\pi/2} q_4$

$$F_4(x_0, \dots, x_3) = (f_1^2)^2 + (f_2^2)^2 = = [x_1^2 - x_3^2 + 2x_0x_2]^2 + [x_0^2 - x_2^2 + 2x_1x_3]^2 = 1$$

Групповая 4-мерная гиперповерхность $\sum^4 \subset \mathbb{R}^5$, соответствующая единичным комплексным числам 5-арити:

А) $q_5^5 = q_0$; $\bar{q}_5 = e^{2i\pi/5} q_5$

$$F_5(x_0, \dots, x_4) = x_0^5 + x_1^5 + x_2^5 + x_3^5 + x_4^5 - 5x_0x_1x_2x_3 - 5\{x_0^3(x_1x_4 + x_2x_3) + x_1^3(x_0x_2 + x_3x_4) + x_2^3(x_1x_3 + x_0x_4) + x_3^3(x_2x_4 + x_0x_1) + x_4^3(x_0x_3 + x_1x_2)\} +$$

$$+5\{x_0(x_1^2x_4^2 + x_2^2x_3^2) + x_1(x_0^2x_2^2 + x_3^2x_4^2) + + x_2(x_1^2x_3^2 + x_0^2x_4^2) + x_3(x_2^2x_4^2 + x_0^2x_1^2) + +x_4(x_0^2x_3^2 + x_1^2x_2^2)\} = R^5$$

.

Групповая 5-мерная гиперповерхность $\sum^5 \subset \mathbb{R}^6$, соответствующая единичным комплексным числам 6-арити:

Случай А:

$$n = 6 \rightarrow q_6^6 = q_0; \bar{q}_6 = e^{i\pi/3} q_6:$$

$$\{F_1^3\}^2 - \{F_1^3\}^2 = \{[x_0^3 + x_2^3 + x_4^3 - 3x_0x_2x_4] - 3[x_0(x_3^2 - x_1x_5) + x_2(x_5^2 - x_1x_3) + x_4(x_1^2 - x_3x_5)]\}^2 - \{[x_1^3 + x_3^3 + x_5^3 - 3x_1x_3x_5] - 3[x_1(x_2^2 - x_0x_4) + x_3(x_4^2 - x_0x_4) + x_5(x_0^2 - x_3x_4)]\}^2 = R^6$$

Или

$$\{F_1^3\}^2 * \{F_1^3\}^2 = \{[u_0^3 + u_1^3 + u_2^3 - 3u_0u_1u_2\}^2 * \{[v_0^3 + v_1^3 + v_2^3 - 3v_0v_1v_2\}^2 = \rho_1 r_1^2 * \rho_2 r_2^2 = R^5$$

$$u_0 = x_0 + x_3, u_1 = x_1 + x_4, u_0 = x_2 + x_5,$$

$$v = x_0 - x_3, v_1 = x_1 - x_4, u_2 = x_2 - x_5,$$

В):

$$n = 6 \rightarrow q_6^6 = -q_0; \bar{q}_6 = e^{i\pi/3} q_6:$$

$$\{F_1^3\}^2 + \{F_1^3\}^2 = \{[x_0^3 + x_2^3 - x_4^3 + 3x_0x_2x_4] - 3[x_0(x_3^2 - x_1x_5) + x_2(x_5^2 - x_1x_3) - x_4(x_1^2 - x_3x_5)]\}^2 + \{[x_1^3 - x_3^3 + x_5^3 + 3x_1x_3x_5] - 3[x_1(x_2^2 - x_0x_4) - x_3(x_4^2 - x_0x_4) + x_5(x_0^2 - x_3x_4)]\}^2 = R^6$$

К новым квантовым свойствам материи *n*-фермионов

Создание квантовой физики и ее прогресс шли вслед за развитием математического аппарата от начала введения в математику комплексных чисел, последующего создания комплексного анализа и затем нового революционного шага – открытия кватернионов

$$e_0 = \hat{1}, e_i = i\sigma_i,$$

($\sigma_i, i = 1,2,3$ – матрицы Паули)
и их прямой связи с не-Абелевой *SU(2)*-группой унитарных унимодулярных (2x2)-матриц

$$U^+U = \hat{1}, \det U = 1\,,$$

которые можно представить в виде

$$U = e^{i\alpha_k I_k},$$

где Эрмитовы генераторы

$$I_k^+ = I_k, k = 1,2,3$$

определяют коммутационные соотношения su(2)-алгебры

$$[I_i, I_j] = i\varepsilon_{ijk}I_k, I_k = \sigma_k/2.$$

Так если Шредингеровская волновая и Гейзенберговская операторно-матричная нерелятивистская квантовые механики в рамках *SO(3)*-группы пространственной симметрии смогли проквантовать спектр атома водорода, то открытие спина электрона/протонов позволило определить новую, дополнительную к группе *U(1)*, внутреннюю *SU(2)*-группу симметрий, чьи неприводимые представления позволили проклассифицировать всю электромагнитно-заряженную материю на две общие группы: фермионы-частицы-поля с полу-целыми спинами, и бозоны-частицы-поля с целыми значениями спина. Существование в квантовой физике фундаментального принципа неразличимости тождественных частиц приводит к различным следствиям для симметрий волновых функций пары фермионов $\psi(x_1, x_2)$ и бозонов $\phi(x_1, x_2)$ относительно перестановок $x_1 \leftrightarrow x_2$ (принцип симметрии): свойство симметрии или анти-симметрии волновых функций зависит от спина: частицы с полу-целым спином-фермионы описываются антисимметричной, а частицы с нулевым или целыми спином – бозоны – симметричными волновыми функциями:

$$\text{Фермионы: } \psi(x_1, x_2) = -\psi(x_2, x_1),$$

$$\text{Бозоны: } \phi(x_1, x_2) = \phi(x_2, x_1).$$

Принцип анти-симметрии утверждает, что в системе тождественных фермионов не может быть двух и более частиц находящихся в одном и том же состоянии. Для бозонов такого ограничения принцип симметрии не накладывает, что означает, что в одном состоянии может находиться любое число бозонов. Принцип анти-симметрии был полностью подтвержден при построении атомарной таблицы Менделеева.

Математический аппарат квантовой теории поля основан на теории комплексных и гиперкомплексных чисел с дальнейшим расширением до операторно-матричного формализма, в котором интенсивно используются понятия эрмитовости и унитарности. Расширение философии квантовой физики за счет расширения понятия комплексного числа ведет к расширению понятий унитарности и эрмитовости. Другое важное расширение, которое может быть связано с обобщением принципа анти-симметрии мы обсудим ниже.

Дуализм внутренних и внешних симметрий

Можно предположить, что в современной квантовой теории должна существовать конкретная связь между внутренними квантовыми свойствами полей-частиц и симметриями их взаимодействий с внешними непрерывными и глобальными симметриями *D=(3+1)*-мерного пространственно-временного континуума. Следствием существования такой связи приводило бы к пониманию соответствия квантовых свойств как основных, так и новых экзотических частиц, и их взаимодействий с внешними пространственно-временными симметриями. В противном случае, то есть в случае нарушения такого соответствия, возникает возможность расширения квантовой теории за счет введения в нее дополнительных внутренних и/или внешних пространственно-временных степеней свободы. Например, обнаружение новых экзотических симметрий могло бы привести даже к обобщению математического базиса квантовой теории, например к расширению таких фундаментальных концепций, как эрмитовость и унитарность! [9-14].

Три цвета

Нетривиальное расширение группы Лоренца и, соответственно, специальной теории относительности могут дать некоторые новые мотивы, которые могут быть связаны с проблемами $U(1)_{EM}$-природы Q_{EM}-заряда видимого вещества и *SU(2)*-спиновой структуры. Основные вопросы проблем атомной и ядерной физики перешли в физику кварков и лептонов. Открытие фундаментальных строительных блоков ядерной материи, протонов и нейтронов и изотопических ядерных сил перешло в $SU(3^c)$-цветную модель глюонного взаимодействия *u*- и *d*-кварков и их электромагнитного взаимодействия с электроном. Проблемы удержания «цвета» в адронах могут быть связаны с вопросом о связи $SU(3^c)$-групповой

геометрии с $D=(1+3)$-мерной теорией теории Лоренца специальной теории относительности. На языке математики мы должны построить новое пространство-время размерности более 4-х с симметриями, более широкими, чем группа Лоренца, позволяющими существование экзотических спиноров со «спином» $1/n$, n=3,5,6,...?! В новом пространственно-временном континууме построение новой квантовой теории полей субматерии («мааркрионов») могло бы быть привести к пониманию создания из нее наблюдаемой кварк-лептонной материи, наделенной полуцелым спином, электрическим и цветовым зарядами, гравитационной массой Ньютона. В случае успеха мы могли бы продвинуться в понимании механизма формирования нашей Вселенной.

Мы можем дать небольшое резюме. Экспериментальная современная физика предоставила новые факты и явления, которые требуют расширения некоторых основных постулатов квантовой физики, требующих создания новой математики.

3-нейтрино

Особый вопрос заключается в выяснении пространственно-временных волновых свойств 3-нейтрино. Так, особые пространственно-временные свойства нейтрино, могли бы дать дополнительную информацию о геометрии нашего пространства-времени. Например, исключительные внутренние квантовые свойства 3-нейтрино открывают возможность рассматривать наблюдаемые три состояния нейтрино как квантовое 6-спинорное поле в 6-мерном пространстве-времени и в соответствии с этим рассматривать 3-нейтрино как «частица» - «античастица» и «анти-античастица», по аналогии с 4-х мерной теорией Дирака электрон-позитрона. В результате, совместно внутренние и внешние квантовые свойства 3-нейтрино могли бы указывать на существование многомерной (D=6 или более) гипер-вселенной, в которой сформировалась наша видимая вселенная [3,6,7]. В этом случае 3-нейтрино могло бы претендовать на роль посланника невидимого всеобъемлющего гипермира в нашу видимую вселенную.

Три кварк-лептонных поколений

Так в современной квантовой физике элементарных частиц мы должны найти геометрический статус квантовых явлений существования в природе 3-х цветовой симметрии кварков и 3-х кварк-лептонных поколений?

Для иллюстрации наш метод дает множество способов расширить метрику Лоренца с добавлением некоторой n-арной групповой инвариантности. Например, рассмотрим пример расширения Лоренц-инвариантной квадратичной формы в кубическую форму

$$s^2 = (x_0^2 - x_1^2 - x_2^2 - x_3^2) \to (x_0^2 - x_1^2 - x_2^2 - x_3^2) \cdot x_4.$$

Эта кубическая форма дополняет лоренц-инвариантность некоторыми тернарными симметриями [9-14].

Аналогично можно построить инвариантные геометрические формы с любой n-арной групповой симметрией.

Следуя этим группам симметрий можно представить существование экзотического спинорного вещества, спиноры-“спин” $1/n, n\geq 3$, взаимодействующими с соответствующими Абелевым калибровочным полем-«светом».

Для построения теорий со спином $1/n$ сначала следует найти примеры геометрических пространств, позволяющих иметь такую спинорную структуру [10].

В соответствии с такими геометрическими объектами можно искать новые симметрии, которые мы уже начали изучать в классе n-арных симметрий с соответствующими n-арными алгебрами, что уже обсуждалось выше.

Исключительные свойства трех нейтрино говорят нам, что мы должны начать с n-арного (n=3,4,5,6 или более) обобщения всей бинарной математики [3-7, 9-14]. Можно полагать, что новые n-арные симметрии субматерии могли бы динамически объяснить единую структуру кварков и лептонов, следствием которой являлось бы следующее равенство:

$$N^{\alpha} = N_g = 3; \left(N^{\alpha} = N_g = (3+1)\right).$$

Невидимая фермионная материя (субматерия или темная материя) могла бы иметь некоторые новые внутренние групповые квантовые свойства, аналогично тому, как видимая ЭМ-материя имеет Абелевы $U(1)_{EM}$-зарядовые свойства и, дополнительно, не-Абелеву $SU(2)$-спин-структуры. В этом случае новый вид материи не мог бы напрямую взаимодействовать с нашей дираковской материей и фактически становился ненаблюдаемым. Введение в теорию материи с новыми специфическими спин-структурами требует нетривиального расширения геометрии D=(1+3)-мерного пространства-времени и, соответственно, нетривиального расширения группы внешней симметрии Лоренца $SO(1,3)$.

Не-Абелевы гиперкомплексные числа и расширение принципа тождественности

Абелевы группы симметрий, построенных на n-арных комплексных нормированных алгебрах, могли бы стать как базисными внутренними симметриями теорий невидимого света, так

и дать информацию о волновых его свойствах.

Дальнейшее расширение *n*-арных комплексных чисел до не Абелевых гипер-комплексных позволяет построить не Абелеву группу симметрий, неприводимые представления которой могли бы предсказать и внутренние квантовые свойства экзотической субматерии-*n*-спиноров, взаимодействующих с невидимым светом [3,6].

Хорошо известно, что динамика взаимодействий кварков

$$q^{\alpha} = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{pmatrix}$$

описывается локальной симметрией $SU(3)^c$, с – цвет – (*QCD*). *SU(3)*-группу Ли, как 8-мерное многообразие, образуют унитарные унимодулярные (3x3) матрицы $U \in SU(3)$, которые можно представить в экспоненциальном виде через параметры β_k и эрмитовы генераторы $T_k = T_k^+$ Ли алгебры $T_k \in su(3)$:

$$U = \exp\left(i \sum_{k=1}^{k=8} \beta_k T_k\right),$$

удовлетворяющие следующим коммутационным соотношениям

$$[T_k, T_l] = i\, f_{klm} T_m.$$

Проблему запирания цвета внутри адрона, в частности, ненаблюдение свободных кварков и глюонов можно пытаться решать через поиски другой цветовой симметрии или через композитную структуру кварков, например, через субматериальные составляющие, которые имеют какие-то другие новые внутренние квантовые свойства. В качестве таких кандидатов можно было бы рассмотреть *n*-спиноры (мааркрионы), квантовые свойства которых связаны с групповой геометрией не-Абелевых *n*-арных гипер-числел n=3.4,6,…

Изучение *n*-арных гипер-чисел уже дало нам интересное обобщение для правил их анти-коммутации [10], если сравнивать с расширением бинарных комплексных чисел до кватернионов.

Действительно, обобщение мнимой единицы $\{i | i^2 = -1\}$ на гипер-комплексные кватернионы с 3-мнимыми единицами:

$$\{e_a | e_a^2 = -1, a = 1,2,3\}$$

привело к концепции антикоммутативности для мнимых единиц:

$$e_a \cdot e_b = -e_b \cdot e_a, \qquad a \neq b$$

Единичные мнимые кватернионы

$$e_a^2 = -1, a = 1,2,3$$

могут быть выражены в виде произведения эрмитовых бесследовых (2x2)-матриц Паули и мнимой единицы «*i*»:

$$e_a = i \cdot \sigma_a, \quad \sigma_a^+ = \sigma_a, \qquad Tr\sigma_a = 0, \qquad \sigma_a^2 = \hat{1}_2$$

Расширение тернарных комплексных чисел до не-Абелевых гипер-комплексных чисел привело к 8 тернарно-мнимым единицам:

$$q_a : q_a^3 = q_0 = \hat{1}_3, a = 1,2,3,\cdots,8$$

и правило антикоммутативности расширяется следующим образом:

$$q_a \cdot q_b = j q_b \cdot q_a, \text{ или } q_a \cdot q_b = j^2 q_b \cdot q_a, \qquad a \neq b,\ j = \exp(2\pi i/3)$$

В общем случае правило антикоммутации для *n*-арных чисел

$$q_a : q_a^n = \pm q_0 = \pm \hat{1}_3, a = 1,2,3,\cdots,(n^2-1)$$

может иметь следующий вид

$$q_a \cdot q_b = j^k q_b \cdot q_a, \qquad a \neq b,\ j = \exp\left(\frac{2\pi i}{n}\right), k = 1,\ldots,(n-1)$$

Новые правила антикоммутации могут привести к обобщению принципа антисимметрии для тождественных частиц [10], который утверждает возможность наличия в квантовом состоянии *n*-идентичных частиц в зависимости от спиновой структуры *n*-спинор-спиноров.

Например, три трехцветных идентичных кварка могли бы находиться в одном квантовом состоянии в адронах! Действительно, используя новые правила антикоммутации [10], мы построили алгебру делением для гипер-тернарных комплексных чисел [3,10]:

$$z = (x_0 q_0 + x_7 q + x_8 q^2) + (x_1 q_0 + x_2 q + x_3 q^2) q_1 + (x_4 q_0 + x_5 q + x_6 q^2) q_1^2$$

Восемь мнимых единиц

$$\{q_k | q,\ q^2, q_1, q q_1,\ q^2 q_1, q_1^2, q q_1^2, q_1^2 q^2 | q_k^3 = q_0, |\}$$

образуют алгебру *Tsu(3)*, а единичные тернарные гиперкомплексные числа

$$[\{z\} \rightarrow ||z||^3 = \left|z \cdot \bar{z} \cdot \bar{\bar{z}}\right| = 1]$$

образуют соответственно тернарую не-Абелеву группу *TSU(3)*-группу, фундаментальные неприводимые представления которой

$$\Re(3), \Re(\bar{3}), \Re(\bar{\bar{3}})$$

образуют набор квантовых состояний, которые могут быть использованы для описания трех тернарно-сопряженных 3-спиноров. Соответствующая тернарная *TSU(3)*-инвариантая-гиперповерхность принимает в $\sum^8 \subset \mathbb{R}^9$ следующий вид [10]:

$$F(z_0, z_1, z_3) = |z_0|^3 + |z_1|^3 + |z_2|^3 - \left(z_0 z_1 z_2 + \bar{z}_0 \bar{z}_1 \bar{z}_2 + \bar{\bar{z}}_0 \bar{\bar{z}}_1 \bar{\bar{z}}_2\right) = 1$$

где

$$z_0 = x_0 q_0 + x_7 q + x_8 q^2$$

$$z_1 = x_1 q_0 + x_2 q + x_3 q^2$$

$$z_2 = x_4 q_0 + x_5 q + x_6 q^2$$

$$\bar{q} = jq, \overline{q^2} = \bar{q}^2 = j^2 q.$$

Или

$$F(z_0, z_1, z_3) \equiv \sum(x_0, x_1, \cdots, x_8) = x_0^3 + x_7^3 + x_8^3 + x_1^3 + x_2^3 + x_3^3 + x_4^3 + x_5^3 + x_6^3 -$$

$$-3x_0x_7x_8 - 3x_1x_2x_3 - 3x_0x_7x_8$$

$$-3x_0(x_1x_4 + x_2x_5 + x_3x_6) - 3x_7(x_1x_5 + x_2x_6 + x_3x_4) - 3x_8(x_1x_6 + x_2x_4 + x_3x_5) = 1$$

Сравним генераторы бинарной *su(3)* и тернарной *tsu(3)* алгебр, которые имеют следующие определения генераторов. Так рассмотрим стандартные эрмитовы генераторы алгебры *su(3)*, которые вводятся обычным образом

$$t_a = \left\{\frac{\lambda_a}{2}\right\};\ t_a^+ = t_a, Tr\{\lambda_a\lambda_b\} = 2\delta_{ab}$$

и 8 генераторов тернарной алгебры *tsu(3)*

$$\{Q_a : Q_a^3 = Q_0 = E\},$$

для которых было введено тернарное комплексное сопряжение, тернарное транспонирование, тернарное эрмитово сопряжение и тернарную унитарность [10].

$$\lambda_1 = \begin{pmatrix}0&1&0\\1&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}, \lambda_2 = \begin{pmatrix}0&-i&0\\i&0&0\\0&0&0\end{pmatrix};$$

$$Q_1 = \begin{pmatrix}0&1&0\\0&0&1\\1&0&0\end{pmatrix}, Q_4 = \begin{pmatrix}0&0&1\\1&0&0\\0&1&0\end{pmatrix}$$

$$\lambda_4 = \begin{pmatrix}0&0&1\\0&0&0\\1&0&0\end{pmatrix}, \lambda_5 = \begin{pmatrix}0&0&-i\\0&0&0\\i&0&0\end{pmatrix};$$

$$Q_2 = g\begin{pmatrix}0&1&0\\0&0&j\\j^2&0&0\end{pmatrix}, Q_5 = g^2\begin{pmatrix}0&0&j\\1&0&0\\0&j^2&0\end{pmatrix}$$

$$\lambda_6 = \begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&1&0\end{pmatrix}, \lambda_7 = \begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&-i\\0&i&0\end{pmatrix};$$

$$Q_3 = g^2\begin{pmatrix}0&1&0\\0&0&j^2\\j&0&0\end{pmatrix}, Q_6 = g\begin{pmatrix}0&0&j^2\\1&0&0\\0&j&0\end{pmatrix}$$

$$\lambda_3 = \begin{pmatrix}1&0&0\\0&-1&0\\0&0&0\end{pmatrix}, \lambda_8 = \frac{1}{\sqrt{3}}\begin{pmatrix}1&0&0\\0&1&0\\0&0&-2\end{pmatrix};$$

$$Q_7 = g\begin{pmatrix}1&0&0\\0&j&0\\0&0&j^2\end{pmatrix}, Q_8 = g^2\begin{pmatrix}1&0&0\\0&j^2&0\\0&0&j\end{pmatrix}$$

$$\lambda_0 = Q_0 = \begin{pmatrix}1&0&0\\0&1&0\\0&0&1\end{pmatrix},$$

$$j^3 = 1, \quad g^3 = 1.$$

В дополнении к обычным бинарным скобкам Ли *tsu(3)*-алгебра допускает тернарное обобщение коммутатора:

$$[Q_k, Q_l, Q_m] = Q_kQ_lQ + jQ_lQ_mQ_k + j^2Q_mQ_kQ_l = f_{klm}^n Q_n$$

В базисе

$$q_1 = g\,Q_1,\ q_2 = g\,Q_2,\ q_3 = g\,Q_3,\ q_4 = g^2\,Q_4,$$
$$q_5 = g^2\,Q_5,\ q_6 = g^2\,Q_6,\ q_7 = Q_7,\ q_8 = Q_8$$

выполняются следующие тернарные коммутационные соотношения (см. *таблицу 1*, выписаны только ненулевые элементы, их циклические перестановки сводятся к умножению на j и j^2).

Отметим, что в них не входит матрица Q_0.

Можно также использовать генераторы в виде кубических матриц с соответствующим правилом тернарного умножения:

$$\sum_{i,j,p=1}^{3} X_{ija}Y_{jpb}Z_{pic} = U_{abc}$$

$$U_{abc} = Tr\{(\hat{X})_a(\hat{Y})_b(\hat{Z})_c\}$$

I-группа

$$T_1(A) = \left\|\begin{array}{ccc|ccc|ccc}0&1&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&0&0\end{array}\right\|$$

$$T_2(B) = \left\|\begin{array}{ccc|ccc|ccc}0&0&0&0&0&0&0&1&0\\0&0&1&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&0&0&0&0&0\end{array}\right\|$$

$$T_3(C) = \left\|\begin{array}{ccc|ccc|ccc}0&0&0&0&1&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&1\\1&0&0&0&0&0&0&0&0\end{array}\right\|$$

II -группа

$$T_4(N) = \left\|\begin{array}{ccc|ccc|ccc}0&0&0&0&0&0&0&0&1\\1&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&1&0&0&0&0\end{array}\right\|$$

$$T_5(Q) = \left\|\begin{array}{ccc|ccc|ccc}0&0&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0&0\end{array}\right\|$$

$$T_6(F) = \left\|\begin{array}{ccc|ccc|ccc}0&0&1&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&1&0\end{array}\right\|$$

III -группа

$$T_7(G) = \left\|\begin{array}{ccc|ccc|ccc}0&0&0&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&1&0\\0&0&1&0&0&0&0&0&0\end{array}\right\|$$

$$T_8(J) = \left\|\begin{array}{ccc|ccc|ccc}0&0&0&0&0&0&1&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&1&0&0&0\end{array}\right\|$$

$$T_0(E) = \left\|\begin{array}{ccc|ccc|ccc}1&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&1&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&1\end{array}\right\|$$

$$T_kT_lT_m = s_{klm}^n T_n;\ \ s_{klm}^n = 1 \text{ или } 0.$$

Так определенные кубические генераторы образуют замкнутую алгебру относительно введенного умножения кубических матриц, а детерминант модуля определяет групповое многообразие, уравнение которого почти полностью совпадает с выражением для группового многообразия *TSU(3)*:

$$det\left\{\sum_{a=0}^{8} x_aT_a\right\} = \hat{T}(x_0,\cdots,x_8) = \sum_{a=0}^{8} x_a^3 - 3(x_0x_7x_8 + x_1x_2x_3 + x_4x_5x_6)$$
$$+3x_0(x_2x_4 - x_1x_5) + 3x_7(x_1x_6 - x_3x_4) + 3x_8(x_3x_5 - x_2x_6)$$

$$\hat{T}(x_0 = x_7 = x_8 = 0) = (x_1^3 + x_2^3 + x_3^3 - 3x_1x_2x_3) + (x_4^3 + x_5^3 + x_6^3 - 3x_4x_5x_6)$$

$$\hat{T}(x_1 = x_2 = x_3 = 0) = (x_0^3 + x_7^3 + x_8^3 - 3x_0x_7x_8) + (x_4^3 + x_5^3 + x_6^3 - 3x_4x_5x_6)$$

Таблица 1

N	[k,l,m]	n	f_{klm}^{n}	N	[k,l,m]	n	f_{klm}^{n}	N	[k,l,m]	n	f_{klm}^{n}
1	[1,1,2]	7	$3\,j^2$	2	[1,3,3]	7	3	3	[2,2,3]	7	$3\,j^2$
4	[1,1,6]	2	3 j	5	[2,2,4]	3	3 j	6	[3,3,5]	1	3 j
7	[1,1,7]	6	3	8	[2,2,7]	4	3	9	[3,3,7]	5	3
10	[1,2,4]	2	j-1	11	[2,1,4]	2	i√3	12	[1,2,5]	1	2+j
13	[2,1,5]	1	(-2-j)	14	[1,2,6]	3	j-1	15	[2,1,6]	3	i√3
16	[1,3,4]	3	(-2-j)	17	[3,1,4]	3	2+j	18	[1,3,5]	2	i√3
19	[3,1,5]	2	j-1	20	[1,3,6]	1	i√3	21	[3,1,6]	1	j-1
22	[2,3,4]	1	j-1	23	[3,2,4]	1	i√3	24	[2,3,5]	3	j-1
25	[3,2,5]	3	i√3	26	[2,3,6]	2	2+j	27	[3,2,6]	2	(-2-j)
28	[1,2,8]	4	1-j	29	[2,1,8]	4	j-1	30	[1,3,7]	4	j-1
31	[3,1,7]	4	(-2-j)	32	[1,3,8]	6	j-1	33	[3,1,8]	6	1-j
34	[1,2,7]	5	(-2-j)	35	[2,1,7]	5	j-1	36	[2,3,7]	6	(-2-j)
37	[3,2,7]	6	j-1	38	[2,3,8]	5	1-j	39	[3,2,8]	5	j-1
40	[4,4,5]	8	3	41	[4,6,6]	8	3 j	42	[5,5,6]	8	3
43	[3,4,4]	5	-3 (j + 1)	44	[1,5,5]	6	$3\,j^2$	45	[2,6,6]	4	-3 (j + 1)
46	[4,4,8]	3	$3\,j^2$	47	[5,5,8]	1	$3\,j^2$	48	[6,6,8]	2	$3\,j^2$
49	[1,4,5]	5	-i√3	50	[1,5,4]	5	(-2-j)	51	[2,4,5]	4	j-1
52	[2,5,4]	4	1-j	53	[3,4,5]	6	-i√3	54	[3,5,4]	6	(-2-j)
55	[1,4,6]	6	1-j	56	[1,6,4]	6	j-1	57	[2,4,6]	5	(-2-j)
58	[2,6,4]	5	-i√3	59	[3,4,6]	4	(-2-j)	60	[3,6,4]	4	-i√3
61	[1,5,6]	4	-i√3	62	[1,6,5]	4	(-2-j)	63	[2,5,6]	6	-i√3
64	[2,6,5]	6	(-2-j)	65	[3,5,6]	5	j-1	66	[3,6,5]	5	1-j
67	[4,5,7]	1	i√3	68	[5,4,7]	1	-i√3	69	[4,5,8]	2	i√3
70	[5,4,8]	2	2+j	71	[4,6,7]	3	-i√3	72	[6,4,7]	3	i√3
73	[4,6,8]	1	2+j	74	[6,4,8]	1	i√3	75	[5,6,7]	2	i√3
76	[6,5,7]	2	-i√3	77	[5,6,8]	3	i√3	78	[6,5,8]	3	2+j
79	[1,7,8]	1	2+j	80	[1,8,7]	1	i√3	81	[2,7,8]	2	2+j
82	[2,8,7]	2	i√3	83	[3,7,8]	3	2+j	84	[3,8,7]	3	i√3
85	[4,7,8]	4	i√3	86	[4,8,7]	4	2+j	87	[5,7,8]	5	i√3
88	[5,8,7]	5	2+j	89	[6,7,8]	6	i√3	90	[6,8,7]	6	2+j

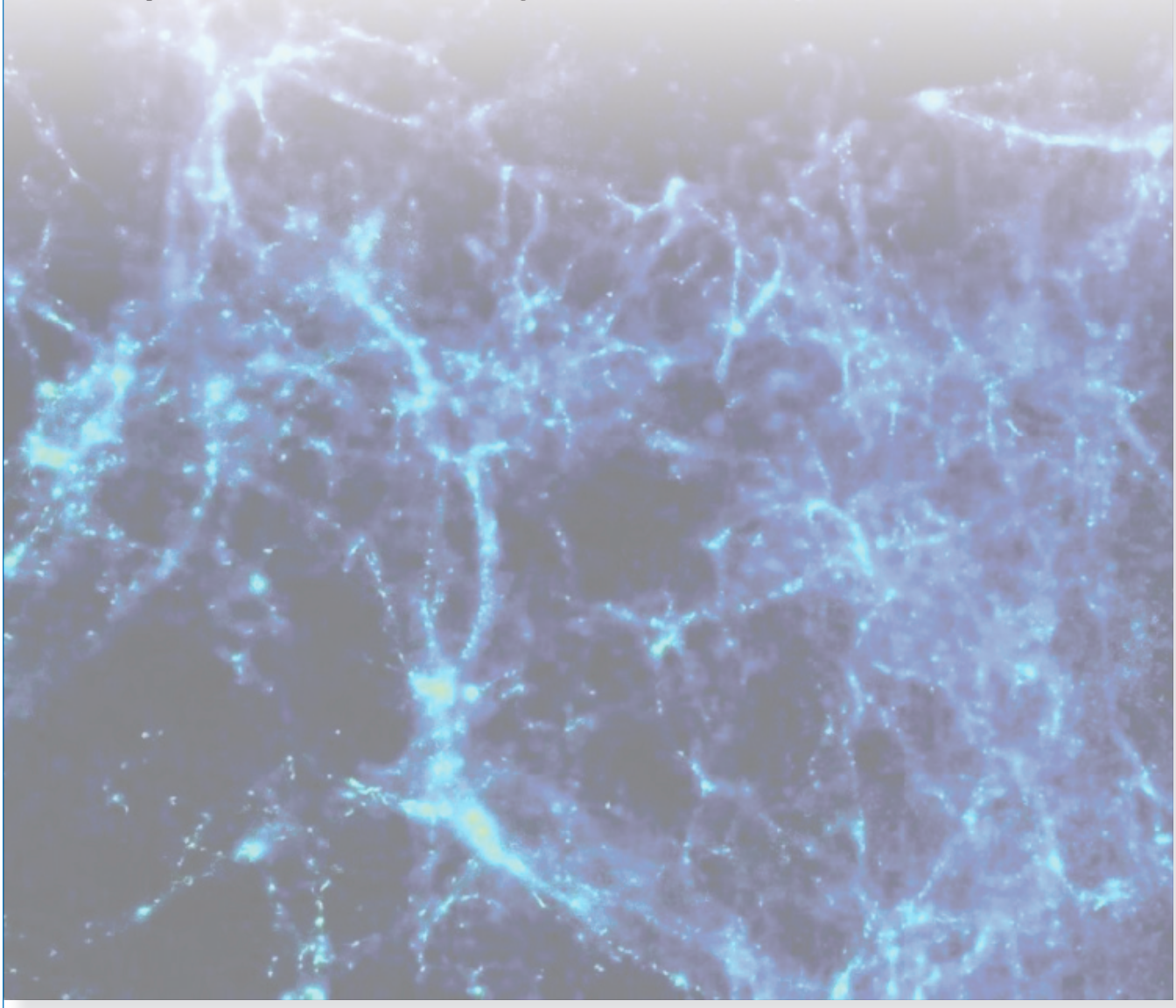
$$\hat{T}(x_4 = x_5 = x_6 = 0) = (x_1^3 + x_2^3 + x_3^3 - 3x_1x_2x_3) + (x_0^3 + x_7^3 + x_8^3 - 3x_0x_7x_8)$$

Основной вывод современной физики заключается в том, что наша кварк-лептонная материя образует нашу видимую вселенную, что является лишь небольшой частью огромной гипер-вселенной. Критические вопросы, касающихся квантовых свойств материи, такие как спин, заряд, цвет, масса, ведут к поиску новых симметричных групповых пространств, которые, следуя историческому развитию геометрии, мы ищем в поисках новых теорий чисел, алгебр, конечных групповых симметрий и т.д. В следующей статье мы продолжим исследования групповых многообразий как для группы, так и для кубических групп, а также остановимся более подробно в нашем подходе на свойствах мааркрионов и сигнатуры для возможности их экспериментального обнаружения.

Литература

1. Боголюбов Н.Н., Логунов А.А., Оксак А.И., Тодоров И.Т. Общие принципы квантовой теории поля. М.: Наука, 1987. 616 с.
2. F. Mintert, C. Viviescas and A. Buchleitner, Basic Concepts of Entangled States Lect. Notes Phys. 768, 2009. Pp. 61-86.
3. G. Volkov, Hunting for the New Symmetries in Calabi-Yau Jungles, Int.J. Mod. Phys. A19 (2004) 4835-4860, hep-th/0402042.
4. Volkov G.G., Geometry of Majorana neutrino

and new symmetries, Annales Fond Broiglie, 31 (2006). 227 p.
5. Dubrovskiy A., Volkov G., Ternary numbers and algebras. Reflexive numbers and Berger graphs, Adv. Appl. Clifford Algebras, 17 (2007). Pp. 159-181.
6. 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.
7. 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.
8. J. Ellis, N.E. Mavromatos, D.V. Nanopoulos, G. Volkov. Gravitational-Recoil Effects on Fermion Propagation in Space-Time Foam Gen.Rel. Grav.32:1777-1798, 2000 arXiv:gr-qc/9911055.
9. L.N. Lipatov, M. Rausch de Traunbenberg, G. Volkov. On the ternary complex analysis and its applications, J. Math. Phys. 49, 013502 (2008).
10. G. Volkov, 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, Proceeding of the Twenty first Annual Seminar «NPCS», Minsk, 20 (2014). Pp. 257-264.
12. Волков Г.Г., Кукин Н.С., Глотова И.О., Мурадова А.Р., Холина Ю.С. Геометрии и симметрии атомарных квантовых систем // Известия Института инженерной физики, 2017. №1(43). С.48-57.
13. 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.
14. Волков Г.Г., Кукин Н.С., Глотова И.О., Мурадова А.Р. Тернарная групповая алгебра. Комплексный анализ в Эвклидовом проранстве // Известия Института инженерной физики, 2016. №3(41). С.50-56.



УДК 004.056: 061.68.50

СТРУКТУРНО-КОДОВАЯ ЗАЩИТА УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

STRUCTURAL-CODE PROTECTION OF INFORMATION PROCESSING DEVICES

Денис Александрович Корсунский
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967) 35-31-93
E-mail: info@iifrf.ru

Александр Алексеевич Павлов
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
филиал ВА РВСН имени Петра
Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(916)356-31-89
E-mail: Pavlov_iif@mail.ru

Владимир Захарович Волков
адъюнкт
филиал ВА РВСН имени Петра
Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (915) 326-56-40
E-mail: svi-rv@mail.ru

Аннотация

Предложен метод коррекции ошибок в арифметико-логических устройствах ЭВМ, в которых осуществлено дублирование запоминающих устройств, а для их контроля применен алгебраический линейный код с минимальной информационной избыточностью. Сформулированы правила использования кодированной информации для обнаружения ошибок при выполнении арифметических и логических операций (правила адаптации кодирования информации линейным кодом для обнаружения ошибок в арифметико-логических устройствах ЭВМ).

Предложена процедура формирования дублирующего канала арифметико-логических устройств за счет применения аппаратуры, предназначенной для кодирования информации и функциональной избыточности арифметико-логических устройств.

Показано, что разработанный метод коррекции ошибок, по сравнению с мажоритарным методом, позволяет повысить вероятность безотказной работы ЭВМ, на треть сократить общие аппаратурные затраты и в 2,5 раза сократить затраты на построение АЛУ.

Ключевые слова: корректирующий алгебраический линейный код, информационные разряды, контрольные разряды, процессор, арифметико-логическое устройство, алгебраические операции, логические операции.

Summary

An error correction method is proposed in the arithmetic-logical computer devices, in which duplication of storage devices is carried out, and for their control an algebraic linear code with minimal information redundancy is used. The rules of using coded information to detect errors when performing arithmetic and logical operations (the rules of adapting information coding by linear code to detect errors in arithmetic-logical computer devices) are formulated.

A procedure is proposed for the formation of a backup channel of arithmetic-logical devices through the use of equipment designed for encoding information and functional redundancy of arithmetic-logical devices.

It is shown that the developed error correction method, in comparison with the majority method, makes it possible to increase the probability of computer failure-free operation, reduce the overall hardware costs by a third and reduce the costs of building ALU by 2.5 times.

Keywords: corrective algebraic linear code, information bits, control bits, processor, arithmetic-logical device, algebraic operations, logical operations.

Введение

Эффективность работы ЭВМ в значительной степени характеризуется достоверностью обрабатываемой информации, поэтому особую актуальность приобретает вопрос обнаружения и коррекции ошибок в АЛУ процессоров при выполнении арифметических и логических операций. Необходимость контроля арифметических и логических операций объясняется тем, что в процессоре осуществляется наиболее сложное преобразование информации, завершающее этап работы системы в целом.

Опыт эксплуатации дискретных устройств показывает, что наиболее вероятно возникновение одиночных ошибок [6,7,8]. В запоминающих устройствах (ЗУ) ЭВМ для обнаружения и коррекции ошибок широко применяются алгебраические линейные коды, позволяющие корректировать одиночные ошибки. Причем количество оборудования, требующегося для этих целей, увеличивается незначительно: всего на 10-30%. Использование же циклических кодов нежелательно, так как данные коды реализуют последовательный метод декодирования, при котором нужны большие временные затраты, что недопустимо для ИИС, работающих в реальном масштабе времени. Для АЛУ же вероятность появления кратных ошибок существенно возрастает, так как в сумматоре возникают сигналы переноса при наличии одиночной ошибки в разряде одного из слагаемых. В этом случае кратность ошибки соответствует количеству искаженных разрядов t. Сформулируем утверждение.

Утверждение. При возникновении одиночной ошибки в разряде одного из слагаемых кратность ошибки в информационных разрядах на выходе сумматора определяется выражением $t \le k-1$, где k – число информационных разрядов.

Коррекция ошибок такой кратности, т.е. обеспечение отказоустойчивости АЛУ процессора, возможна только на основе структурных методов резервирования. Для этого широко применяют мажоритарное резервирование, представляющее собой w параллельно подключенных идентичных каналов, выходы которых соединены с входом схемы голосования. Значение сигнала на ее выходе совпадает с большинством сигналов на ее входах. Чаще всего при мажоритарном резервировании используют три идентичных канала. При возникновении отказа в одном из каналов, схема голосования выбирает значение сигнала, соответствующие значениям выходных сигналов двух исправных каналов. В этом случае возможны восемь состояний системы: все каналы исправны (одно состояние); отказ одного из каналов (три состояния); отказ двух каналов при одном исправном канале (три состояния); одновременный отказ трех каналов (одно состояние).

Несмотря на простоту метода мажоритарного резервирования, для его реализации требуются значительные аппаратурные затраты, которые при длительных сроках эксплуатации приводят к снижению надежности резервированной системы, т.е. к уменьшению вероятности ее безотказной работы. Причем надежность резервированной системы может оказаться даже ниже надежности системы нерезервированной [1]. Кроме того, в мажоритарном резервировании реализуется вероятностный подход к выбору исправного канала. Предполагается, что в системе произойдет отказ только одного из каналов, а остальные четыре состояния системы при этом не учитываются. Однако отказ мажоритарной системы, как правило, происходит при отказе $(w-1)/2$ каналов из w имеющихся при исправной работе остальных каналов, т.е. использование мажоритарного резерва нерационально.

Постановка задачи

Для снижения аппаратурных затрат резервного оборудования часто применяют метод дублирования. Идея метода состоит в использовании в каждом резервируемом канале схемы обнаружения ошибок. При отказе одного канала информация обрабатывается исправным каналом. Эффективность метода дублирования зависит от обнаруживающей способности выбранного метода контроля и аппаратурных затрат, связанных с его реализацией.

Таким образом, необходимо решить задачу, связанную с построением отказоустойчивого АЛУ процессора ЭВМ. Разрабатываемое устройство должно работать в реальном масштабе времени. Аппаратурные затраты на построение встроенных средств контроля с требуемой обнаруживающей способностью нужно минимизировать. Затраты на формирование дублирующего канала можно снизить за счет функциональной избыточности процессора, при условии, что $C_д << C_м$, а $C_{р.д} \approx C_{р.м}$, где $C_д$, $C_м$ – общие аппаратурные затраты резервного оборудования соответственно при дублировании и мажоритарном резервировании; $C_{р.д}$, $C_{р.м}$ – аппаратурные затраты на построение схемы голосования соответственно при дублировании и мажоритарном резервировании.

Построение встроенных средств контроля при минимальной избыточности

Для минимизации аппаратурных затрат авторы настоящей статьи предлагают применять алгебраический линейный код, позволяющий

обнаруживать одиночные и двойные ошибки при минимальных информационной, аппаратурной и временной избыточностях [2,4,5]. В работе [3] представлены значения вероятностей обнаружения двойных ошибок и количество контрольных разрядов при использовании алгебраического линейного кода, а также количество контрольных разрядов при применении кода Хэмминга в зависимости от числа информационных разрядов. В той же работе приведены правила адаптации рассматриваемого кода для контроля арифметических и логических операций.

Формирование дублирующего канала за счет функциональной избыточности АЛУ процессора

В упрощенном виде структурная схема отказоустойчивой ЭВМ, разработанной авторами, представлена на *рисунке 1*.

Отказоустойчивая ЭВМ содержит основное запоминающие устройство *ЗУ1* и резервное запоминающие устройство *ЗУ2*, которые, в свою очередь, включают в свой состав оперативное устройство и постоянное запоминающее устройство. При записи в ЗУ значений информационных разрядов в первом *КУ1* и втором *КУ2* кодирующих устройствах формируются значения контрольных разрядов. При считывании информации значения контрольных разрядов, записанные в ЗУ, поступают на первые входы о первой *СС1* и второй *СС2* схем сравнения, на вторые входы которых поступают значения контрольных разрядов, сформированные относительно считываемой информации.

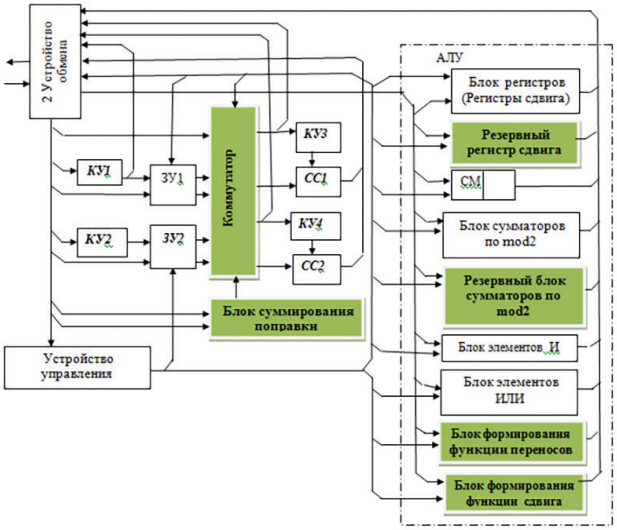


Рис. 1. Структурная схема отказоустойчивой ЭВМ: *АЛУ* – арифметико-логическое устройство; *СМ* – сумматор; *КУ* – кодирующее устройство; *ЗУ* – запоминающее устройство; *СС* – схема сравнения

С выходов схем сравнения сигналы поступают на входы двухвходового дешифратора. Это устройство подключат к выходам устройства обмена выходы основного ЗУ (при отсутствии в нем ошибок) или выходы резервного ЗУ (при наличии ошибки в основном ЗУ). Если ошибки обнаружились в обоих ЗУ, то двухвходовый дешифратор формирует сигнал «Отказ». Аналогичным образом осуществляется выбор исправного канала, когда в АЛУ есть ошибки.

Чтобы обеспечить отказоустойчивость, в АЛУ имеется аппаратура контроля и резервная аппаратура. На *рисунке 1* такая аппаратура выделена фоном. Резервная аппаратура для формирования дублирующего канала содержит следующие блоки: резервный блок сумматоров по mod 2; блок формирования функции переносов; блок формирования функции сдвига; блок суммирования поправки.

Формирование дублирующего канала для блока сумматоров по mod 2. Для формирования дублирующего канала для блока сумматоров по mod 2 используется идентичный резервный бок сумматоров, осуществляющий поразрядное сложение информационных и контрольных разрядов. Контроль операции сложения по mod 2 основным и резервным блоками сумматоров основан на свойстве 1.

***Свойство* 1.** Результат сложения по mod 2 контрольных разрядов слагаемых соответствует результату сложения по mod 2 информационных разрядов слагаемых.

Пример. Допустим, требуется сложить два кодовых набора, содержащих 12 информационных и три контрольных разряда. Проверочная матрица H для рассматриваемого кода имеет вид

$$H=\begin{vmatrix} r_3 & r_2 & r_1 & y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 & y_6 & y_7 & y_8 & y_9 & y_{10} & y_{11} & y_{12} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix},$$

где r_i – контрольные разряды;
y_i – информационные разряды.

Проверки для формирования значений контрольных разрядов определяются следующими выражениями:

$$r_1 = y_3 \oplus y_6 \oplus y_7 \oplus y_8 \oplus y_9 \oplus y_{10} \oplus y_{11};$$

$$r_2 = y_2 \oplus y_4 \oplus y_5 \oplus y_8 \oplus y_9 \oplus y_{10} \oplus y_{11};$$

$$r_3 = y_1 \oplus y_4 \oplus y_5 \oplus y_6 \oplus y_7 \oplus y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}.$$

Сложим значения информационных и контрольных разрядов кодовых наборов

$$A_к = 001\ 011\ 111\ 001\ 000;$$
$$B_к = 001\ 100\ 110\ 011\ 100$$

в резервном блоке сумматоров по mod 2 и получим следующий результат:

$$\begin{array}{r} 001\ 011\ 111\ 001 \quad 000 \\ \oplus\ 001\ 100\ 110\ 011 \oplus\ 100 \\ \hline S = 000\ 111\ 001\ 010 \quad 100. \end{array}$$

Отметим, что в основном блоке сумматоров по mod 2 осуществляется сложение значений только информационных разрядов. Результаты суммирования значений информационных разрядов блоком суммирования по mod 2 и резервным блоком суммирования по mod 2 поступают соответственно на входы третьего *КУ3* и четвертого *КУ4* кодирующих устройств, выходы которых подключены к первым входам первой и второй схем сравнения. На вторые входы этих схем попадают значения контрольных разрядов, сформированных в резервном блоке сумматоров по mod 2. Совпадение переданных и сформированных значений контрольных разрядов в схемах сравнения свидетельствует об отсутствии ошибок. При отказе одного из блоков сумматоров по mod 2 по значениям сигналов, поступающих с первой и второй схем сравнения, устройство обмена подключает выходы исправного блока, а при отказе двух каналов – формируется сигнал «Отказ устройства».

Формирование дублирующего канала для выполнения арифметических операций. Для этого сформулируем следующие свойства и правила.

Свойство 2. В результате поразрядного суммирования по mod 2 значений функции переносов с результатом сложения по mod 2 слагаемых получим арифметическую сумму слагаемых.

Правило 1. Функция формирования переносов определяется выражением

$$s_1 = 0;$$

$$s_{2=} = y_{1A} \wedge y_{1B};$$

$$s_3 = y_{2A} \wedge y_{2B} \vee (y_{2A} \vee y_{2B}) \wedge s_2;$$

$$s_4 = y_{3A} \wedge y_{3B} \vee (y_{3A} \vee y_{3B}) \wedge s_3;$$

$$s_5 = y_{4A} \wedge y_{4B} \vee (y_{4A} \vee y_{4B}) \wedge s_4;$$

$$\ldots$$

$$s_{12} = y_{11A} \wedge y_{11B} \vee (y_{11A} \vee y_{11B}) \wedge s_{11},$$

где s_i – значения разрядов функции переносов.

Правило 2. Для рассматриваемого примера в результате суммирования кодовых наборов в резервном блоке по mod 2 возможен результат

$$\begin{array}{r} 001\ 011\ 111\ 001 \quad 000 \\ \oplus\ 001\ 100\ 110\ 011 \oplus\ 100 \\ \hline S = 000\ 111\ 001\ 010 \quad 100. \end{array}$$

Значения разрядов переносов, полученные по правилу 2, имеют вид

$$S_п = 011\ 111\ 100\ 110.$$

Арифметическая сумма слагаемых определяется сложением в блоке сумматоров по mod 2. Запишем результаты суммы значений информационных разрядов со значениями функции переносов, т.е. $S_A = S_{\oplus} S_п$:

$$\begin{array}{r} 000\ 111\ 001\ 010\ 100 \\ \oplus\ 011\ 111\ 100\ 110 \\ \hline S_A = 011\ 000\ 101\ 100\ 100 \end{array}.$$

В результате имеем арифметическую сумму рассматриваемых слагаемых, при этом значение контрольных разрядов не соответствует полученной сумме.

Свойство 3. Формирование поправки $П_к$ к значению контрольных разрядов $S_{кmod2}$ осуществляется кодированием функции переносов S_n выбранным методом кодирования информации.

Для рассматриваемого примера кодирование значения

$$S_п = 011\ 111\ 100\ 110$$

предложенным методом приведет к значению поправки $П_к = 110$. В результате поразрядного сложения по mod 2 в блоке суммирования поправки значений контрольных разрядов $S_{кmod2} = 100$ и $П_к = 110$ получим правильное значение контрольных разрядов для найденной арифметической суммы. Правильное значение примет вид

$$S_к = 011\ 000\ 101\ 100\ 010.$$

Значения информационных разрядов сумматора и блока сумматоров по mod 2, т.е. резервной суммы, поступают на входы устройства обмена и на входы третьего и четвертого кодирующих устройств. На этих входах формируются значения контрольных разрядов относительно полученной арифметической суммы, которые поступают на первые входы первой и второй схем сравнения. На вторые входы схем сравнения подаются значения контрольных разрядов с выходов блока суммирования поправки. Выбор исправного канала осуществляется по алгоритму, описанному выше.

Формирование дублирующего канала для выполнения операции сдвига. С этой целью запишем следующие свойства и правила.

Свойство 4. В результате поразрядного суммирования по mod 2 значений функции сдвига вправо (влево) с исходным значением информационных разрядов получим значение информационных разрядов при сдвиге вправо (влево).

Правило 3. Функция сдвига вправо определяется выражением

$$s_{12} = z_1 \oplus y_{12};$$

$$s_{11} = y_{12} \oplus y_{11};\ s_{10} = y_{11} \oplus y_{10};$$

$$s_{12} = z_1 \oplus y_{12};$$
$$s_{11} = y_{12} \oplus y_{11};\ s_{10} = y_{11} \oplus y_{10};$$
$$s_9 = y_{10} \oplus y_9;\ s_8 = y_9 \oplus y_8;$$
$$s_7 = y_8 \oplus y_7;\ s_6 = y_7 \oplus y_6;$$
$$s_5 = y_6 \oplus y_5;\ s_4 = y_5 \oplus y_4;$$
$$s_3 = y_4 \oplus y_3;\ s_2 = y_3 \oplus y_2;\ s_1 = y_2 \oplus y_1,$$

где z_1 – значение сигнала переноса из другого регистра, например в старший разряд регистра дополнительного из младшего разряда регистра сумматора при выполнении операции умножения.

Правило 4. Функция сдвига влево определяется выражением

$$s_1 = z_1 \oplus y_1;$$
$$s_2 = y_1 \oplus y_2;\ s_3 = y_2 \oplus y_3;$$
$$s_4 = y_3 \oplus y_4;\ s_5 = y_4 \oplus y_5;$$
$$s_6 = y_5 \oplus y_6;\ s_7 = y_6 \oplus y_7;$$
$$s_8 = y_7 \oplus y_8;\ s_9 = y_8 \oplus y_9;$$
$$s_{10} = y_9 \oplus y_{10};\ s_{11} = y_{10} \oplus y_{11};$$
$$s_{12} = y_{11} \oplus y_{12}.$$

Здесь z_1 – значение сигнала переноса старшего разряда одного регистра в младший разряд регистра сдвига.

Правило 5. Формирование дублирующего канала для выполнения операции сдвига происходит за нескольких шагов:

- исходная информация записывается в основной и резервный регистры сдвига;
- считывание информации с резервного регистра сдвига осуществляется с задержкой на один такт;
- блок формирования функции сдвига формирует функцию сдвига вправо по правилу 3, а влево – по правилу 4.
- значения разрядов функции сдвига поступают на вход первого кодирующего устройства;
- значения контрольных разрядов, соответствующие исходной информации, подаются на первые входы блока суммирования поправки, на вторые входы которых поступает значение поправки с выходов первого кодирующего устройства;
- в резервном блоке сумматоров по mod 2 производится поразрядное сложение по mod 2 исходного значения информационных разрядов, поступающих с выходов регистра сдвига, и значений разрядов функции сдвига. В результате получаются значения информационных разрядов при сдвиге вправо (влево);
- значения информационных разрядов, с выходов основного регистра сдвига, поступают на вход третьего кодирующего устройства, а значения информационных разрядов резервного блока суммирования по mod 2 – на вход четвертого кодирующего устройства;
- значения контрольных разрядов, соответствующие операции сдвига, с выходов блока суммирования поправки поступают на первые входы третьей и четвертой схем сравнения. На вторые входы этих схем сравнения подаются значения контрольных разрядов, сформированных в третьем и четвертом кодирующих устройствах;
- в зависимости от значений выходных сигналов третьей и четвертой схем сравнения к выходам первого коммутатора подключаются выходы основного или дублирующего канала.

Пример. При сдвиге вправо кодового набора

$$A_к = 001\ 011\ 111\ 001\ 000$$

получим кодовый набор

$$A_п = 000101\ 111\ 100\ 000.$$

Используем правило 3 и выведем значение функции сдвига вправо

$$S_P = 001\ 110\ 000\ 101,$$

где S_P – значение функции сдвига вправо. В результате поразрядного сложения в резервном блоке сумматоров по mod 2 значений исходного кодового набора со значениями разрядов функции сдвига запишем значения информационных разрядов при сдвиге вправо:

$$\begin{array}{r} A_к = 000\ 101\ 111\ 100\ \ 000 \\ \oplus\ \ S_P = 001\ 110\ \ 000\ 101 \\ \hline A_п = 001\ 011\ 111\ 001 \end{array}.$$

При кодировании функции сдвига предложенным методом кодирования информации значение поправки составит $P=010$. Сложение значений поправки со значениями контрольных разрядов приведет к правильному значению контрольных разрядов при сдвиге информационных разрядов вправо:

$$\begin{array}{r} A_п = 000\ 101111\ 100\ \ \ \ 000 \\ \oplus P\ = \qquad\qquad\ \ 010 \\ \hline S_п = \ 000\ 101111\ 100\ \ \ \ 010. \end{array}$$

Формирование дублирующего канала для выполнения операции ИЛИ (И). Для данного формирования сформулируем свойство и правило.

Свойство 5. В результате поразрядного суммирования по mod 2 результата выполнения логической операции И (ИЛИ) с результатом сложения по mod 2 исходных кодовых наборов имеем результат выполнения логической операции ИЛИ (И).

Правило 6. Формирование дублирующего канала для выполнения операции ИЛИ (И)

происходит по следующему алгоритму.

1. В блоке элементов ИЛИ (И) выполняется логическая операция ИЛИ относительно информационных разрядов.

2. Параллельно, в блоке элементов И, относительно информационных разрядов осуществляется логическая операция И (ИЛИ).

3. В резервном блоке сумматоров по mod 2 производится суммирование исходных кодовых наборов и суммирование по mod 2 контрольных разрядов.

4. Значения контрольных разрядов поступают на блок суммирования поправки.

5. Значения информационных разрядов, полученных при выполнении логической операции И, поступают на входы первого кодирующего устройства и на входы блока сумматоров по mod 2, где суммируются с результатом, который зафиксирован на выходе резервного блока сумматоров по mod 2. Таким образом, результат сложения соответствует выполнению логической операции ИЛИ.

6. Данный результат поступает на вход четвертого кодирующего устройства.

7. Значение поправки с выходов первого кодирующего устройства подается на входы блока суммирования поправки и обеспечивает формирование значений контрольных разрядов, соответствующих рассматриваемой логической операции ИЛИ. Указанные контрольные разряды поступают на первые входы третьей и четвертой схем сравнения.

8. Третья и четвертая схемы сравнивают значения контрольных разрядов, сформированных относительно основного и резервного каналов выполнения логической операции ИЛИ и выбора рабочего канала.

Рассмотрим пример организации контроля выполнения логической операции ИЛИ относительно двух 12-разрядных кодовых слов. Пусть

$$A_к = 001\ 001\ 111\ 001\ 110;$$
$$B_к = 001\ 100\ 110\ 010\ 101.$$

При выполнении логической операции ИЛИ относительно информационных разрядов и суммирования по mod 2 контрольных разрядов получим

$$S_{ИЛИ} = 001\ 101\ 111\ 011\ 011.$$

У этой записи значения контрольных разрядов не соответствует полученному результату. Для формирования поправки к значениям контрольных разрядов выполним логическую операцию И, которая обеспечит результат

$$S_И = 001\ 000\ 110\ 000.$$

На основе этого результата формируется поправка к значениям контрольных разрядов при выполнении логической операции ИЛИ: $P_{ИЛИ}=001$. Тогда при сложении по mod 2 исходных кодовых наборов получим результат:

$$\begin{array}{r} A_к = 001\ \ 001\ \ 111\ \ 001 \\ \oplus\ B_к = 001\ \ 100\ 110\ \ 010 \\ \hline S_\oplus = 000\ 101\ 001\ \ 011 \end{array}.$$

Суммирование по mod 2 информационных разрядов, найденных при выполнении логической операции И, с результатом сложения по mod 2 исходных кодовых наборов позволяет получить следующий результат выполнения логической операции ИЛИ:

$$\begin{array}{r} S_И = 001\ \ 000\ 110\ \ 000 \\ S_\oplus = 000\ \ 101\ 001\ \ 011 \\ \hline S_{ИЛИ} = 001\ \ 101\ 111\ \ 011 \end{array}.$$

В результате суммирования по mod 2 результата поправки $P_{ИЛИ}=001$ со значениями контрольных разрядов, сформированных при выполнении операции ИЛИ, получим значение контрольных разрядов, которое соответствует данной операции:

$$S_{п\ ИЛИ} = 001\ 101\ 111\ 011....010.$$

Оценка аппаратурных затрат на построение отказоустойчивой ЭВМ

Допустим, что ЭВМ содержит 32-разрядный процессор. Так как для построения одного одноразрядного сумматора нужно взять девять простейших (двухвходовых) логических элементов (л.э.), то на построение сумматора процессора потребуется $C_{СМ}=288$ л.э. Если считать, что для организации одного сумматора по mod 2 необходимо четыре л.э., то на построение блока сумматоров по mod 2 потребуется $C_{б.СМ}=128$ л.э. Для построения блока логических элементов И потребуется $C_{б.И}=32$ л.э, а для блока логических элементов ИЛИ – $C_{б.ИЛИ}=32$ л.э.

Для аппаратурной реализации одного разряда регистра необходим один триггер и три элемента коммутации. С учетом того, что для выполнения одного триггера потребуется четыре л.э., то для аппаратурной реализации одного разряда регистра следует взять семь л.э. В этом случае для построения 32-разрядного регистра нужно $C_{рег}=224$ л.э. Так как блок регистров процессора содержит регистры адреса, числа и сумматора, а также дополнительный регистр и регистр дополнительного кода, то аппаратурные затраты блока регистров составят $C_{б.рег}=1120$ л.э. Следовательно, общие аппаратурные затраты на построение АЛУ процессора составят $C_{АЛУ}=1600$ л.э.

Допустим, что информационная емкость полупроводникового 32-разрядного оперативного ЗУ составляет 8192 слов памяти, а информационная емкость постоянного ЗУ соответствует 16384 словам памяти. Если считать, что для построения одной ячейки памяти потребуется один триггер и два логических элемента И, коммутирующих входы и выходы, то общие аппаратурные затраты на построение памяти составят $C_{ЗУ}$=4718592 л.э. Таким образом, общие аппаратурные затраты на построение нерезервированной ЭВМ без учета аппаратурных затрат на построение управляющего устройства составят $C_{ЭВМ}$=4720192 л.э.

Оценка аппаратурных затрат на построение отказоустойчивой ЭВМ на основе предлагаемого метода коррекции ошибок. Использование предлагаемого метода коррекции ошибок для обеспечения отказоустойчивости рассматриваемой ЭВМ потребует четыре контрольных разряда, реализующих функции кодирования:

$$r_1=y_4\oplus y_{13}\oplus y_{14}\oplus y_{15}\oplus y_{16}\oplus y_{17}\oplus y_{18}\oplus$$
$$\oplus y_{19}\oplus y_{20}\oplus y_{21}\oplus y_{22}\oplus y_{23}\oplus y_{24}\oplus y_{25}\oplus y_{26}\oplus y_{30};$$
$$r_2=y_3\oplus y_7\oplus y_8\oplus y_9\oplus y_{10}\oplus y_{11}\oplus y_{12}\oplus y_{19}\oplus$$
$$\oplus y_{20}\oplus y_{21}\oplus y_{22}\oplus y_{23}\oplus y_{24}\oplus y_{25}\oplus y_{26}\oplus y_{29};$$
$$r_3=y_2\oplus y_5\oplus y_6\oplus y_9\oplus y_{10}\oplus y_{11}\oplus y_{12}\oplus y_{15}\oplus y_{16}\oplus$$
$$\oplus y_{17}\oplus y_{18}\oplus y_{23}\oplus y_{24}\oplus y_{25}\oplus y_{26}\oplus y_{28}\oplus y_{31}\oplus y_{32};$$
$$r_4=y_1\oplus y_5\oplus y_6\oplus y_7\oplus y_8\oplus y_{11}\oplus y_{12}\oplus y_{13}\oplus$$
$$\oplus y_{14}\oplus y_{17}\oplus y_{18}\oplus y_{21}\oplus y_{22}\oplus y_{25}\oplus y_{26}\oplus y_{27}\oplus y_{31}\oplus y_{32}.$$

Для построения 36-разрядного блока суммирования по mod 2 потребуется $C_{б.СМ}$=144 л.э. Для реализации блока формирования функции переносов (см. *Правило 1*) потребуется $C_{б.ФФП}$=128 л.э. Для организации блока формирования функции сдвига (см. *Правила 3,4* и с учетом минимизации) потребуется $C_{б.ФС}$=192 л.э. Аппаратурные затраты на построение резервного регистра сдвига составят $C_{РРС}$=224 л.э. Для построения блока суммирования поправки потребуется 4 сумматора по mod 2 или $C_{б.СП}$=16 л.э. Следовательно, общие аппаратурные затраты на построение дублирующего канала АЛУ процессора составят $C_{АЛУ\ д}$=704 л.э., аппаратурные затраты на построение основного канала – $C_{АЛУ}$=1600 л.э. Аппаратные затраты на хранение значений контрольных разрядов (по четыре разряда) в каждом ЗУ для 24576 слов памяти в каждом канале составят $C_{КР\ ЗУ1}$=589824 л.э. для одного канала, а для двух каналов $C_{КРЗУ2}$=1179648 л.э. Для кодирования (декодирования) 32 информационных разрядов потребуется 64 сумматора по mod 2 или $C_{К}$=256 л.э.

Рассмотренная структурная схема (см. *рисунок 1*) содержит четыре кодирующих устройства, поэтому на кодирование всей информации потребуется $C_{к}$=1024 л.э. Каждая схема совпадения включает в себя по четыре сумматора по mod 2, т. е. для их построения нужно восемь сумматоров по mod 2 или $C_{СС}$=32 л.э. Для коммутации каналов используется дешифратор на два входа, на которые поступают сигналы с выходов схем совпадения. Схемы совпадения и дешифратор в данном случае представляют собой схему выбора исправного канала, аппаратурные затраты которого составят $C_{РО}$=36 л.э. Аппаратурные затраты на построение встроенных средств контроля составят $C_{СК}$=1180712 л.э. Таким образом, общие аппаратурные затраты, учитывающие затраты на построение двух каналов ЗУ, основного и дублирующего каналов АЛУ, а также затраты на средства контроля составят $C_{д}$=10620186 л.э.

Оценка аппаратурных затрат на построение отказоустойчивой ЭВМ на основе мажоритарного метода резервирования. При применении мажоритарного метода резервирования (без учета аппаратурных затрат схемы голосования) потребуется $C_{м}$=14160576 л.э. На организацию схемы голосования (с учетом того, что для построение одного мажоритарного элемента используется пять л.э.) потребуется $C_{м.р}$=160 л.э.

Сравнительная оценка вероятности безотказной работы резервируемой ЭВМ

При использовании предложенного авторами метода резервирования вероятность безотказной работы оценим из выражения

$$P_{д}(t)=\left\{P^2_{ЗУ}(t)P^2_{КЗУ}(t)+2\left[1-P_{ЗУ}(t)\right]P_{ЗУ}(t)P^2_{КЗУ}(t)\right\}P_{РЗУ}(t)\left\{P_{АЛУ}(t)P_{д\ АЛУ}(t)P^2_{КАЛУ}(t)+\right.$$
$$\left.+\left[1-P_{АЛУ}(t)\right]P_{ДАЛУ}(t)P^2_{КАЛУ}(t)+\left[(1-P_{ДАЛУ}(t)\right]P_{АЛУ}(t)P^2_{КАЛУ}(t)\right\}P_{РАЛУ}(t),$$

где $P_{ЗУ}(t)$ – вероятность безотказной работы ЗУ;
$P_{КЗУ}(t)$ – вероятность безотказной работы схемы контроля ЗУ (для основного канала определяется аппаратурными затратами первого и третьего кодирующих устройств, а для дублирующего канала – аппаратурными затратами второго и четвертого кодирующих устройств);
$P_{РЗУ}(t)$ – вероятность безотказной работы схему выбора исправного канала при контроле ЗУ (определяется аппаратурными затратами на построение первой и второй схем сравнения, а также аппаратурными затратами дешифратора на два входа);
$P_{АЛУ}(t)$ – вероятность безотказной работы основного канала АЛУ;
$P_{д\ АЛУ}(t)$ – вероятность безотказной работы дублирующего канала АЛУ;
$P_{КЗУ}(t)$ – вероятность безотказной работы схе-

мы контроля АЛУ (определяется аппаратурными затратами на организацию блока формирования функции переносов, блока формирования функции сдвига, блока формирования поправки, первого, пятого и шестого блоков кодирования);

$P_{АЛУ}(t)$ – вероятность безотказной работы решающего органа при контроле АЛУ (определяется аппаратурными затратами на построение первой и второй схем сравнения, а также аппаратурными затратами дешифратора на два входа).

Оценим вероятность безотказной работы резервируемой части ЭВМ, а именно ЗУ и АЛУ процессора, мажоритарным методом:

$$P_{м}(t) = \left[3P_{р}^{2}(t) - 2P_{р}^{3}(t)\right]P_{р.м}(t),$$

где $P_{р}(t)$ – вероятность безотказной работы резервируемой части ЭВМ;

$P_{р.м.}(t)$ – вероятность безотказной работы схемы голосования при применении мажоритарного метода резервирования.

Вероятность безотказной системы при отсутствии резервирования определим как

$$P_{Н}(t) = P_{р}(t) = e^{-\sum \lambda t},$$

где $\lambda(t) = 1 \cdot 10^{-12t}\ \frac{1}{час}$ – интенсивность отказа одного логического элемента.

На *рисунке 2* представлены графические зависимости вероятностей безотказной работы нерезервируемой ЭВМ (*кривая 1*), резервируемой предложенным методом ЭВМ (*кривая 2*) и ЭВМ, резервируемой на основе мажоритарного метода (*кривая 3*). Анализ представленных зависимостей позволяет сделать вывод, что авторский метод резервирования обеспечивает выигрыш в вероятности безотказной работы по сравнению с мажоритарным методом резервирования.

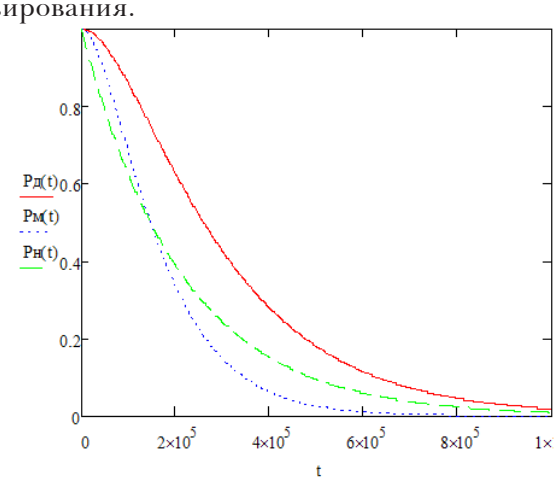


Рис. 2. Сравнительная оценка вероятностей безотказной работы: 1 – нерезервируемой ЭВМ; 2 – резервируемой ЭВМ предложенным методом; 3 – ЭВМ, резервируемой мажоритарным методом

Заключение

Современные ИИС в значительной степени характеризуется вероятностью безотказной работы ЭВМ, являющейся функциональным ядром рассматриваемых систем. Существующие методы повышения надежности ЭВМ требуют больших аппаратурных и временных затрат, что значительно снижает эффективность работы данных устройств. В результате проведенных исследований выявлены закономерности и свойства, позволяющие сформулировать правила формирования дублирующего канала на основе функциональной избыточности АЛУ процессора и использования для этих целей аппаратуры контроля, предназначенной для кодирования обрабатываемой информации на основе алгебраического линейного кода с минимальной избыточностью.

Предложенный авторами метод резервирования позволяет существенно сократить аппаратурные затраты, исключить вероятностный подход определения исправного канала и обеспечить существенный выигрыш в вероятности безотказной работы системы.

Литература

1. Гребешков А.Ю. Микропроцессорные системы и программное обеспечение в средствах связи. Самара: ПГУТИ, 2009.
2. Павлов А.А., Царьков А.Н., Павлов П.А., Корсунский Д.А., Волков В.З. Обнаружение ошибок в запоминающих устройствах информационно-измерительных систем // Измерительная техника, 2017. №10. С.12-16.
3. Царьков А.Н., Павлов А.А., Волков В.З., Корсунский Д.А. Обнаружение ошибок в арифметико-логических устройствах специализированных ЭВМ информационно-измерительных систем // Измерительная техника, 2018. №6. С.35-40.
4. Царьков А.Н., Павлов А.А., Рягин С.Н., Роберт И.В., Сорокин Д.Е., Иванов Д.Д., Кудрявцев Д.С. Анализ эффективности тестово-кодовой коррекции ошибок устройств хранения информации информационно-измерительная систем // Известия Института инженерной физики, 2015. №4(38). С.47-58.
5. Царьков А.Н., Павлов А.А., Неустроев С.С., Роберт И.В., Рягин С.Н, Сорокин Д.Е., Бурмистров А.А., Иванов Д.Д. Обнаружение ошибок устройств хранения и передачи информации // Известия Института инженерной физики, 2016. №1(№39). С. 59-66.
6. Щербаков Н.С. Достоверность работы цифровых устройств. М.: Машиностроение, 1989.
7. Hagbae Kim, Kang G. Shin. Evaluation of Fault Tolerance Latency from Real-Time Application´s Perspectives // IEEE Transactions on computers. 2000. V. 49. №1. Pp.55-64.
8. Naseer R., Draper J. Parallel Double Error Correcting Code Design to Mitigate Multi-Bit Upsets in SRAMs // Information Sciences Institute University of Southern California, IEEE Trans Device. Mater. 2008. V. 6. Pp.222-225.

УДК 519.21

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЕРЕЧНЯ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ

METHOD OF DETERMINING THE RATIONAL NUMBER OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS IN THE FORMATION OF THE LIST OF PEER-REVIEWED SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Юлия Владимировна Аляева
кандидат технических наук
заместитель начальника отдела
ФГБНУ «Госметодцентр»
доцент
НИУ «Московский энергетический институт»
Адрес: 115093, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.:+7(499)706-81-25
E-mail: julaliaev@gmail.com

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

Аннотация
Рассматриваются методы нормирования и построения интегральных показателей. Предлагается метод определения рационального количества научных изданий при формировании Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.
Ключевые слова: рецензируемые научные издания, перечень, научные специальности, оценка, рейтингование, метод.

Summary
Methods of rationing and construction of integral indicators are considered. The article proposes the method of determining the rational number of scientific publications in the formation the List of Peer-reviewed Scientific Publications, in which the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of Sciences and for the degree of Doctor of Science should be published.
Keywords: Peer-reviewed Scientific Publications, list, scientific specialties, assessment, rating, method.

Определение рационального количества научных изданий при формировании Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень) предполагает решение следующих задач:

1. Определение достаточности журналов, входящих в Перечень по отдельным научным специальностям.

2. Выбор показателей и построение рейтинга журналов.

Подход к решению задачи определения достаточности журналов, входящих в Перечень, изложен в работе [1] и заключается в расчете показателя избыточности DZ_i для каждой научной специальности i, равного отношению количества научных изданий, входящих в Перечень (Km_i) по i-м специальностям с соответствующей отраслью наук, к количеству защит по этим НС с соответствующей отраслью наук (Kz_i), и определении множества специальностей $\{S_k\}$, у которых

$$DZ_k > D_{гран},$$

где $D_{гран}$ – установленное граничное значение. Для каждой отдельной k-ой специальности рассчитывается количество журналов K_k, из которых следует удалить рассматриваемую специальность k, добившись

$$DZ_k = D_{гран}.$$

Исключение избыточных журналов предлагается проводить по результатам их рейтингования. Ключевым в этом вопросе является выбор показателей для построения рейтинга журналов.

Проведенный анализ возможных для использования показателей показывает, что все они сводятся к набору следующих показателей [2-6]: импакт-фактор, число цитирований, импакт-фактор по ядру РИНЦ, индекс Хирша, индекс Херфиндаля, рейтинг Science Index и ряд других. Конечно, можно в качестве показателя выбрать один из этих, но мы понимаем, что результат, мягко говоря, может быть не совсем корректным. Но лучше использовать интегральные показатели, для чего необходимо решить задачу выбора показателей для построения интегрального показателя. Выбор можно осуществить как известными экспертными методами, в том числе с помощью более тонкого механизма теории нечетких множеств [7], так и различными аналитическими методами, на которых мы остановимся более подробно.

Отметим, что при использовании интегральных показателей, прежде всего, независимо от способа их построения, необходимо будет провести нормирование частных показателей. Чаще для нормирования используются следующие методы *(таблица 1)* [8]:

- нормирование по среднему;
- линейное масштабирование (метод максимум-минимум, макси-минный);
- нормирование показателей по максимальному;
- нормирование показателей по минимальному.

Для всех формул в *таблице 1* индексы имеют одинаковый смысл и лежат в диапазонах:

$i=1,\ldots,n$, где n – количество показателей.

$j=1,\ldots,m$, где m – количество объектов анализа.

Заметим, что для решения нашей задачи нормировать показатели по минимальному показателю нельзя, т.к. среди исходных показателей встречаются нулевые и возникнет деление на ноль, что является недопустимым. И надо обращать внимание на направленность показателей. Ввиду того, что многие методы расчета интегральных показателей применимы только для однонаправленных относительных показателей, то вначале обязательно следует провести анализ показателей и выявить противоположно направленные показатели.

Однонаправленность показателей предполагает, что увеличение (уменьшение) значения любого частного показателя расценивается как улучшение места объекта по данному показателю, а уменьшение (увеличение) значения частного показателя – как ухудшение места объекта.

Если улучшение деятельности связано с увеличением одних частных показателей и уменьшением других, то показатели называются разнонаправленными.

Однонаправленность частных показателей предполагает ранжирование объектов по возрастанию (убыванию) значений интегрального показателя (I_j). В случае, когда улучшение места объекта характеризуется ростом частных показателей, ранжирование проводится по возрастанию I_j и наоборот.

Проведя нормировку частных показателей, необходимо выбрать способ построения интегрального показателя. Наиболее часто применяемые для этого методы [8] приведены в *таблице 2*.

Отметим, что при использовании метода расстояний необходимо выбрать эталонное значение показателя. В данном случае необходимо помнить, что лучшим может быть как максимальное, так и минимальное значение показателя. Это зависит от смысла анализируемого

Таблица 1

Способы нормирования исходных показателей

Наименование способа	Формула
Нормирование показателей по среднему	$x_{ij}^{норм} = \frac{x_{ij}}{x_{i\,ср}}$ Для показателей противоположной направленности: $x_{ij}^{норм} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_{i\,ср}}$ x_{ij} – исходное значение показателя i для объекта j x_{icp} – среднее значение по показателю i для всех объектов j
Линейное масштабирование	$x_{ij}^{норм} = \frac{x_{ij} - x_{i\,\min}}{x_{i\,\max} - x_{i\,\min}}$ или $x_{ij}^{норм} = \frac{x_{i\,\max} - x_{ij}}{x_{i\,\max} - x_{i\,\min}}$ Для показателей противоположной направленности: $x_{ij}^{норм} = 1 - \left(\frac{x_{ij} - x_{i\,\min}}{x_{i\,\max} - x_{i\,\min}}\right)$ или $x_{ij}^{норм} = 1 - \left(\frac{x_{i\,\max} - x_{ij}}{x_{i\,\max} - x_{i\,\min}}\right)$ x_{ij} – исходное значение показателя i для объекта j x_{imax} – максимальное значение показателя i среди всех объектов j x_{imin} – минимальное значение показателя i среди всех объектов j
Нормирование показателей по максимальному	$x_{ij}^{норм} = \frac{x_{ij}}{x_{i\,\max}}$ Для показателей противоположной направленности: $x_{ij}^{норм} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_{i\,\max}}$ x_{ij} – исходное значение показателя i для объекта j x_{imax} - максимальное значение по показателю i для всех объектов j

показателя. Использование интегрального показателя методом, где есть умножение (метод геометрической средней, произведение средневзвешенных геометрических групповых показателей) – не подойдет, т.к. показатели могут быть нулевыми, что повлечет за собой умножение на ноль и в результате значение интегрального показателя для такого объекта будет равно нулю.

При выставлении рейтинга следует также определить способ упорядочения:

- по возрастанию: «1» – самый лучший, «*n*» – самый худший;
- по убыванию: «*n*» – самый лучший, «1» – самый худший.

Таблица 2

Способы получения интегрального рейтинга

Наименование способа	Формула
Линейное преобразование	$I_j = \sum_{i=1}^{n} K_i \times x_{ij}^{норм}$ I_j – значение интегрального показателя для *j*-го объекта K_i – коэффициент важности для *i*-го показателя $x_{ij}^{норм}$ - нормированное значение показателя *i* для объекта *j*
Метод расстояний (эталон – максимум)	$I_j = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^{n} K_i \times \left(x_{i\ эталон} - x_{ij}^{норм}\right)^2}$ I_j – значение интегрального показателя для *j*-го объекта X_i эталон – эталонное значение показателя *i*, $x_{i\ эталон} = \max_{j=1,\ldots,m} \left(x_{ij}^{норм}\right)$ K_i – коэффициент важности для *i*-го показателя $x_{ij}^{норм}$ - нормированное значение показателя *i* для объекта *j* Наивысшую оценку получает объект, наименее удаленный от эталона
Метод геометрической средней	$I_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} \left(K_i \times x_{ij}^{норм}\right)}$ I_j – значение интегрального показателя для *j*-го объекта K_i – коэффициент важности для *i*-го показателя $x_{ij}^{норм}$ - нормированное значение показателя *i* для объекта *j*
Произведение средневзвешенных геометрических групповых показателей	$I_j = \prod_{i=1}^{n} \left(K_i \times x_{ij}^{норм}\right)$ I_j – значение интегрального показателя для *j*-го объекта K_i – коэффициент важности для *i*-го показателя $x_{ij}^{норм}$ - нормированное значение показателя *i* для объекта *j*

Способ упорядочения может зависеть от направленности показателей и логики расчета интегрального показателя. Например, все показатели имеют направленность «чем больше, тем лучше». Тогда рейтинговый показатель у лучшего объекта при использовании метода линейных сумм будет максимальным, а упорядочение рангов пойдет по возрастанию: для максимального значения интегрального показателя ранг будет «1» – самый лучший.

Апробацию предлагаемого метода проведём на примере с 20-тью ранжируемыми журналами ($m=20$) по одной научной специальности. Для вычисления интегрального показателя будем использовать 9 показателей ($n=9$), приведенных в *таблице 3*.

Из данных *таблицы 3* видно, что два показателя (№№ 1 и 8) имеют противоположную направленность, это надо учесть при нормировании.

Для нормирования показателей выбрано:

- нормирование по среднему,
- нормирование максимум-минимум, рассмотрено 2 случая:
  - учет минимального значения,
  - учет максимального значения.

Для расчета интегрального рейтинга использованы методы:

- линейное суммирование,
- расчет расстояний.

При расчете интегрального показателя методом расстояний за эталонное значение для каждого показателя взято его максимальное значение для набора объектов. Для расчета ранга использован вариант, при котором если несколько значений имеют одинаковый ранг, возвращается сред-

Таблица 3

Показатели для расчета интегрального рейтинга

№	Наименование показателя	Направленность
1	Место в общем рейтинге SCIENCE INDEX за 2017 год	Чем *меньше*, тем лучше
2	Двухлетний импакт-фактор РИНЦ	Чем *больше*, тем лучше
3	Двухлетний импакт-фактор по ядру РИНЦ	Чем *больше*, тем лучше
4	Число цитирований статей предыдущих двух лет	Чем *больше*, тем лучше
5	Пятилетний импакт-фактор РИНЦ	Чем *больше*, тем лучше
6	Пятилетний импакт-фактор по ядру РИНЦ	Чем *больше*, тем лучше
7	Число цитирований статей предыдущих 5 лет	Чем *больше*, тем лучше
8	Пятилетний индекс Херфиндаля по цитирующим журнала	Чем *меньше*, тем лучше
9	Десятилетний индекс Хирша	Чем *больше*, тем лучше

нее, способ упорядочения – по возрастанию. Учет важности показателей не проводился, предположили, что все показатели одинаково значимы.

Результаты расчета интегрального показателя по каждому из указанных выше вариантов и определения соответствующего рейтинга представлены в *таблице 4*. Анализ полученных результатов построения рейтинга показывает, что использование метода линейного суммирования с нормированием показателей по среднему (столбец 3) дает сопоставимый результат с построением рейтинга другими методами, но является самым простым в применении.

Дополнительно проведено построение рейтинга для рассматриваемых журналов при использовании одного показателя №2 – «Двухлетний импакт-фактор РИНЦ», трех показателей – №№1,2,4 и пяти – №№1,2,4,8,9 (см. *таблицу 3*) с использованием только метода линейной суммы с нормированием показателей по среднему. Результаты представлены в *таблице 5*.

Для принятия решения о количестве журналов, у которых предлагается исключить рассматриваемую научную специальность, решается задача определения достаточности журналов, входящих в Перечень по отдельным научным специальностям [1]. Предположим, в результате решения этой задачи количество журналов K_k, из которых следует удалить рассматриваемую специальность, равно 4. Используя интегральный показатель по 9-ти показателям, таковыми журналами будут с номерами по порядку: 11, 13, 4, 18.

Таким образом, метод определения рационального количества научных изданий при формировании Перечня рецензируемых научных изданий включает следующие основные операции:

1. Проведение нормирования значений показателей с учетом их направленности:

$$x_{ij}^{норм} = \frac{x_{ij}}{x_{i\,ср}} -$$

направленность показателя «чем больше, тем лучше»;

Таблица 4

Результаты рейтингования при использовании разных вариантов нормирования и с учетом набора из 9 показателей

№ п.п.	Результат построения рейтинга						
	Нормирование по среднему		Нормирование макс-мин ($x_{i\,max} - x_{ij}$)		Нормирование макс-мин ($x_{ij} - x_{i\,min}$)		**2-летний импакт-фактор РИНЦ**
	линейная сумма	**метод расстояний**	**линейная сумма**	**метод расстояний**	**линейная сумма**	**метод расстояний**	
1	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
1	3	3	19	19	2	2	4
2	9	5	12	11	9	7	14
3	14	15	7	5	14	14	18
4	18	20	4	6	17	20	19
5	2	2	18	18	3	3	7
6	7	8	16	15	5	6	2
7	13	13	8	7	13	13	15
8	10	11	11	12	10	10	9
9	15	14	5	4	16	16	17
10	4	7	17	16	4	5	6
11	20	18	1	1	20	19	12
12	8	9	13	13	8	8	1
13	19	19	2	2	19	18	12
14	1	1	20	20	1	1	4
15	11	10	10	10	11	11	10
16	6	4	15	14	6	4	8
17	5	6	14	17	7	9	16
18	17	16	3	3	18	15	13
19	12	12	9	9	12	12	5
20	16	17	6	8	15	17	20

Таблица 5

Рейтингование с разным набором показателей

№ п.п.	Двухлетний импакт-фактор РИНЦ	Интегральный показатель		
		по 3 показателям	по 5 показателям	по 9 показателям
1	4	5	4	3
2	14	10	8	9
3	18	19	16	14
4	19	14	15	18
5	7	1	1	2
6	2	6	6	7
7	15	12	10	13
8	9	11	11	10
9	17	20	20	15
10	6	9	9	4
11	12	18	18	20
12	1	4	5	8
13	12	17	19	19
14	4	3	3	1
15	10	15	13	11
16	8	7	7	6
17	16	2	2	5
18	13	16	17	17
19	5	8	12	12
20	20	13	14	16

$$x_{ij}^{норм} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_{i\,ср}} -$$

противоположная направленность,

где x_{ij} – исходное значение показателя i для объекта k;

$x_{i\,ср}$ – среднее значение по показателю i для всех объектов k.

2. Расчет интегрального показателя I_j для каждого журнала

$$I_j = \sum_{i=1}^{n} K_i \times x_{ij}^{норм},$$

где I_j – значение интегрального показателя для j-го объекта ;

K_i – коэффициент важности для i-го показателя;

$x_{ij}^{норм}$ – нормированное значение показателя i для объекта j.

3. Формирование рейтинга журналов в соответствии с рассчитанным значением интегрального показателя.

4. Определение K_k журналов с наименьшим рейтингом.

5. Исключение в K_k журналах рассматриваемой специальности k.

Литература

1. Емелин Н.М., Аляева Ю.В. Алгоритм оценки достаточности журналов, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий // Известия Института инженерной физики, 2019. №4(54). С.98-100.

2. Емелин Н.М. Информационное обеспечение мониторинга рецензируемых научных изданий // Известия Института инженерной физики, 2016. №1(39). С.75-78.

3. Еременко Г.О., Назаренко А.Я. Как проводилась оценка и отбор российских научных журналов в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI) на Web of Science. // https:www.hse.ru/science/news/198490943.html. 2016.

4. Кириллова О.В., Диментов А.В. Индекс цитирования Scopus: критерии отбора журналов и перспективы включения российской экономической периодики // Вестник Финансового университета, 2013. №4(76). С.90-107.

5. Кириллова О.В., Кузнецов А.Ю., Диментов А.В., Лебедев В.В., Шварцман М.Е. Категории и критерии оценки российских журналов и программы их развития // Научная периодика: проблемы и решения. 2014. №5(23). С.20-34.

6. Котляров И.Д. Показатели качества научного журнала // Журнал теоретических и прикладных исследований, 2010. №8(76).

7. Тараброва И.Н. Нечеткая модель обоснования перечня показателей качества инновационной деятельности ученого // Транспортное дело России. 2014. №5. С.134-137.

8. 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 (дата обращения 01.10.2019 г.).

УДК 519.6

РАЗВИТИЕ НАВЫКОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

DEVELOPMENT OF SKILLS OF USERS CRYPTOGRAPHIC PROTECTION FRAMES OF THE INFORMATION IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Александр Ильич Куприянов
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: 8 (499) 158 49 33
E-mail aik125167@mail.ru

Аннотация
Рассматривается комплекс программ для интерактивного изучения методов криптографической защиты информации в информационно-телекоммуникационных системах.
Ключевые слова: аутентификация сообщений, криптозащита, помехоустойчивое кодирование, стеганография.

Summary
The complex of programs for interactive studying of methods of protection of the information in information-telecommunication systems is considered
Keywords: authentic messages, criptography, noiseproof coding, sieganography.

Современное общество зависит от правильного, надежного и безопасного функционирования информационных систем вообще и информационно-телекоммуникационных систем в частности. Поэтому к информационным системам предъявляются серьезные требования обеспечения достоверности, целостности, доступности и конфиденциальности сообщений, циркулирующих в каналах информационного обмена и взаимодействия. Не менее важные требования в области владения приемами безопасного обращения с информационными ресурсами предъявляются и к компетенциям разработчиков и пользователей информационно-телекоммуникационных систем. Формирование профессиональных компетенций предусматривает активное освоение специалистами разных профилей методов и средств обеспечения информационной безопасности. По крайней, меньшей, мере – на уровне квалифицированного пользователя. Для решения этой методической задачи в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) освоен комплекс обучающих программ [1]. Программы работают под оболочкой Windows и предоставляют пользователю (обучающемуся) простой и удобный интерфейс. На *рисунке 1* для иллюстрации представлен скриншот экрана одной из обучающих программ, предназначенной для практического освоения криптоалгоритма одноключевой криптосистемы, функционирующей в соответствии с российским государственным стандартом ГОСТ 28147-89.

В представленной работе рассматриваются и обсуждаются методы обеспечения защищенности информации, передаваемой по каналам связи и обрабатываемой в компьютерных системах. Прежде всего – защищенности информации от негативных и деструктивных воздействий. А также интерактивные методы изучения и освоения принципов безопасного общения с информационными ресурсами квалифицированных пользователей информационно-телекоммуникационных и вычислительных систем и сетей.

Комплекс интерактивных обучающих программ терминологически и методически объединяет следующие направления [1]:

1. Изучение основ эффективного кодирова-

ния, предусматривающего применение процедур сжатия информации и оценивания потенциальных характеристик устранения информационной избыточности сообщений в цифровых информационных системах и сетях.

2. Изучение и практическое освоение методов помехоустойчивого кодирования, направленных на парирование искажений, вызванных естественными факторами воздействий на цифровые сообщения. Прежде всего, и в основном – методов, направленных на уменьшение вероятностей шумовых ошибок.

3. Изучение и исследование принципов функционирования одноключевых криптографических систем – криптоалгоритмов и криптопротоколов. Кроме исторического экскурса развития и совершенствования криптографических процедур, обучающие программы знакомят с криптоалгоритмом, основанным на использовании сети Фейстеля, в соответствии с которой построен российский государственный стандарт ГОСТ 28147-89.

4. Обучающий интерактивный комплекс предусматривает рассмотрение методов построения и функционирования криптосистем с открытым ключом (точнее – двухключевых криптосистем). В системах с открытым ключом используются два ключа – открытый и закрытый, которые функционально связаны друг с другом несимметричным функциональным преобразованием. Таким, что прямое преобразование при шифрации выполняется сравнительно просто, а обратное (при расшифровке без специального потайного входа) оказывается вычислительно неосуществимым. Информация шифруется с помощью открытого ключа, который доступен всем пользователям криптосистемы, а расшифровывается с помощью закрытого ключа, известного только получателю сообщения. В этой связи рассматривается алгоритм криптографической системы RSA (Райвеста-Шамира-Адлемана, алгоритм Эль Гамаля криптографической системы на основе вычисления дискретных логарифмов в конечном поле, а также сравнительно новый алгоритм функционирования криптографической системы на основе дискретного логарифмирования в метрике эллиптических кривых.

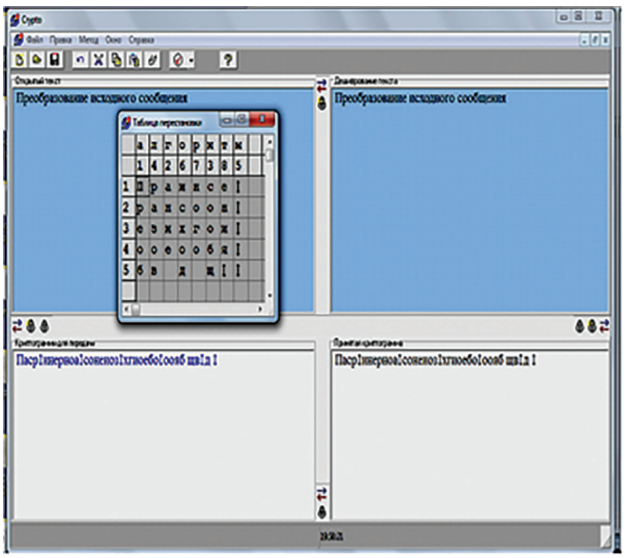


Рис. 1. Экран интерфейса программы интерактивного изучения методов функционирования криптосистемы с секретным ключом

5. Одноключевые и двухключевые системы обладают как достоинствами, так и специфическими недостатками. Особенно серьезно эти недостатки проявляются в многопользовательских сетях, ориентированных на применение криптографических процедур. Для таких сетей эффективно комплексирование одно- и двухключевых алгоритмов. Применение таких подходов также иллюстрируется представленными [1] интерактивными обучающими системами.

6. Важная область применение криптоподобных алгоритмов преобразования информации – аутентификация сообщений во всех ее особенностях. Разработанная интерактивная обучающая система рассматривает методы аутентификации (электронной цифровой подписи) на основе алгоритма дискретного логарифмирования ГОСТ Р34.10-94 и преобразований на множество точек эллиптической кривой ГОСТ Р34.10-2001. В связи с изучением процедур аутентификации обучающая система предусматривает знакомство с процедурой хэширования, которая реализуется в соответствии с требованиями ГОСТ Р34.11-94, основанном на блоковом шифре в соответствии со стандартом шифрования ГОСТ 28147-89.

7. Важное направление сетевых компьютерных технологий – использование методов стеганографии, которая, в отличие от криптографии, предусматривает скрытие самого факта передачи защищаемого сообщения. При использовании стенографических методов защиты информации скрытый канал передачи информации организуется внутри открытого, по которому передаются самые разные сообщения. Чаще всего скрываемые сообщения встраиваются в файлы, передающие изображения, видео- или аудио- информацию. Разумеется, применение для защиты информации стеганографических методов не исключает криптографической защиты сообщений. Таким образом, стенографические приемы защиты дополняют методы криптографии. Рассматриваемая интерактивная система предлагает для изучения методы стеганографи-

ческого скрытия сообщений в оцифрованных компьютерных изображениях.

8. Сетевые компьютерные технологии широко используются методы и средства идентификации и аутентификации объектов информационной инфраструктуры. При входе пользователя в систему идентификации и аутентификации проверяется наличие информации о нем в базе системы и реализуется процедура проверки подлинности входящего в систему объекта (пользователя, процесса или устройства), предъявившего свой идентификатор. В результате процесса аутентификации признается достоверность полномочий пользователя, процесса или устройства или же признается факт их фальсификации.

Идентификация и аутентификации составляют сущность процессов распознавания и подтверждения подлинности объектов и субъектов информационной инфраструктуры в компьютерных технологиях. В результате выполнения этих операций делается вывод о допуске или запрете допуска к ресурсам системы пользователя, процесса или устройства информационного взаимодействия.

Разработанная интерактивная обучающая система ориентирована на изучение основ технологических процессов установления доверительных взаимодействий при использовании компьютерных технологий.

Перечисленные задачи объединены под одной обложкой в книге «Защита информации в телекоммуникационных системах» [1], выпущенной издательством «Вузовская книга» в 2017 году. Книга, кроме обычного материала учебного пособия, содержит диск с интерактивными обучающими программами. Программы снабжены удобным пользовательским интерфейсом. Прошли апробацию в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) в составе лабораторного практикума дисциплин изучения принципов комплексной защиты информации и обеспечения информационной безопасности.

Литература

1. Куприянов А.И., Макаров В.Ф. Защита информации в телекоммуникационных системах. М.: Вузовская книга, 2017. 158 с.: ил.

УДК 355; 359

СОЗДАНИЕ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДЕЛА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ВООРУЖЕНИЯ

CREATION OF A LEADING SCIENTIFIC AND TECHNICAL RESERVE FOR ADVANCED WEAPONS

Евгений Захарович Тужиков
кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник
Секция по оборонным проблемам
Министерства обороны
при Президиуме Российской академии наук
Тел.: 8 (499) 135-02-34

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

Игорь Леонидович Борисенков
кандидат технических наук
председатель
Секция по оборонным проблемам
Министерства обороны
при Президиуме Российской академии наук
Тел.: 8 (499) 135-05-40

Андрей Евгеньевич Салько
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

Юрий Викторович Помазан
доктор технических наук
главный научный сотрудник
Секция по оборонным проблемам
Министерства обороны
при Президиуме Российской академии наук
Тел.: 8 (499) 135-23-60

Аннотация

В статье рассмотрены проблемные вопросы создания научно-технического задела для разработки перспективного, в том числе нетрадиционного, вооружения. Отмечается, что результаты фундаментальных, прогнозных и поисковых научных исследований в области обороны и безопасности являются важнейшей начальной стадией создания ВВСТ и играют большую роль при формировании опережающего научно-технического задела. Показана роль Секции по оборонным проблемам Министерства обороны (при Президиуме Российской академии наук) в системе его планирования и реализации. Определены пути повышения эффективности работ по созданию научно-технического задела за счет максимального использования прорывных достижений отечественной науки и координации проводимых в стране фундаментальных, поисковых и прикладных исследований.

Ключевые слова: научно-технический задел; фундаментальные, прогнозные, поисковые и прикладные исследования; приоритетные направления исследования; система планирования, реализации и координации; перспективное вооружение.

Summary

The article deals with the problematic issues of the creation of scientific and technical reserve for the development of promising, including non-traditional weapons. It is noted that the results of fundamental, predictive and exploratory research in the field of defense and security are the most important initial stage of the creation of the vvst and play an important role in the formation of advanced scientific and technical reserve. The role of the Section on defense problems of the Ministry of defense (at the Presidium of the Russian Academy of Sciences) in the system of its planning and implementation is shown. The ways of increasing the efficiency of work on the creation of scientific and technical reserve due to the maximum use of breakthrough achievements of domestic science and coordination of fundamental, exploratory and applied research carried out in the country are determined .

Keywords: scientific and technical reserve; fundamental, predictive, exploratory and applied research; priority areas of research; the system of planning, implementation and coordination; advanced weapons.

Востребованность науки в современном мире постоянно растет. Небывалыми темпами расширяются рынки наукоемкой продукции. На долю новых знаний, воплощенных в технологиях, оборудовании и продукции, в развитых странах приходится до 85% прироста валового внутреннего продукта. Одновременно научные знания и передовые технологии становятся главной ареной конкуренции, а научно-техническая сфера – важнейшим фактором геополитики. Благодаря глобализации науки, технологий, промышленности возникают новые страны-лидеры. Только страны с мобильным, динамично развивающимся научно-технологическим комплексом могут сохранить свои позиции в этой глобальной гонке. Поэтому современный этап развития ведущих мировых держав, в том числе России, характеризуется ориентацией на использование новых научных знаний и наукоемких технологий при решении широкого спектра задач, связанных с обеспечением обороны и безопасности государства.

Учитывая, что победы в войнах и вооруженных конфликтах будут сопутствовать государствам, быстрее других осваивающим и внедряющим при создании и модернизации вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) новейшие технологии, аккумулирующие в себе новые научные знания, полученные в ходе фундаментальных и поисковых исследований, их проведение и скорейшее внедрение их результатов приобретают первостепенную важность.

Развитие перспективного облика системы вооружения ВС РФ в значительной степени ориентировано на создание качественно новых, в том числе нетрадиционных, видов оружия, разработка которых во многом определяется наличием целостного научно-технического задела (НТЗ), обеспечивающего улучшение качественных и эксплуатационных характеристик ВВСТ и являющегося важнейшим фактором инновационного развития предприятий и организаций оборонно-промышленного комплекса, обеспечения конкурентоспособности продукции и технологического суверенитета страны.

Под НТЗ [1,2] для создания перспективного, в том числе нетрадиционного, вооружения понимается совокупность результатов фундаментальных, поисковых, прикладных исследований и технологических разработок, которые необходимо получить к моменту перехода к стадии опытно-конструкторских работ.

Необходимость создания НТЗ для модернизации существующего и разработки перспективного, в том числе нетрадиционного, вооружения заключается в том, что многие образцы ВВСТ достигли предельных значений тактико-технических характеристик в рамках используемых схемных и технических решений. Незначительное повышение отдельных показателей эффективности вооружения требует существенных материальных затрат, которые, как правило, не оправдываются получаемым военно-техническим эффектом.

Опора только на существующий НТЗ, который практически исчерпал свои потенциальные возможности, приведет к значительному снижению качества, увеличению временного цикла создания вооружения и удорожанию продукции военного назначения. Для обеспечения безопасности государства необходимо проведение взаимоувязанного комплекса мероприятий по созданию НТЗ, ориентированного на наиболее прорывные направления развития науки, технологий и техники. Создание систем вооружения новых поколений, а также новых видов оружия требует существенного наращивания НТЗ по всем приоритетным направлениям развития науки и техники.

Основными элементами НТЗ являются научный, научно-технологический и производственно-технологический заделы. Элементы НТЗ могут быть представлены в следующих формах:

- новых научных знаний о явлениях, физико-химических эффектах, законах и закономерностях, имеющих оборонное значение;
- опытных, экспериментальных и макетных образцов принципиально нового и нетрадиционного вооружения;
- составных частей, модулей и блоков образцов ВВСТ, разработанных на основе принципиально новых материалов и веществ, электронной компонентной базы;
- лабораторного и испытательного оборудования;
- концептуальных, нормативно-технических и научно-методических документов.

Определяющее значение для решения задачи создания НТЗ имеет уровень развития оборонных фундаментальных и поисковых исследований в стране.

Поэтому фундаментальные и поисковые научные исследования рассматриваются военно-политическим руководством ведущих западных стран в качестве основы для развития новых видов оружия, гарантирующих военное превосходство и обороноспособность государства в целом. Наиболее масштабные оборонные научные исследования фундаментального характера выполняются в США. При этом выбор приоритетных областей фундаментальных исследований является одной из важных задач военного ведомства [3,4].

Основными чертами системы оборонных фундаментальных исследований США являются разнообразие форм их проведения и финансирования, всесторонний учет исторически сложившихся различий в подходах заказчиков к их организации и проведению, адаптивность в планировании и финансировании в рамках программ фундаментальных исследований как крупных, так и сравнительно небольших проектов работ.

Американские военные специалисты высоко оценивают роль фундаментальных исследований в решении задач опережающего развития системы вооружения. Поэтому не случайно, что в Министерстве обороны США существует хорошо отлаженная система их устойчивого и сбалансированного финансирования. За последние пять лет ежегодная доля расходов на проведение фундаментальных исследований в общем объеме средств на НИОКР выросла с 2,0% до 3,6 %.

В советский период НТЗ создавался, в основном, в рамках пятилетних планов фундаментальных и поисковых научных исследований в интересах обороны страны, порядок их разработки и выполнения утверждался решением Государственной комиссии Совета Министров СССР по военно-промышленным вопросам (ВПК). Заказчиками научно-исследовательских работ, включенных в план, являлись Министерство обороны СССР, министерства оборонных отраслей промышленности, а также другие министерства (ведомства), связанные с обороной и обеспечением безопасности страны.

В настоящее время создание НТЗ для перспективного, в том числе нетрадиционного, вооружения осуществляется на основе методов программно-целевого планирования и реализуется в рамках государственной программы вооружения [5,6] в соответствии с порядком, предусмотренным Концепцией создания научно-технического задела для перспективного вооружения и военной техники, утвержденной министром обороны РФ.

Нормативная база создания НТЗ в рамках формирования проекта государственной программы вооружения (ГПВ) представлена на *рисунке 1*.

Главной целью создания НТЗ для перспективного, в том числе нетрадиционного вооружения, является заблаговременное решение наиболее сложных научно-технологических проблем, предварительной отработки и обеспечения единства концептуальных, архитектурных, схемных и технических решений, снижение

Рис. 1. Нормативная база создания научно-технического задела в рамках формирования проекта государственной программы вооружения

уровня неопределенности и подтверждение реализуемости принципиально новых научно-технологических решений.

Необходимо отметить, что результаты фундаментальных, прогнозных и поисковых научных исследований в области обороны и безопасности (ФППИ) являются начальной стадией создания ВВСТ. Ввиду того, что стоимость работ на каждой последующей стадии жизненного цикла ВВСТ возрастает примерно на порядок, накопление научно-технических результатов на ранних стадиях развития ВВСТ всегда предпочтительнее, чем на более поздних. Обусловлено это тем, что, с одной стороны, отказ от реализации менее эффективных результатов на ранних стадиях менее затратен, а с другой – результаты ранних стадий развития имеют более высокий потенциал широкого (универсального) использования, чем научно-технические решения, полученные на последующих стадиях жизненного цикла.

Кроме того, НТЗ, созданный при выполнении ФППИ, активно используется не только при создании новых образцов ВВСТ, но и в ходе выполнения работ по их модернизации.

Создание перспективных образцов ВВСТ осуществляется в соответствии с полным инновационным циклом (*рисунок 2*), который отражает идеологию создания и развития ВВСТ и предполагает необходимость последовательной реализации целого комплекса работ [7]:

- прогнозных научно-исследовательских работ, направленных на оценку возможностей использования новейших достижений науки и техники в интересах создания НТЗ для обеспечения разработки перспективного ВВСТ [8];
- системных проектов по определению облика межвидовых и надвидовых систем вооружения, в рамках которых должны формироваться структура и требования к основным комплексам и образцам ВВСТ;
- научно-исследовательских работ по определению облика комплексов и образцов ВВСТ, в рамках которых должны быть определены требования к развитию базовых военных технологий и электронной компонентной базы;
- фундаментальных, поисковых и прикладных исследований по разработке технологий и материалов, выполняемых в рамках комплексных целевых программ, в ходе которых должен быть создан научно-технический задел для перспективного вооружения;
- опытно-конструкторских работ по созданию перспективных ВВСТ на основе созданного научно-технического задела и требований к облику, сформированному в процессе вышеперечисленных исследований.

При реализации данной схемы обеспечивается взаимная увязка по срокам и содержанию системных проектов развития межвидовых и видовых систем вооружения, работ по формированию облика образцов ВВСТ, а также исследований и разработок инновационного характера.

В настоящее время в Минобороны России создана и достаточно успешно функционирует целостная система планирования, проведения и реализации НТЗ, включая нормативную право-

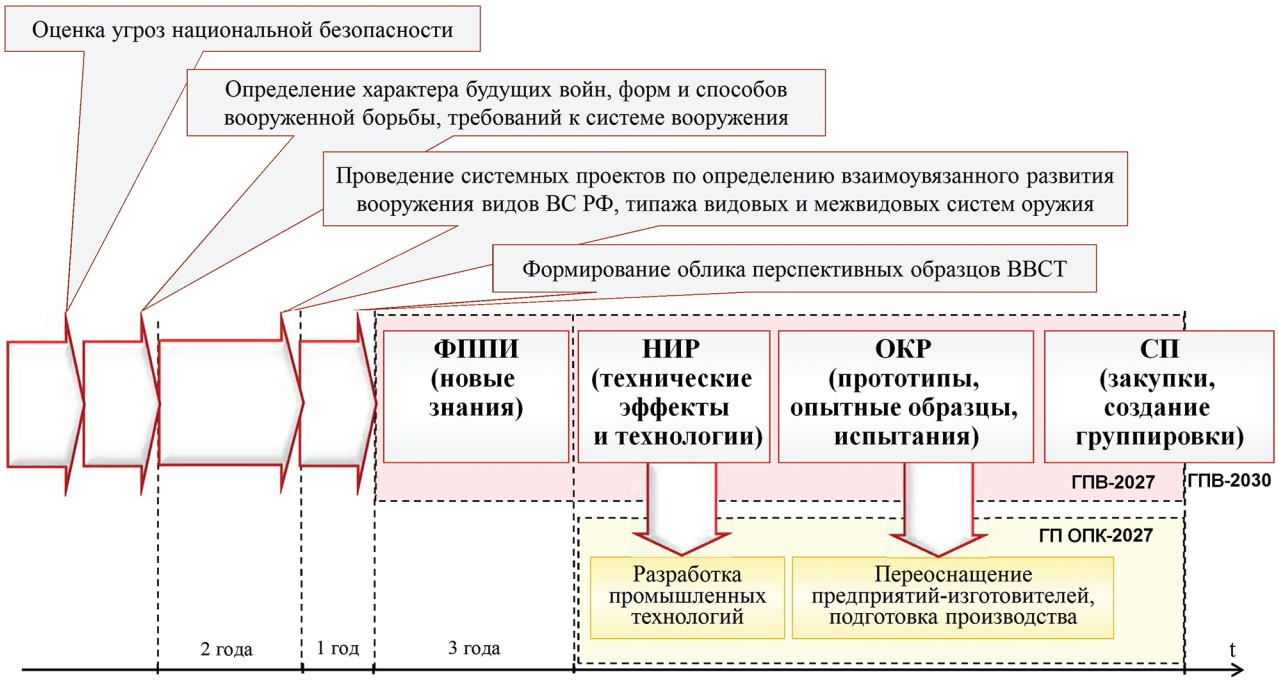


Рис. 2. Инновационный цикл создания и развития ВВСТ

вую, научно-методическую и информационно-аналитическую составляющую этого процесса. Планирование ФППИ в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства осуществляется Минобороны России, заказчиком-координатором указанных работ в рамках раздела 10.А ГПВ выступает Секция по оборонным проблемам Министерства обороны (при Президиуме Российской академии наук) (далее - Секция).

Раздел ГПВ, посвященный ФППИ, охватывает все научно-технические направления, связанные с созданием перспективных ВВСТ, а также направление исследований проблем технического, экономического и кадрового обеспечения военного строительства.

Секция, которая в феврале 2021 года отметит свой 70-летний юбилей (*рисунок 3*), была образована в 1951 году постановлением Совета Министров СССР, подписанным председателем

ПРИКАЗ ЗАМЕСТИТЕЛЯ МИНИСТРА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ОТ 22 ИЮЛЯ 2014 ГОДА № 579
«ОБ УЧРЕЖДЕНИИ МАЛОЙ ЭМБЛЕМЫ СЕКЦИИ ПО ОБОРОННЫМ ПРОБЛЕМАМ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ (ПРИ ПРЕЗИДИУМЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК)

Большая эмблема (герб) Секции символизирует особенности её функционального предназначения и специфику выполняемых задач: серебряное изображение пылающей гренады, крыльев и якоря на факеле и диагонально перекрещенных пере и свитке в красном геральдическом щите, обрамленном серебряным дубовым венком овальной формы с эмблемой Министерства обороны Российской Федерации в верхней части венка.

Рис.3. Внешний вид большой эмблемы Секции по оборонным проблемам Министерства обороны (при Президиуме Российской академии наук)

Минобороны России (Секция по оборонным проблемам Министерства обороны (при Президиуме Российской академии наук))	Фонд перспективных исследований	Минпромторг России	Минобрнауки России
- низкая степень риска; - военная направленность; - ближне- и среднесрочная перспектива реализации; - научно-организационное обеспе-чение создания научного задела; - реализация научного потенциала учреждений РАН и Высшей школы.	- высокая степень риска; - долгорочная перспектива реализации; - разработка инновационных технологий военного, специального и двойного назначения.	- производственная направленность; - научное обеспечение разработки прорывных промышленных и производственных технологий; - реализация потенциала учреждений РАН и Высшей школы; - решение проблем импортозамещения.	- исследования по ключевым областям науки, включая материаловедение, химию, информатику, физику, медицину и др.; - гражданская направленность; - возможность двойного применения; - долгосрочная перспектива реализации.

Основные задачи создания научно-технического задела в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства в части Секции по оборонным проблемам Министерства обороны (при Президиуме РАН):

- широкомасштабный мониторинг отечественных научных достижений с целью их использования в ходе разработки перспективного, в том числе нетрадиционного вооружения, поиска новых форм и способов вооруженной борьбы;
- обоснование и реализация приоритетных направлений фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства;
- поиск и оценка новейших научных достижений и прорывных направлений развития военных технологий;
- разработка новых принципов, идей, концепций создания ВВСТ и технологий;
- разработка долгосрочных прогнозов развития отечественной науки в интересах парирования угроз Российской Федерации в военно-технической сфере, а также выполнение оперативных целевых прогнозов по важнейшим военным научно-техническим проблемам.

Рис. 4. Роль Секции по оборонным проблемам Министерства обороны (при Президиуме Российской академии наук) в системе планирования и реализации научно-технического задела для перспективных образцов ВВСТ

Совмина И.В. Сталиным, как Минно-торпедная секция при Президиуме Академии наук СССР. За прошедшие десятилетия дважды изменялось ее название (в 1952 году Минно-торпедная секция была преобразована в Морскую физическую секцию, а в 1964-м – в Секцию по оборонным проблемам Министерства обороны при Президиуме Академии наук СССР), и одновременно расширялось «поле» ее научных интересов, реформировались, уточнялись и дополнялись возлагаемые на Секцию задачи. В своей статье в журнале «Национальная оборона» [9] академик В.Е. Фортов назвал Секцию прообразом Управления перспективных исследовательских проектов МО США (DARPA).

Секция является основным связующим звеном между Минобороны России, Российской академией наук, научными и образовательными организациями Минобрнауки России [9].

Роль Секции по оборонным проблемам Министерства обороны (при Президиуме Российской академии наук) в системе планирования и реализации НТЗ для перспективных образцов ВВСТ представлена на *рисунке 4*.

Планирование научно-технического развития в оборонной сфере основано на формировании приоритетов в виде следующих важнейших документов, являющихся составной частью единой системы исходных данных для программно-целевого обеспечения реализации военно-технической политики Российской Федерации (ЕСИД):

- прогноз развития науки и техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства на 15-летний период;
- перечень приоритетных направлений фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства на 10-летний период;
- перечень базовых и критических военных технологий в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства на 10-летний период;
- перечень базовых и критических промышленных технологий в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства на 10-летний период.

При этом, основополагающим документом, определяющим приоритетные направления ФППИ по созданию НТЗ, в настоящее время является перечень приоритетных направлений фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований (ПН ФППИ).

Перечень ПН ФППИ является нормативным документом, определяющим приоритетные направления проведения научных исследований в рамках очередного программного периода в обеспечение создания перспективных образцов ВВСТ. Следует отметить, что до 2013 года этот документ не имел статуса составной части ЕСИД и стал таковым только после выхода Указа Президента Российской Федерации от 2 июля 2013

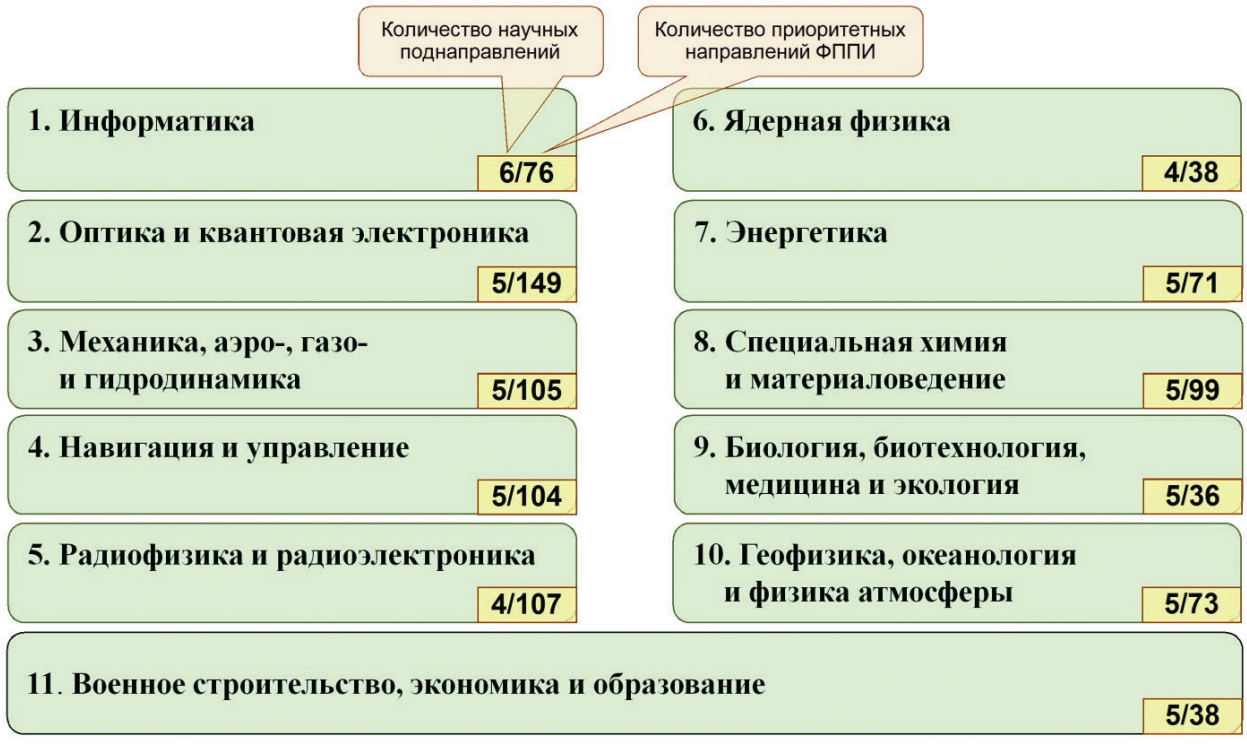


Рис. 5. Структура Перечня приоритетных направлений ФППИ на период до 2025 г.

года № 599 «О разработке и реализации государственной программы вооружения».

Перечень ПН ФППИ разрабатывает Минобороны России (Секция) совместно с Российской академией наук, заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, генеральными конструкторами по созданию ВВСТ и руководителями приоритетных технологических направлений. Действующая редакция Перечня содержит 11 научных направлений, 54 поднаправления и 896 приоритетных направлений (*рисунок 5*) [11]. Таким образом, уже на этапе обоснования приоритетов научно-технологического развития системы вооружения ВС РФ закладываются потребности видов Вооруженных сил (родов войск), а также возможности организаций РАН, высшей школы и ОПК в получении новых знаний, теорий и моделей в интересах создания перспективных образцов ВВСТ.

Программные мероприятия по созданию НТЗ для перспективного вооружения проводятся в ГПВ по трем основным направлениям.

1. Фундаментальные, прогнозные и поисковые исследования в интересах обороны и безопасности. Работы проводятся по 11 научным направлениям, связанным с созданием перспективных образцов ВВСТ и решением проблем военного строительства, военной экономики, военной безопасности и подготовки военных специалистов.

В рамках данного направления осуществляются:

- получение и апробация в лабораторных условиях новых научных знаний о явлениях, физико-химических эффектах, законах и закономерностях, имеющих оборонное значение;
- широкомасштабный мониторинг мировых и отечественных научных достижений с целью их использования для разработки перспективного, в том числе нетрадиционного вооружения, поиска новых форм и способов вооруженной борьбы;
- проведение прогнозных исследований и разработка долгосрочных прогнозов развития основных областей науки в интересах обороны и безопасности страны;
- обоснование приоритетных направлений фундаментальных исследований и обеспечение их тесной увязки с базовыми и критическими военными технологиями.

Работы раздела нацелены на создание научного задела и являются основой для постановки и проведения прикладных научно-исследовательских работ и технологических разработок.

2. Прикладные исследования и технологические разработки в обеспечение разработки образцов принципиально нового вооружения.

Важнейшими направлениями работ являются:

- разработка экспериментальных и опытных образцов боевых частей и двигательных установок на основе высокоэнергетических веществ нового поколения, конструкций ВВСТ из уникальных материалов с принципиально новыми свойствами, обеспечивающих повышение защищенности ВВСТ, в том числе от поражающих факторов нетрадиционного оружия, снижение заметности во всех диапазонах длин волн, а также возможность создания гиперзвукового оружия;
- разработка технологий, экспериментальных и опытных образцов перспективных радиолокационных и радиоэлектронных систем, средств военной разведки, разведывательно-информационного обеспечения, радиоэлектронной борьбы, оптических и оптико-электронных средств и систем военного назначения;
- разработка технологий и технических решений в обеспечение создания комплексов с беспилотными летательными аппаратами нового поколения;
- создание технологий и технических решений в части информационного обеспечения высокоточного оружия наземного, воздушного и морского базирования и др.

3. Прикладные исследования и технологические разработки по созданию нетрадиционного вооружения.

Заказчиком фундаментальных, прогнозных и поисковых работ выступает Секция. Заказчиком прикладных исследований и технологических разработок является Управление перспективных межвидовых исследований и специальных проектов.

Функции мониторинга, а также организационно-методическое и информационно-аналитическое обеспечение работ по созданию НТЗ осуществляет 46 ЦНИИ МО РФ.

Необходимо отметить, что проведение исследований по всему спектру научных направлений и военных технологий, которые включены в указанные выше перечни позволяет вести глобальную стратегическую разведку прорывных научных результатов, содержащих потенциал военно-технологического превосходства, и своевременно предвидеть получение и использование результатов другими странами, обеспечивает возможность сохранения паритета по большинству технологических направлений (в том числе достижение мирового лидерства по таким важнейшим направлениям, как создание стратегического оружия, самолето- и ракетостроения, разработка нетрадиционного оружия).

К сожалению, недостаточный уровень финансирования исследований оборонной направленности не позволяет решать эту задачу в полном объеме и, как следствие, остаются невостребованными результаты большого количества разработок Российской академии наук (РАН), научных и образовательных организаций Минобрнауки России, организаций оборонно-промышленного комплекса (ОПК) страны.

Ограниченные возможности по финансированию заданий государственного оборонного заказа в части фундаментальных, поисковых и прикладных исследований могут привести к ряду негативных последствий:

- невозможности создания требуемого научно-технического задела и, как следствие, возрастанию стоимости работ на более поздних стадиях жизненного цикла ВВСТ;
- замедлению инновационного развития системы вооружения ВС РФ;
- невозможности создания к концу программного периода отечественных образцов высокотехнологичного вооружения;
- усилению отставания России по ключевым для создания ВВСТ научным областям (оптика и квантовая электроника, навигация и управление ВВСТ, энергетика, геофизика и пр.).

Одним из путей решения данной проблемы является организация широкомасштабного мониторинга и поиска прорывных научных достижений военного, специального и двойного назначения высокой степени готовности, в рамках государственных, федеральных и ведомственных научно-технологических программ, программ фондов инновационного развития, государственных научных и национальных исследовательских центров. По их результатам может осуществляться экспериментальная оценка и военно-техническая экспертиза научных достижений, отличающихся новизной и имеющих высокий уровень готовности их использования при создании принципиально новых образцов ВВСТ.

На *рисунке 6* представлена предлагаемая схема организации мониторинга достижений отечественной фундаментальной и прикладной науки в интересах создания НТЗ.

Результатом подобного мониторинга будет формирование единой информационной базы, использование которой позволит:

- выявить новейшие научно-технические достижения фундаментальной и прикладной науки в интересах выработки предложений по областям их возможного применения в ВВСТ;

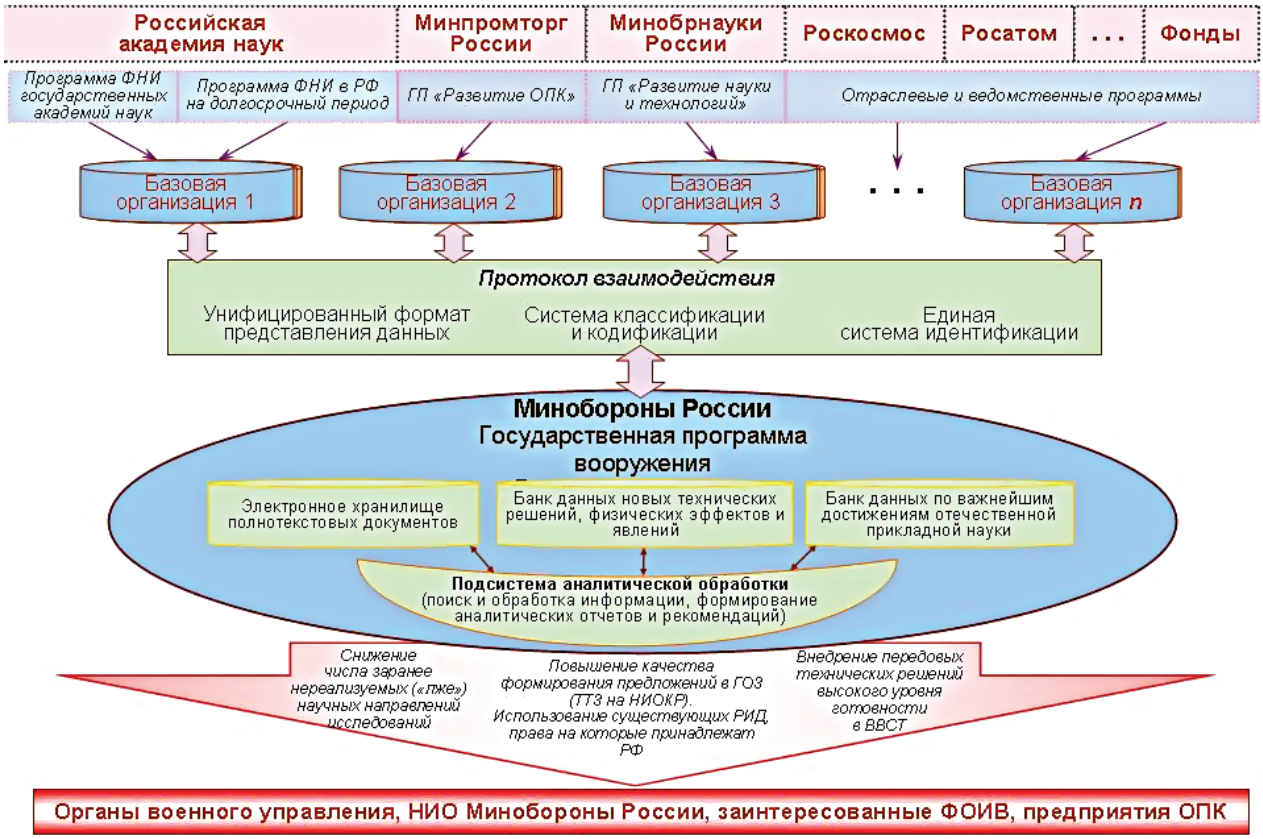


Рис. 6. Схема организации мониторинга достижений отечественной фундаментальной и прикладной науки в интересах создания научно-технического задела

● разработать предложения по уточнению перечня базовых и критических военных технологий и перечня приоритетных направлений фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований на последующие программные периоды;

● разработать предложения в проекты ГПВ и государственного оборонного заказа;

● обеспечить актуальной информацией о научно-технических достижениях руководство Минобороны России, заинтересованные ФОИВ, органы военного управления, научно-исследовательские организации Минобороны и предприятия ОПК.

Схема проведения исследований в обеспечение использования достижений отечественной науки в интересах создания опережающего НТЗ приведена на *рисунке 7*.

Для реализации указанной схемы был разработан механизм выявления, сбора, оценки и проведения независимой экспертизы прорывных научных достижений (гипотез, принципов, идей, концепций), представленных РАН, научными и образовательными организациями Минобрнауки России, организациями ОПК, государственными корпорациями, научными центрами и фондами и имеющих потенциальную возможность использования для решения перспективных задач ВС РФ.

Указанный механизм направлен на обеспечение решения следующих задач:

● сокращение сроков внедрения перспективных разработок в образцы ВВСТ за счет исключения длительной процедуры постановки предлагаемых работ в рамках ГОЗ;

● снижение времени реакции на возникающие технологические угрозы безопасности Российской Федерации;

● поддержка и продвижение инновационных проектов, выполняемых создаваемыми совместно Минобороны России и РАН смешанными научно-исследовательскими и производственными коллективами («виртуальными лабораториями») для реализации инновационных проектов в интересах ВС РФ;

● практическая апробация перспективных для Минобороны России научных и технологических достижений, имеющих высокий уровень технологической готовности;

● целенаправленный поиск и содействие внедрению перспективных результатов научных исследований, технологических разработок, прорывных гипотез, принципов, идей и концепций в интересах создания перспективных и модернизации существующих образцов ВВСТ, а также технологическая модернизация и инновационное развитие предприятий ОПК.

Координация фундаментальных и поисковых исследований является важным инструментом государственного стратегического планирования и регулирования инновационного развития Российской Федерации [12].

Анализ состояния координации фундаментальных, поисковых и прикладных исследований военного, специального и двойного назначения, проводимых в РФ, показывает, что существующая ведомственная модель организации фундаментальных, поисковых и прикладных исследований в РФ препятствует их эффективной координации и не способствует сосредоточению ресурсов на национальных научно-технологических приоритетах.

Негативными последствиями слабой координации в Российской Федерации исследований и разработок различного назначения являются:

Рис. 7. Схема проведения исследований в обеспечение использования достижений отечественной науки в интересах создания опережающего научно-технического задела

● дублирование замыслов и планов фундаментальных, поисковых и прикладных исследований соответствующими распорядителями бюджетных средств и подведомственными им бюджетополучателями (научными организациями, творческими коллективами, отдельными учеными);

● размывание границ между фундаментальными и прикладными исследованиями;

● недостаточная координация между различными федеральными органами исполнительной власти и Российской академией наук при проведении прогнозных научных исследований;

● дублирование бюджетных затрат на фундаментальные, поисковые и прикладные исследования и разработки, выполняемые для различных государственных заказчиков;

● дробление имеющихся финансовых, материальных и интеллектуальных ресурсов, препятствующее их концентрации на национальных научно-технологических приоритетах и т.п.

Это обусловило необходимость разработки и принятия Межведомственной координационной программы фундаментальных, поисковых и прикладных исследований в области обороны и обеспечения безопасности государства (далее – МКП ФППИ).

В настоящее время фундаментальные и поисковые исследования, результаты которых используются (могут быть использованы) в интересах создания научно-технического задела, выполняются в рамках Государственной программы вооружения на 2018–2027 годы (Программа развития базовых военных технологий), ряда других государственных программ Российской Федерации, основными из которых являются: «Развитие науки и технологий», «Развитие оборонно-промышленного комплекса» и др., федеральных и ведомственных целевых программ и планов, программ деятельности государственных фондов и академий наук.

Координация указанных исследований осуществляется в рамках МКП ФППИ, утвержденной решением коллегии Военно-промышленной комиссии РФ 23 января 2018 г. Разработка МКП ФППИ осуществлялась при координирующей роли Научно-технического совета Военно-промышленной комиссии РФ совместно с федеральными органами исполнительной власти.

МКП ФППИ является инструментом, обеспечивающим межведомственное взаимодействие на этапах планирования, выполнения и реализации результатов фундаментальных, поисковых и прикладных исследований, и призвана повысить реализуемость и эффективность мероприятий программ и планов проведения ФППИ в области обороны и обеспечения безопасности государства, консолидировать ФОИВ, государственные корпорации, академии и фонды на приоритетных направлениях создания научно-технического задела для ВВСТ.

Положительным результатом разработки МКП ФППИ является впервые сформированный в едином формате межведомственный перечень фундаментальных, поисковых и прикладных исследований, выполняемых (планируемых) в рамках государственных, федеральных и ведомственных целевых программ и планов в области обороны и обеспечения безопасности государства.

В настоящее время Правительством РФ принято решение о включении в проект разрабатываемой РАН Программы фундаментальных научных исследований в РФ на долгосрочный период (2021-2035 годы) подпрограммы 6 «Научные исследования, реализуемые в сфере оборонно-промышленного комплекса в интересах обороны страны и безопасности государства».

По нашему мнению, разработка проекта подпрограммы 6 должна осуществляться в тесной увязке с другими важнейшими документами, являющимися составной частью ЕСИД и указанными выше.

При этом следует отметить, что в рамках ГПВ проводятся ФППИ, которые могут быть реализованы в ближайшие 3-5 лет после их окончания в прикладных НИР и ОКР, выполняемых по заказу Минобороны России. Сроки выполнения ФППИ составляют 2-3 года. Внимание сосредоточено на исследованиях и разработках с малым риском и сравнительно быстрой практической отдачей. По своей сути ФППИ, ведущиеся по заказу Минобороны России, являются программой научного сопровождения и обеспечения ГПВ на текущий программный период и ежегодного государственного оборонного заказа.

Проведение в рамках подпрограммы 6 Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на 2021-2035 гг. работ оборонной направленности, результаты которых смогут быть реализованы в среднесрочной и долгосрочной перспективе, позволит заблаговременно решать наиболее сложные научные проблемы создания перспективных военных технологий.

Кроме того, в настоящее время в рамках государственного оборонного заказа разрабатывается «Перечень потенциальных угроз безопасности Российской Федерации в военно-технической сфере на период до 2050 года и возможных мер противодействия им», который должен войти в состав ЕСИД при уточнении Правил разра-

ботки и реализации государственной программы вооружения, утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 2 июля 2013 г. № 599.

Мероприятия подпрограммы Подпрограммы 6 должны быть направлены на разработку перспективных технологий, лежащих в основе мер противодействия потенциальным угрозам безопасности Российской Федерации в военно-технической сфере.

Необходимо также отметить, что целенаправленное развитие отечественной науки и технологий, в том числе в оборонной сфере, в настоящее время значительно осложнилось тем, что недружественные к России развитые в технологическом отношении государства путем экономических и иных санкций, предпринятых в последние годы, открыто препятствуют интеграции российской науки в мировую инновационную систему на достойных и справедливых условиях, стремятся к локализации освоения в России наукоемких технологий и передовых технологических компетенций, имеющих перспективу двойного применения.

В этих условиях межведомственная координация исследований и разработок в области обеспечения обороны страны и безопасности государства, осуществляемых за счет бюджетных средств, является важным инструментом реализации государственной научно-технической политики и должна проводиться с учетом общей стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочный период.

Основным итогом создания НТЗ для перспективного, в том числе нетрадиционного, вооружения станет решение задач обоснования приоритетных направлений фундаментальных, поисковых и прогнозных исследований, развития базовых военных технологий (исключение «технологических сюрпризов» и парирование возможных научно-технологических прорывов ведущих зарубежных стран), завоевания передовых позиций в области технологий средств поражения на основе новых физических принципов, специальной технической химии и специальных свойств материалов, подготовки перехода от исследований к стадии опытно-конструкторских работ по созданию нетрадиционных систем оружия, своевременной разработки перспективных типовых технических решений, составных частей, модулей и комплектующих изделий для образцов ВВСТ.

Литература

1. Борисенков И.Л., Корчак В.Ю., Помазан Ю.В., Тужиков Е.З. Роль фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований в решении задач обеспечения обороны страны и безопасности государства // Вестник академии военных наук, 2016. №4(57). С18-26.
2. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Программно-целевое планирование и управление созданием научно-технического задела для перспективного и нетрадиционного вооружения. М.: Издательский дом «Граница», 2007. 408 с.
3. Бочаров Л.Ю., Корчак В.Ю., Тужиков Е.З., Реулов Р.В., Волковский Н.А. DARPA и наука Третьего рейха: оборонные исследования США и Германии. Под общ. ред. А.Е. Суворова. М.: Техносфера, 2015. 208 с.
4. Борисенков И.Л., Корчак В.Ю., Тужиков Е.З. Анализ особенностей организации и планирования научных исследований, проводимых в интересах военного ведомства США // Стратегическая стабильность, 2018. №3(84). С.32-39.
5. Корчак В.Ю., Тужиков Е.З., Иванков В.В. Военно-экономическое обоснование планирования научного задела для перспективной оборонной продукции. М.: ООО «Технология стратегического менеджмента», 2010. 188 с.
6. Корчак В.Ю., Тужиков Е.З., Котелюк Л.А. Научно-методические и организационные проблемы планирования и управления фундаментальными и поисковыми исследованиями // Вестник Академии военных наук, 2019. №1(66). С.145-154.
7. Борисенков И.Л., Помазан Ю.В., Тужиков Е.З. Проблемные вопросы планирования, выполнения и реализации оборонных фундаментальных и поисковых исследований // Военная мысль, 2019. №10. С.74-87.
8. Корчак В.Ю., Тужиков Е.З., Котелюк Л.А. Прогнозные исследования фундамент создания научно-технического задела для перспективного вооружения // Вестник Академии военных наук, 2017. № 3(60). С.90-101.
9. Фортов В.Е., Каляев И.А. Сохранить фундамент оборонной науки // Национальная оборона. 2010. № 5.
10. Корчак В.Ю., Тужиков Е.З., Котелюк Л.А. Секция по оборонным проблемам Министерства обороны при Президиуме Российской академии наук: история и современность // Военная мысль, 2015. №3. С.57-64.
11. Борисенков И.Л. Фундаментальные и поисковые исследования – основа прорывных научно-технических достижений. Федеральный справочник. Оборонно-промышленный комплекс: [информационно-аналитическое издание]; Т. 15. М.: Центр стратегических программ, 2019.
12. Корчак В.Ю., Помазан Ю.В., Тужиков Е.З. О проблемах координации фундаментальных и поисковых исследований, имеющих оборонное значение // Стратегическая стабильность, 2015. № 2(71). С.38-46.

УДК 65.011, 005

РОЛЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ «НАУЧНО–ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

THE ROLE OF STATE SCIENTIFIC CENTERS OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE IMPLEMENTATION OF THE STATE PROGRAM OF THE RUSSIAN FEDERATION «SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION»

Юрий Анатольевич Сытняк
кандидат технических наук, доцент
начальник отдела
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 115093, Москва,
ул. Люсиновская, д. 51
Тел.:+7 (499) 706-81-25

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

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

Аннотация
Проведен анализ вклада результатов деятельности ГНЦ РФ в решение задач 4-й и 5-й подпрограмм Государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».
Ключевые слова: государственные научные центры РФ, Государственная программа Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», результаты интеллектуальной деятельности, мегасайенс, целевые показатели, оценка.

Summary
The article presents the analysis of the contribution of the results of the SSC of the Russian Federation in solving the problems of the 4th and 5th subprograms of the state program of the Russian Federation «Scientific and technological development of the Russian Federation».
Keywords: state scientific centers of the Russian Federation, the state program of the Russian Federation «Scientific and technological development of the Russian Federation», the results of intellectual activity, mega-science, targets, assessment.

Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации [1] определены приоритеты научно-технологического развития РФ для инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения России на внешнем рынке. Инструментами реализации Стратегии являются национальные проекты и государственные программы, к числу которых относится Государственная программа Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», нацеленная на развитие интеллектуального потенциала нации, научно-техническое и интеллектуальное обеспечение структурных изменений в экономике, эффективную организацию и технологическое обновление научной, научно-технической и инновационной (высокотехнологичной) деятельности [2]. Указанным целевым установкам в значительной степени отвечает деятельность 42-х государственных научных центров Российской Федерации (ГНЦ РФ).

Непосредственным участником 4-х (из 5-ти)

подпрограмм государственной программы (ГП) определен ГНЦ РФ ФГБУ «НИЦ «Курчатовский институт», задействованный в обеспечении глобальной конкурентноспособности российского высшего образования (подпрограмма 2), фундаментальных научных исследованиях для долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства (подпрограмма 3), формировании и реализации комплексных научно-технических программ по приоритетам Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, а также научном, технологическом и инновационном развитии по широкому спектру направлений (подпрограмма 4), развитии инфраструктуры научной, научно-технической и инновационной деятельности (подпрограмма 5).

Деятельность всех других ГНЦ РФ напрямую связана с целями и задачами 4-й и 5-й подпрограмм (*таблица 1*). Для решения первой задачи подпрограммы 4 *«обеспечение передачи научных знаний для развития технологий, продуктов (товаров, услуг) по широкому спектру направлений научно-технологического и инновационного развития»* [2] (задача 4.а), во-первых, необходимо отметить широту деятельности системы ГНЦ РФ, размах которой характеризуется следующим. В соответствии с расширенным классификатором областей науки OECD [3] ГНЦ РФ работают по всем направлениям второго уровня в областях «Техника и технологии», «Естественные и точные науки» и «Медицинские науки и общественное здравоохранение». В рамках более детального – третьего уровня классификации направлений исследований ГНЦ РФ заняты по 37-ми из 44-х направлений в области «Техника и технологии» и по 35-ти из 63-х – в области «Естественные и точные науки». В области «Медицинские науки и общественное здравоохранение» 7 ГНЦ РФ развивают 16 направлений из 58-ми [4][1].

Во-вторых, продвижение технологий, ведение инновационной деятельности, как важнейший приоритет деятельности ГНЦ РФ, базируется на создании и использовании результатов

Таблица 1

Направления исследований ГНЦ РФ в соответствии с расширенным классификатором OECD

Первый уровень	Второй уровень	Количество направлений		Количество ГНЦ РФ
		всего	по которым работают ГНЦ РФ	
Естественные и точные науки	Физика и астрономия	10	10	12
	Химические науки	9	9	6
	Биологические науки	21	8	6
	Науки о Земле и смежные экологические науки	10	5	5
	Прочие естественные и точные науки	1	1	3
	Компьютерные и информационные науки	6	1	2
	Математика	6	1	1
Техника и технологии	Механика и машиностроение	5	5	18
	Технологии материалов	8	7	10
	Нанотехнологии	1	1	9
	Прочие технологии	8	7	9
	Энергетика и рациональное природопользование	8	5	9
	Электротехника, электронная техника, информационные технологии	5	4	5
	Медицинские технологии	3	3	5
	Химические технологии	1	1	4
	Промышленные биотехнологии	1	1	3
	Строительство и архитектура	3	2	2
	Экологические биотехнологии	1	1	1
Медицинские науки и общественное здравоохранение	Фундаментальная медицина	10	5	5
	Науки о здоровье	17	5	3
	Клиническая медицина	31	6	2
Сельскохозяйственные науки		11	3	1
Социальные науки		46	1	1
Гуманитарные науки		29	1	1

интеллектуальной деятельности [5]. В 2018 году в ГНЦ РФ создано 1 577 результатов интеллектуальной деятельности (РИД), из них 50,2% учтено в государственных информационных системах, 69,2% имеет государственную регистрацию и (или) правовую охрану. Лидерами по созданию РИД в 2018 году являются: ФГУП «ВИАМ» (185 РИД), ФГУП «ГосНИИАС» (183), ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» (156), ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова» (88) (*рисунок 1*).

ФГУП «ГосНИИАС», ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» и ФГУП «Крыловский государственный научный центр» являются лидерами по государственной регистрации и оформлению правовой охраны РИД. На их долю приходится 399 таких РИД (36,6% от общего количества).

За пределами Российской Федерации правовую охрану получили 8 РИД: ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (3), ФГУП «НАМИ» (2), ФГБУ «ГНЦ Институт иммунологии» (2) и ФГБНУ «ВИР» (1).

Важно отметить, что количество использованных РИД (2 044) второй год подряд превысило количество созданных. Доля ГНЦ РФ по созданным и использованным РИД в 2018 г. составила 4,81% и 5,13% по соответствующим показателям по стране в целом: создано 32 757 РИД; использовано 39 837 РИД [6].

Подтверждены актами внедрения, переданы по лицензионным договорам или договорам отчуждения – 1 833 РИД. Из числа используемых РИД – 63,3% внедрены самими ГНЦ РФ, 25,6% переданы третьим лицам в пользование по лицензионному договору и только 1,1% переданы по договору отчуждения, в том числе, внесены в качестве залога.

Доход от использования РИД получен 15-ю ГНЦ РФ в размере 2,812 млрд. руб. (в 2017 г. – 2,829 млрд. руб.). Наибольший вклад в этот показатель вносит АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина», чьи доходы от использования РИД в последние три года весьма стабильны и составили в среднем – 2,48 млрд. руб.

18 ГНЦ РФ передали по лицензионному договору (соглашению) 523 РИД (в 2017 г. – 362). Лидером процесса коммерциализации по числу переданных прав на РИД, как и в предыдущем году, является ФГУП «ВИАМ». В 2018 г. им было передано по лицензионным договорам (соглашениям) 376 РИД (в 2017 г. – 275, в 2016 г. – 256).

На современном этапе развития ГНЦ РФ разработка и реализация комплексных стратегий коммерциализации РИД является одним из наиболее актуальных вопросов. На платформе ГНЦ РФ для реализации собственных инновационных проектов в 2018 году насчитывалось 21 малое инновационное предприятие (в 2017 г. – 19, в 2016 г. – 21), совокупный доход которых составил 2,515 млрд. руб. (2017 г. – 1,05 млрд. руб., в 2016 г. – 0,96 млрд. руб.).

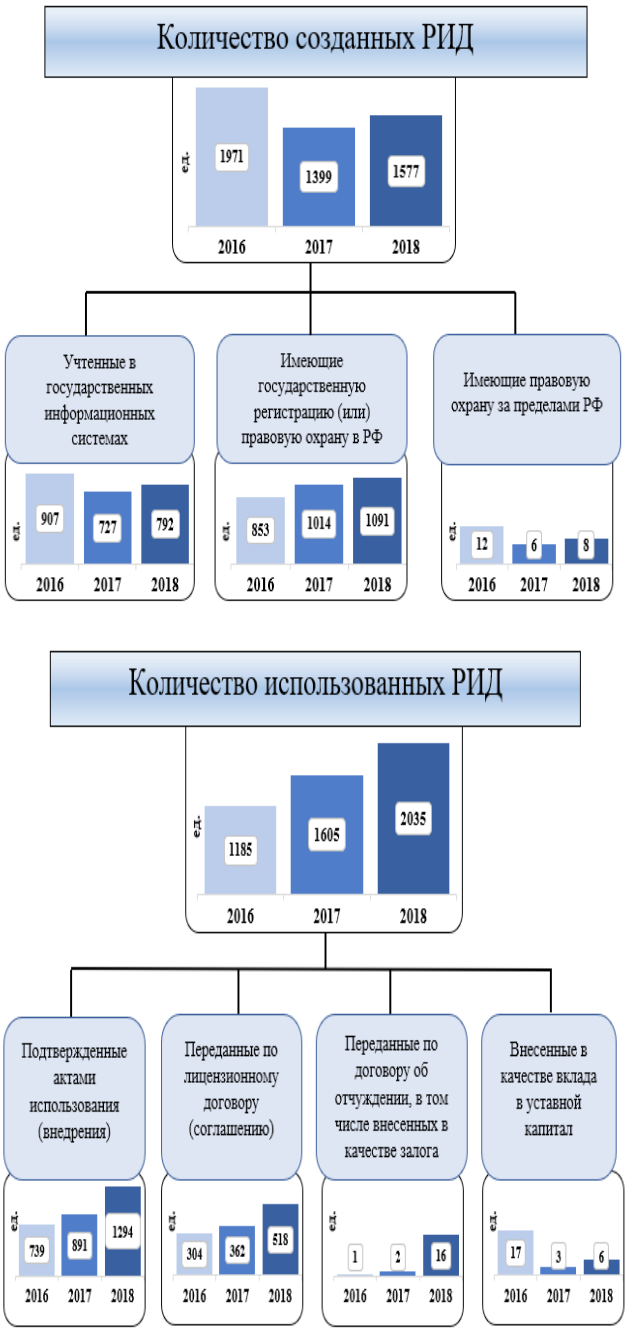


Рис. 1. Количество созданных и использованных результатов интеллектуальной деятельности в ГНЦ РФ

[1] Здесь и далее статистические данные по ГНЦ РФ приводятся с использованием Базы данных, содержащей сведения о результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы [Электронный ресурс]/ URL: http://www.sciencemon.ru/.

Подпрограммой 4 ГП «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» предусмотрена *«эффективная поддержка перспективных инициативных научных и (или) научно-технических, высокотехнологичных проектов и стимулирование частных, в том числе зарубежных инвестиций в исследования и разработки»* [2] (задача 4.6).

Востребованность создаваемой ГНЦ РФ научно-технической продукции особенно в условиях западных санкций, устойчивость их внешнеэкономических связей характеризует высокий объем иностранных источников, который в 2018 г. составил 17,464 млрд. руб., достигнув почти 45 млрд. руб. за последние 3 года. Из 27 ГНЦ РФ, получавших в 2018 году такие средства, у 2-х ГНЦ РФ доля иностранных источников превышает 40% в общем объеме финансирования: АО «ЦТСС» – 89,3%, АО «ГНЦ НИИАР» – 49,4%. Более 10% наблюдается у 3-х ГНЦ РФ: ИМБП РАН – 14,1%, ФГБУ «ААНИИ» –13,8%, ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» – 12,9%. Следует отметить, что за последние три года объем средств иностранных источников АО «ЦТСС» составил более 29,5 млрд. руб.

Подпрограммой 5 ГП «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» предусмотрено *«создание и развитие уникальных научных установок класса «мегасайенс» на территории Российской Федерации и участие в развитии крупных международных проектов за пределами страны»* [2] (задача 5.а).

ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт», являясь участником подпрограммы, активно работает в составе многочисленных международных коллабораций практически на всех главных экспериментальных площадках мира, выполняющих исследования по ядерной физике, физике высоких энергий и элементарных частиц, физике плазмы и др. Институт является участником реализации ряда международных проектов класса «мегасайенс»:

- EGEE (Enabling Grids for E-sciencE) – построение грид-инфраструктуры для проведения многочисленных научных исследованиях в Европе. Проект финансируется по 6-й рамочной программе Европейской комиссии IST FP6. Консорциум участников проекта включает более 70 институтов из 27 европейских стран;
- GLORIAD (Global Ring Network for Advanced Application Development) – создание и развитие высокоскоростной компьютерной сети, используемой для подключения научных организаций в России, Китае, США, Нидерландах, Корее, Канаде, Индии, Сингапуре, Вьетнаме и Египте. GLORIAD обеспечивает пропускную способность до 10 Гбит/с по каналам OC-192;
- Borexino (Борексино) – анализ нейтринного излучения, сопровождающего термоядерные процессы генерации энергии Солнца. В международной коллаборации кроме НИЦ «Курчатовский институт», как ответственной научной организации от России, участвуют НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова и Объединенный институт ядерных исследований (Дубна).

Всего НИЦ «Курчатовский институт» осуществляет сотрудничество в рамках 19 крупных международных проектов. В соответствии с установленными полномочиями НИЦ «Курчатовский институт» активно участвует в фундаментальных исследованиях по следующим уникальным международным проектам: «Международный термоядерный экспериментальный реактор» (ITER), «Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах» (XFEL), «Большой адронный коллайдер Европейского центра ядерных исследований» (CERN), «Центр по исследованию ионов и антипротонов в Европе» (FAIR), «Европейский центр синхротронного излучения» (ESRF) и другим, а также реализации на территории Российской Федерации международных мегапроектов. В 2018 году НИЦ «Курчатовский институт» активно участвовал в создании 7 диагностических комплексов (рефлектометрии со стороны сильного поля и спектроскопии водородных линий), входящих в комплект поставок Российской Федерации на ITER. Ведется разработка общей концепции специализированного источника синхротронного излучения 4-го поколения ИССИ-4. Партнером проекта является Европейский центр синхротронных исследований (ESRF), Гренобль, Франция.

В мега-проектах FAIR и БАК также принимает участие Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова (ФГБУ «НИЦ Курчатовский институт – ИТЭФ»), где большое внимание уделяется развитию информационно-коммуникационных технологий и систем, стратегических компьютерных технологий и программ и развитию современных технологий высокопроизводительных вычислений и отказоустойчивых систем хранения информации для обработки, моделирования и анализа данных экспериментов мега-проектов. Для указанных работ используются ресурсы действующего суперкомпьютера ИТЭФ.

К числу уникальных исследовательских комплексов мега-класса может быть также отнесен ряд комплексов оборудования других ГНЦ РФ, например, комплекс «Климатические испытания» ФГУП «ВИАМ», позволяющий системно решать задачи по изучению влияния агрессив-

ных сред, климатических и эксплуатационных факторов на кинетику процессов коррозии, старения, биоповреждения и разрушения функциональных материалов и покрытий. Данный комплекс оборудования аккредитован в международной системе ATLAS и находится на уровне лучших европейских центров исследований и испытаний материалов.

Подпрограммой 5 ГП «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» предусмотрены *«формирование и эффективная загрузка и доступность центров коллективного пользования научным оборудованием, инжиниринговых центров и центров экспериментального и мелкосерийного производства»* [2] (задача 5.б).

В системе ГНЦ РФ созданы и функционируют 12 центров коллективного пользования (ЦКП) научным оборудованием, например, «Федеральный центр коллективного пользования научным оборудованием «Комплекс моделирования и обработки данных исследовательских установок мега класса» – ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»; «Карповский центр инструментальной физико-химической диагностики веществ и материалов» – АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»; «Научно-прикладной Центр ядерной медицины» – ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна; «Центр по применению нанотехнологий в энергетике и электроснабжении космических систем» – ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» и другие.

ЦКП обеспечивают эффективную поддержку научных и научно-технических проектов, реализуемых по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации, проведение ознакомительных практик специалистов, выполнение производственных практик студентов вузов, техникумов, колледжей; практическую подготовку аспирантов.

Подпрограммой 5 ГП «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» предусмотрено *«обеспечение высокой скорости оборота научной, научно-технической информации (публикационной, патентной, первичных данных исследований), в том числе на основе свободных, открытых и безвозмездных лицензий, ее доступности, включая средства эффективного анализа»* и *«расширение доступа граждан России к научным знаниям и участия в их получении»* [2] (задачи 5.в и 5.г).

Решение указанных задач в системе ГНЦ РФ обеспечивается результатами публикационной деятельности и **информационными ресурсами каждой организации, а также** поддержанием отраслевых специализированных сайтов, содержащих отраслевую научно-техническую информацию и информацию по конкретным критическим технологиям и технологическим платформам. Примерами информационных ресурсов являются:

- базы данных «Айсберги - Арктики» и «О мелкомасштабной пространственной изменчивости снегонакопления в районе станции Восток», поддерживаются веб-сайты ФЦП «Мировой океан» подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики» – http://aari.aq и «Глобальный банк цифровых данных по морскому льду» – Мировой центр данных Морской Лед – http://wdc.aari.ru/datasets (ФГБУ «ААНИИ»);
- веб-сайты Технологических платформ «Материалы и технологии металлургии» – http://mtmtp.ru, «Новые полимерные композиционные материалы и технологии» – tppkm.viam.ru (ФГУП «ВИАМ»);
- отраслевая информационная система по сбору и обработке данных по отказам оборудования и нарушениям в работе исследовательских ядерных установок России (АО «ГНЦ НИИАР») и другие.

Таким образом, результаты деятельности государственных научных центров Российской Федерации вносят существенный вклад в решение задач и достижение целевых индикаторов и показателей 4-й и 5-й подпрограмм государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

Литература

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. №642.
2. Государственная программа Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации». Утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 29 марта 2019 г.
3. Organization for Economic Cooperation and Development – официальный классификатор областей науки. Используется Федеральной системой мониторинга результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы.
4. База данных, содержащая сведения о результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы [Электронный ресурс]/ URL: http://www.sciencemon.ru/.
5. Аляева Ю.В., Сытняк Ю.А. Анализ динамики инновационного развития государственных научных центров Российской Федерации // Известия Института инженерной физики, 2017. №4(46). С.72-76.
6. Данные 2018 года. Росстат, форма № 4-инновации «Сведения об инновационной деятельности организации» [Электронный ресурс]/ Росстат. URL: https://www.gks.ru/folder/14477.

ПРЕЗИДЕНТ РОССИИ УВИДЕЛ РАЗРАБОТКИ МОУ «ИИФ»

В Национальном центре управления обороной страны Президент РФ В.В. Путин и министр обороны РФ С.К. Шойгу провели заседание расширенной коллегии Минобороны России.

В заседании приняли участие главнокомандующие видами и командующие родами войск, руководители центральных органов военного управления, командный состав военных округов, флотов, объединений и отдельных соединений ВС РФ, члены Совета Безопасности России, руководство Федерального Собрания, Правительства, руководители предприятий оборонно-промышленного корпуса, представители ветеранских и общественных организаций, в том числе и Института инженерной физики.

Впечатлениями от участия в заседании поделился Президент МОУ «ИИФ» А.Н. Царьков: «Доклад Президента В.В. Путина впечатлил насыщенностью фактов и цифр: был приведен общий анализ состояния ВС России. Верховный главнокомандующий отметил высокую боеготовность всех видов и родов войск, их способность качественно выполнять свои задачи, гарантировать мир и безопасность страны. Президент подчеркнул, что в связи с напряженностью на Ближнем Востоке, в Афганистане, на Корейском полуострове, вблизи границ России, где расширяется военная инфраструктура НАТО, неизменной должна быть надежная, гарантированная защита нашей Родины от любых потенциальных военных угроз. Президент определил основные задачи по военному строительству и главным направлениям деятельности военного ведомства на 2020 год.

С итоговым докладом выступил министр обороны. В нем он, в частности, сделал акцент на то, что ВС РФ постоянно модернизируются: применяются принципиально новые технологии и образцы вооружения, в том числе разработанные в военном технополисе «ЭРА», с которым ИИФ активно совместно работает.

Для участников Коллегии была организована выставка передовых достижений и инновационных разработок предприятий оборонно-промышленного комплекса для ВС РФ. Президент и министр обороны осмотрели выставку, на которой были представлены и разработки ИИФ, в докладе Президента прозвучала информация о передовых разработках специального назначения, которые уже приняты на вооружение и успешно функционируют в разных родах войск нашей страны.

Со своей стороны хочу отметить, что в 2019 году мы отлично поработали с Минобороны, с медицинскими службами, флотами, отдельными соединениями ВС РФ по внедрению наших разработок, за что выражаю благодарность всему коллективу Института. И я убежден, что мы будем только наращивать это сотрудничество, а также наш потенциал, разрабатывать новые образцы экипировки, техники, медицинских препаратов для военных и гражданских нужд, для повышения обороноспособности нашей страны».

AUTHORS

Aleshin Evgeny N. Candidate of Technical Sciences. Senior lecturer of spacecraft Military space Academy named after A.F. Mozhaiskiy. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Alyaeva Yulia V. Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of the Research Department of Planning and Coordination of Programs and Projects of FSBSI «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

Atakishchev Oleg I. Doctor of Technical Sciences, professor. Deputy General Director for Special Projects. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Blazhko Alexander K. Candidate of Technical Sciences, associate Professor. Senior lecturer of spacecraft Military space Academy named after A.F. Mozhaiskiy. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Borisenkov Igor L. Candidate of Technical Sciences. Chairman, Defense Problems Section of the Ministry of Defense at the Presidium of the Russian Academy of Sciences.

Emelin Nikolay M. Honored Scientist of the RSFSR, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of FSBSE «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

Frolov Pavel V. Graduate student, «Information Security» Department, Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Frolov Sergey N. Candidate of Technical Sciences. Senior researcher at the research Institute of radio electronic systems SWSU. Kursk, st. 50 Years of October, 94.

Furov Andrey N. Candidate of Technical Sciences. Lecturer. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Galuza Elizaveta A. Master student, «Information processing systems» Department, Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Gusenitsa Yaroslav N. Candidate of Technical Sciences. Head of the testing laboratory of Military innovation Technopolis «ERA». Krasnodar region, Anapa, Pioneer Ave., 28.

Kalyuzhnyy Alexander A. Master of the department of radio Engineering and radio systems, VLSU. Vladimir, ul. Gorky, 87.

Karulin Vladimir P. Honored Worker of Higher School of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher of FSBSE «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya st., 51.

Klishin Grigory Yu. Researcher at the Scientific and Research Testing Center (aerospace medicine and military ergonomics) of the Central Research Institute of the Air Forces of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Moscow, Petrovsko-Razumovskaya Alley, 12A.

Kolombet Eugeniy V. Junior scientist. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

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.

Konnov Sergey A. Lecturer of «Electricity missiles». Military Academy of Strategic Rocket Forces. Moscow Region, Balashikha, Karbysheva str., 8.

Konradi Dmitry S. Adjunct. Military Academy of Strategic Rocket Forces. Moscow Region, Balashikha, Karbysheva str., 8.

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.

Korsunsky Denis A. Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny 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.

Kuprijanov Alexander I. Doctor of Technical Sciences, Professor. Professor. Moscow Aviation Institute (National Research University). Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

Kuzin Evgeny N. Candidate of Technical Sciences. Senior Researcher. Military Academy of Strategic Rocket Forces. Moscow Region, Balashikha, Karbysheva str., 8.

Kvashennikov Vladislav V. Doctor of Technical Sciences, the leading scientific employee Joint-stock company «The Kaluga scientific research institute Telemechanical devices». Kaluga, st. Karl Marx, 4.

Lesnykh Vadim N. Junior scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Maistruk Aleksander V. Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Moscow Polytechnic University. FGBOU IN Moscow Polytechnic University. Moscow, st. Bolshaya Semenovskaya, 38.

Maslikov Alexander A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor. Senior Researcher. Branch «Protvino» State University «Dubna». Moscow region, Protvino, Severny passage, 9.

Mazin Anatoly V. Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of «Information Security», Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

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.

Pavlov A.A. Doctor of Technical Sciences, Professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Pomazan Yuriy V. Doctor of Technical Sciences. Chief scientific officer of Section of applied problems at the Presidium of the Russian Academy of Sciences.

AUTHORS

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.

Pozdnyakov Alexander D. Doctor of Technical Sciences, professor of the department of radio engineering and radio systems, VSLU. Vladimir, ul. Gorky, 87.

Pozdnyakov Vladislav A. Candidate of Technical Sciences. associate professor of the department of radio engineering and radio systems, VLSU. Vladimir, ul. Gorky, 87.

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.

Sakharov Mikhail V. Doctor of Technical Sciences, Professor. Head of the Department. Military Academy of Strategic Rocket Forces. Moscow Region, Balashikha, Karbysheva str., 8.

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.

Shchitov Alexey N. Engineer of centre for policy research and development, scientific research Institute of radio electronic systems SWSU.

Shilenkov Yegor A. Candidate of Technical Sciences. Deputy Director of the research Institute of radio electronic systems SWSU. Kursk, st. 50 Years of October, 94.

Slavgorodsky D. A. Graduate student. FSBEI of HE «Tula State University». Tula, Lenin Avenue, 92.

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 Vladimir A. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Devices and Biotechnical Systems» FSBEI of HE «Tula State University». Tula, Lenin Avenue, 92.

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.

Sytnyak Yuriy A. Candidate of Engineering Sciences. Head of the Scientific and Analytical Department of FSBSI «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

Syursin Evgeny S. Junior reseacher 12 ONI Military Academy of Strategic Missile Forces. Moscow reg., Balashiha, Karbysheva st., 8.

Titenko Evgeny A. Candidate of Technical Sciences, associate Professor. Head of the 2nd Department of the research Institute of radio electronic systems of SUSU. Kursk, st. 50 Years of October, 94.

Tuzhikov Yevgeny Z. Candidate of Technical Sciences. Leading researcher, Defense Problems Section of the Ministry of Defense at the Presidium of the Rassian Academy of Science.

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.

Vereshagin Aleksandr S. Candedate of Technical Sciences. Associate professor of «Electricity missiles» Military Academy of Strategic Missile Forces. Moscow reg., Balashiha, Karbysheva st., 8.

Vershinin Yevgeny V. Candidate of Physical and Mathematical sciences, docent. Head of «Information processing systems» Department, Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Volkov Gennadiy G. Doctor of Physical and Mathematical sciences, professor. Senior Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Volkov Vladimir Z. Postgraduate student. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

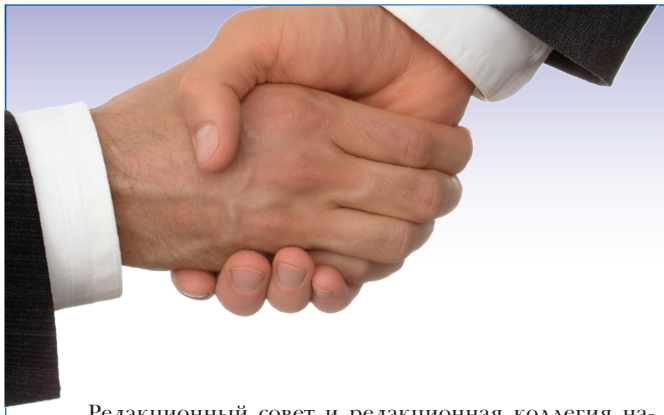
Vorotyagin Valentin N. Postgraduate of spacecraft Military space Academy named after A.F. Mozhaiskiy. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Yakimova Irina A. Candedate of Technical Sciences. Senior lecturer of the Department of mechanics and engineering graphics. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

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.

Zarubin Denis M. Researcher at the center for advanced research and development, research Institute of radio electronic systems SWSU. Kursk, St. 50 Years of October, 94.



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.

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

В НОМЕРЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО–ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

2 Сахаров М.В., Конради Д.С.
Влияние интенсивного лазерного излучения на распознавание объектов оптико-электронными системами космических аппаратов

7 Захаров В.Л., Смирнов Д.В., Блажко А.К., Фуров А.Н.
Распознавание элементов сложной баллистической цели на конечном участке траектории полета на основе комплексирования селективных признаков

11 Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В.
Соответствие сумеречного зрения человека универсальной системе утраивающихся периодов

16 Смирнов В.А., Славгородский Д.А.
Влияние кинематических погрешностей на точность системы стабилизации и наведения линии визирования

19 Клишин Г.Ю.
Информационно-измерительная система для формирования навыков выполнения противоперегрузочных приемов летным составом государственной авиации

24 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

32 Смуров С.В., Салько А.Е., Загарских В.И., Кузин Е.Н.
Научно-методическое обоснование возможности создания предохранительно-пускового устройства детонационного принципа действия

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

37 Квашенников В.В.
Упрощенный алгоритм декодирования кода Рида-Соломона

42 Атакищев О.И., Шиленков Е.А., Фролов С.Н., Титенко Е.А., Щитов А.Н., Зарубин Д.М.
Автономная интеллектуальная группировка малых космических аппаратов – космический эксперимент «Радиоскаф-5»

49 Поздняков А.Д., Поздняков В.А., Калюжный А.А.
Восстановление тестовой импульсной последовательности в шумах при когерентной стробирующей дискретизации

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

54 Карулин В.П., Аляева Ю.В.
Системные механизмы оценки соответствия научных изданий предъявляемым требованиям

58 Майструк А.В., Сюрсин Е.С., Верещагин А.С., Коннов С.А.
Физико-статистическая модель прогнозирования потока отказов на кабельных линиях напряжением 6(10) кВ

64 Гусеница Я.Н., Алёшин Е.Н., Воротягин В.Н., Коробков АА., Якимова И.А.
Комбинированное управление стабилизацией углового положения космического аппарата с активным координатно-параметрическим демпфированием упругих элементов конструкции

69 Фролов П.В., Галуза Е.А., Мазин А.В., Вершинин Е.В.
Исследование методов распределенного хранения сигнатур и признаков сетевых атак в IDS

74 Волков Г.Г., Масликов А.А., Смуров С.В., Царьков А.Н.
Тернарные симметрии о невидимом свете и темной материи Вселенной

84 Павлов А.А., Корсунский Д.А., Волков В.З.
Структурно-кодовая защита устройств обработки информации

НАУКОМЕТРИЯ

92 Аляева Ю.В., Емелин Н.М.
Метод определения рационального количества научных изданий при формировании Перечня рецензируемых научных изданий

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

97 Куприянов А.И.
Развитие навыков пользователей криптографических средств защиты информации в телекоммуникационных системах

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

100 Борисенков И.Л., Помазан Ю.В., Тужиков Е.З., Царьков А.Н., Салько А.Е.
Создание опережающего научно-технического задела для перспективного вооружения

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ

111 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»

116 СОБЫТИЯ

117 AUTHORS

119 ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

120 ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ Института инженерной физики

№1 (55) 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

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