№4 2019 [54]

научно-технический журнал

Известия

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

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

В НОМЕРЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

2 Хаматов А.А., Захаров В.Л., Смирнов Д.В.
Подход к моделированию функционирования бортовой аппаратуры автономных космических аппаратов для контроля технического состояния с использованием нечеткой логики

7 Панчелюга В.А., Панчелюга М.С., Лесных В.Н.
О влиянии мощных нестационарных процессов на параметры стандартов времени и частоты

16 Абанин В.С., Концевой А.Г., Осипов А.В.
Устройство для регистрации полетной информации парашютиста

21 Смуров С.В., Салько А.Е., Загарских В.И., Кузин Е.Н.
Явление пересжатости детонационной волны как инструмент повышения взрывчатых характеристик линейных детонирующих устройств

25 Богданов М.Б., Прохорцов А.В., Смирнов В.А., Минина О.В.
Математическая модель ВОГа ВГ949П, полученная экспериментально

28 Антохин Е.А., Атакищев О.И., Воронин Л.Л., Смирнов Д.В.
Методологические основы проведения испытаний дистанционно управляемых наземных робототехнических комплексов военного назначения среднего и тяжелого классов

34 Ананьев Е.М., Андрух О.Н., Пакуро Н.И., Рыбакова Л.Ф., Садовская Н.В., Салько А.Е.
Аппаратурное оформление и некоторые технологические аспекты применения реакций химического осаждения меди для получения медных покрытий на волокнах полиэтилентерефталата

40 Белоножко М.Г.
Оптимальная оценка параметров самосогласованных составляющих аномального гравитационного поля Земли с привлечением картографических данных и дополнительных точечных измерений

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

43 Шаймарданов А.М., Звонарёв В.В., Попов А.С., Петрова Е.А.
Анализ перспектив развития и применения беспилотных летательных аппаратов

50 Захаров В.Л., Витомский Е.В.
Методы построения помехозащищенных ППРЧ-сигналов

55 Захаров В.Л., Смирнов Д.В., Чечин Г.В.
Основные особенности систем персональной подвижной связи на базе перспективных геостационарных спутников-ретрансляторов

60 Зеленевский В.В., Ржаных А.В., Зеленевский А.В., Шмырин Е.В.
Тактовая синхронизация в системах передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных

65 Потапов С.Е.
Операторный метод математического моделирования протоколов управления логическим каналом передачи данных

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

73 Борисенков И.Л., Атакищев О.И., Смирнов Я.Д.
Коллегиальные метаграмматики и особенности их использования при формировании программ создания систем информационной безопасности в условиях динамично изменяющейся обстановки

79 Каширина О.Ю., Каширина Е.И., Кулаков В.В., Шаманов В.А.
Основные направления развития перспективных автоматизированных комплексов в интересах Сухопутных войск

84 Царьков А.Н., Смуров С.В., Волков Г.Г., Масликов А.А., Капитонов И.Ю.
Симметрийно-групповые расширения аксиом квантовой физики в динамике квантовых спиновых систем

93 Смуров С.В., Салько А.Е., Загарских В.И., Кузин Е.Н.
Экстренное уничтожение твердотельных носителей информации термическим методом

95 Никитин А.К.
Применение метода К-средних для оценки локальных областей на спекл-изображениях

98 Аляева Ю.В., Емелин Н.М.
Алгоритм оценки достаточности журналов, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий

101 Квашенников В.В.
Вычисление арифметических операций над полями Галуа на основе разложения полей на подполя

105 Бикмаев Р.Р., Садеков Р.Н.
Особенности применения свёрточных нейронных сетей в задаче распознавания морских надводных объектов

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

111 Царьков А.Н., Царькова Е.А.
Инновационный препарат «ТАМЕРОН»

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА

116 Бугаков И.А.
Как создать дружественный искусственный интеллект

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

122 Кошкин Е.Н.
Особенности формирования морально-боевых качеств у курсантов военных вузов РВСН

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ

124 Медведев В.В., Поспехов Д.В., Аляева Ю.В.
Роль государственных научных центров Российской Федерации в реализации национального проекта «Наука»

128 СОБЫТИЯ

129 AUTHORS

131 ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

132 ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ Института инженерной физики

№4 (54) 2019

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
№ 4 (54)
2019

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

Евгений Михайлович Ананьев

Первый Вице-президент Института – Первый заместитель генерального директора,
почётный работник науки и техники РФ,
кандидат технических наук, доцент
член-корреспондент АИО

Дорогие друзья!
Уважаемые коллеги и партнеры!

Неумолимо приближается самый радостный праздник в году – Новый год. Праздник, по большому счёту, самый семейный. И мы, коллектив Института инженерной физики, за без малого 27 лет совместной работы, вполне можем считать себя большой дружной трудовой семьей. Провожая год уходящий все мы подводим итоги. Радуемся достигнутому…

Год 2019-й для нашего Института был насыщен достижениями и событиями, в которых диалектически переплетены научная, образовательная и производственная деятельность.

Мы продолжили уверенно считаться одним из ведущих инновационных научных центров Подмосковья, постоянно повышающим качественный уровень проведения фундаментально-поисковых работ, НИОКР; внедряющим новые технологии и достижения прикладных наук в проекты развития производства, ВВТ. В первую очередь это касается уникальных и востребованных в оборонной промышленности и гражданской сфере на государственном уровне разработок в области АСУ и связи, навигации и геодезического обеспечения, физико-энергетических систем, защиты информации, медицины, квантовых информационных технологий.

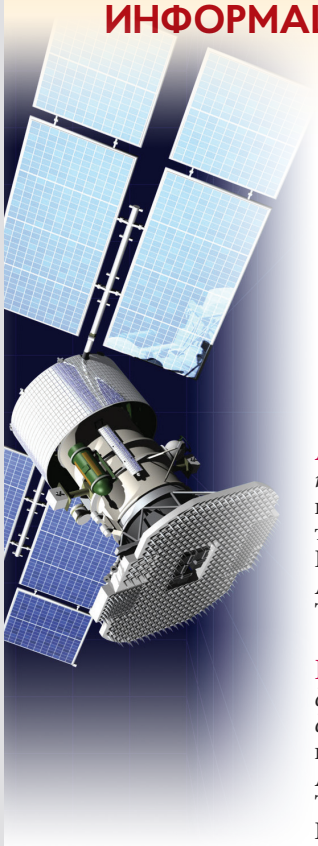
На основании рекомендации ВАК на базе МОУ «ИИФ» как ведущей научной организации приказом Минобрнауки РФ от 1.02.2019 создан специальный диссертационный совет ДС 522.001.01, которому дано право принимать к защите и проводить защиты диссертаций по научным специальностям: 05.12.13. Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки); 05.13.19. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки).

А приказом Федеральной службы в сфере образования и науки №940 от 3.07.2019 «О государственной аккредитации образовательной деятельности МОУ «ИИФ» наш Институт признан прошедшим государственную аккредитацию образовательной деятельности в отношении уровня профессионального образования по укрупнённым группам профессий, специальностей и направлений подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (09.00.00. Информатика и вычислительная техника; 10.00.00. Информационная безопасность; 11.00.00. Электроника, радиотехника и системы связи) сроком на 6 лет.

В уходящем году в полном объеме реализован пилотный производственный проект мелкосерийного производства, который в ближайшее время будет перенесён в новый производственно-технологический комплекс Института. Уже завершено его строительство, идёт подготовка к вводу в эксплуатацию, внутренняя отделка, комплектование оборудованием. Площадь комплекса 5 000 м^2, он рассчитан на 300 рабочих мест. В нём будет налажено серийное производство автономных систем пожаротушения; изделий различного назначения, оснащенных системой электрообогрева; косметических, гигиенических средств и др.

Да, в 2019-м многое сделано, но многое ещё нам сделать предстоит. Мы с уверенностью смотрим в будущее, понимая, что главное – не останавливаться на достигнутом. Ведь залог успешного развития Института – постоянное совершенствование научной, производственной и материально-технической базы, системный подход к решению задач, и, конечно, коллектив профессионалов, способных идти в ногу со временем, наращивая свой потенциал, приобретая опыт, уверенных в успехе общего дела на благо России.

От всей души поздравляю с наступающим Новым годом и Рождеством Христовым! Желаю крепкого здоровья, благополучия, а нашему Институту дальнейших успехов и процветания!



УДК 621.396.988

ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ АВТОНОМНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

APPROACH TO MODELING THE OPERATION OF ON-BOARD EQUIPMENT OF AUTONOMOUS SPACECRAFT FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION USING FUZZY LOGIC

Андрей Анатольевич Хаматов
кандидат технических наук
преподаватель кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения ВКА имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13
Тел.: 8 (911) 256-89-82

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

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

Аннотация

Одним из ключевых моментов повышения обороноспособности страны является наращивание орбитальной группировки космических аппаратов. Для обеспечения ее наибольшей эффективности необходимо добиться высокой степени автономности космического аппарата. В статье сформулированы основные требования к автономности космического аппарата, представлена математическая модель бортовой системы космического аппарата. Обоснована необходимость совершенствования системы контроля технических средств бортовой аппаратуры космического аппарата на основе применения нечеткой логики.

Ключевые слова: космический комплекс, космический аппарат, техническое состояние, конечно-автоматная модель, бортовая аппаратура.

Summary

Annotation: one of the key moments of increasing the country's defense capability is the build-up of the orbital grouping of spacecraft. To ensure its greatest efficiency, it is necessary to achieve a high degree of autonomy of the spacecraft. The article formulates the basic requirements for the autonomy of a spacecraft, presents a mathematical model of the onboard system of a spacecraft. The necessity of improving the control system of technical equipment of the onboard equipment of the spacecraft based on the use of fuzzy logic is substantiated.

Keywords: space complex, spacecraft, technical condition, finite-automaton model, onboard equipment.

Введение

На возможности космических комплексов (КК) существенное влияние оказывает степень автономности космических аппаратов (КА), входящих в КК. Автономность КА – это комплексное свойство, характеризующее способность КА функционировать в течение определенного интервала времени с заданным уровнем эффективности без связи с наземными службами или другими орбитальными средствами [1]. Степень автономности КА можно определить с помощью количественной оценки выполняемых автономно функций, в числе которых основную роль играет контроль технического состояния (ТС) бортовой аппаратуры (БА) КА.

Проведенный анализ отказов изделий ракетно-космической техники (РКТ), выявленных за последние несколько лет на этапе целевого функционирования, показывает, что используемые методы контроля ТС не позволяют с требуемой достоверностью определить ТС. Причины отказов не удается установить более чем в 20% случаев [2]. Данное обстоятельство в целом приводит к повышению стоимости эксплуатации БА и снижает эффективность применения КА в целом.

Одними из основных требований к перспективным КА являются увеличение срока их автономного функционирования и сокращение количества сеансов телеконтроля [3].

Модель функционирования БА КА при применении по назначению с использованием перспективных средств контроля по схеме, основанной на принципе сравнения, играет роль эталона, который соответствует исправному состоянию объекта контроля (ОК).

Применительно к целевому функционированию БА КА использование управляющих воздействий (с учётом времени их выполнения) и возможность дискретизации состояний БА КА по значениям выходных контролируемых (телеметрируемых) параметров (ТМП), позволяют рассматривать БА КА как объект с дискретным входом D_X (множество команд управления) и дискретным выходом D_Y (множество ТМП), функционирующий в дискретные моменты. Из предположения о том, что БА КА как искусственно созданный объект не может иметь бесконечного разнообразия ТМП, следует, что множество состояний Q БА КА является конечным. Таким образом, можно рассматривать БА КА как дискретную динамическую систему. Так как множества D_X, D_Y, Q являются конечными, то в дальнейшем представим модель функционирования БА КА в виде конечного автомата.

В процессе эксплуатации осуществляется переработка входной информации, хранящейся во входных УВ, в последовательность изменений выходной информации, заключенной в значениях ТМП, описывающих изменения состояний БА КА.

С другой стороны, каждому состоянию БА КА в зависимости от того, насколько БА правильно функционирует, исправна или работоспособна, можно присвоить значение некоторой лингвистической (нечеткой) переменной. Аналогично, любое значение каждого ТМП в зависимости от близости к допуску можно оценить лингвистически. Причем конкретный набор значений ТМП может соответствовать только одному ТС.

Исходя из вышеизложенного, процесс совершенствования контроля ТС БА КА будем решать путем разработки методов и средств автономного контроля на основе применения конечно-автоматных моделей (КАМ) и нечеткой логики [4, 5].

Постановка задачи синтеза математической модели бортовой системы КА

Предлагается следующая математическая постановка задачи.

Дано:

C – некоторая система из состава БА КА;

$\Delta_{кон}$ – алгоритм контроля ТС системы C;

$D(\Delta_{кон})$ – достоверность контроля ТС системы C с помощью алгоритма $\Delta_{кон}$.

Требуется: разработать КАМ, описывающую процесс функционирования и контроля системы C вида

$$A(C)=<X, Y, Q_н, f_н, j> при\ D(\Delta_{нл})>D(_{\Delta кон}), \quad (1)$$

где X – множество входных воздействий;

Y – множество выходных переменных;

$Q_н$ – нечеткое множество состояний. Под нечетким состоянием понимается состояние типа: «исправно», «достаточно исправно», «почти исправно», «неисправно», $Q_н = \{(q, \mu_q(q))\}$;

$f_н$ – нечеткая функция переходов, $f_н: Q_н \times X \to Q_н$;

j – функция выходов, $j: Q \to Y$;

$\Delta_{нл}$ – алгоритм контроля ТС системы С с использованием нечеткой логики;

$D(\Delta_{нл})$ – достоверность контроля ТС системы С с помощью алгоритма $\Delta_{нл}$.

В синтезируемой КАМ целесообразно предусмотреть следующие стандартные процедуры:

1. Разбиение процесса контроля на два этапа. На первом этапе производится контроль правильности функционирования при работе в штатных режимах с учетом прогноза. На втором этапе (при отказе) система производит локализацию отказа и восстановление работоспособности.

2. Увеличение числа контролируемых параметров для обеспечения достаточной полноты контроля. Некоторое увеличение стоимости системы должно перекрываться ростом достоверности контроля ТС.

3. Введение дополнительных режимов работы системы: контроль правильности функционирования (в том числе с учетом прогноза показаний ТМП), выявление неправильного функционирования (определение степени работоспособности), проведение тестирования системы, обнаружение отказа, локализация отказа (внутреннего или внешнего), адаптация системы контроля, восстановление работоспособности (при обратимом и необратимом отказах).

Синтез конечно-автоматной модели

В качестве примера для синтеза КАМ выберем бортовую информационно-телеметрическую систему (БИТС) БР-91Ц-1 [7]. Выбранная система устанавливается на большое число КА разлчного назначения. БИТС служит для регистрации и передачи телеметрической информации через радиолинию, ее запоминания и воспроизведения.

В БИТС предусмотрены следующие режимы работы:

- непосредственная передача (НП);
- запоминание и хранение информации (ЗИ);
- непосредственная передачи одновременно с запоминанием (НП+ЗИ);

● непосредственная передача одновременно с воспроизведением запомненной информации (НП+ВОСПР. 1,2,3);

БИТС обеспечивает привязку записанной информации к текущему времени объекта и к наземному времени.

На *рисунке 1* представлена структурная схема одного из вариантов применения БИТС БР-91Ц-1 на конкретном КА (СА – специальная аппаратура, ПО – приборный отсек, АО – агрегатный отсек, БЦВМ – цифровая вычислительная машина).

Перечень приборов, входящих в состав БИТС, включает в себя:

● два комплекта основных коммутаторов-шифраторов (ОКШ1, ОКШ2);
● два комплекта хронизаторов (ХР1, ХР2);
● распределительное устройство (РУ);
● восемь локальных коммутаторов (ЛК1 – ЛК8);
● восемь блоков кроссировки (БК1 – БК8);
● систему измерения температур, состоящую из четырех коммутаторов (СИТ2, СИТ4, СИТ6, СИТ7) и четырех кроссировочных блоков (БКС2, БКС4, БКС6, БКС7);
● два комплекта бортовых передатчиков (БП1, БП2);
● два комплекта разравнивателей для запоминающих устройств (РЗУ1, РЗУ2);
● два комплекта устройств обмена (УО1, УО2);
● два комплекта запоминающих устройств (ЗУ1, ЗУ2);
● датчик пилообразного напряжения (ДПН);
● два преобразователя временной информации (ПВИ1, ПВИ2).

Синтез КАМ предполагается в рамках комбинированной схемы контроля, которая основана на сочетании работы бортовых и наземных средств контроля (*рисунок 2*).

Контрольная информация (КИ) поступает с БА на БИТС. Далее КИ циркулирует по двум контурам. При использовании наземного контура управления КИ поступает в наземную при-

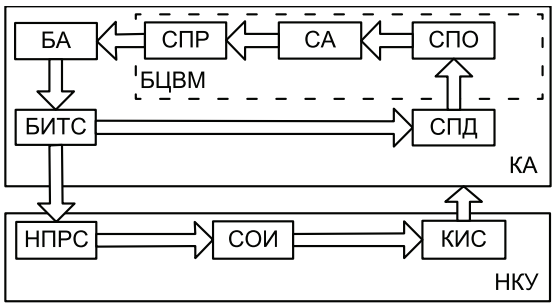


Рис. 2. Комбинированная схема контроля ТС БА КА

емно-регистрирующую станцию (НПРС), затем в системе обработке информации (СОИ) КИ анализируется. На основе анализа принимается решение о техническом состоянии КА, и при необходимости с командно-измерительной станции (КИС) на КА выдаются команды управления. В бортовом контуре КИ с БИТС поступает в систему подготовки данных (СПД) и далее в БЦВМ. В БЦВМ происходит предварительная обработка данных [в системе предварительной обработки (СПО)], анализ [в системе анализа (СА)] и принимается решение [в системе принятия решения (СПР)]. С БЦВМ на основе анализа КИ на БА поступают управляющие воздействия.

Предлагается следующий алгоритм работы БИТС в случае контроля ее ТС на основе нечеткой логики. При штатном функционировании БИТС в одном из множества рабочих режимов Q_l в реальном масштабе времени на основе показаний датчиков множества основных контрольных параметров Y_l (соответственно технической документации) осуществляется контроль правильности функционирования БИТС, в том числе прогноз ее технического состояния.

Переход между рабочими режимами осуществляется по командам из множества X_l. Каждому рабочему режиму соответствует нечеткое множество технических состояний Qн. Помимо очевидных ТС – «работоспособно», «неработоспособно» или «исправно», «неисправно» – предполагается наличие некоторого количества промежуточных (нечетких) состояний. Точное определение количества промежуточных ТС выходит за рамки данной работы.

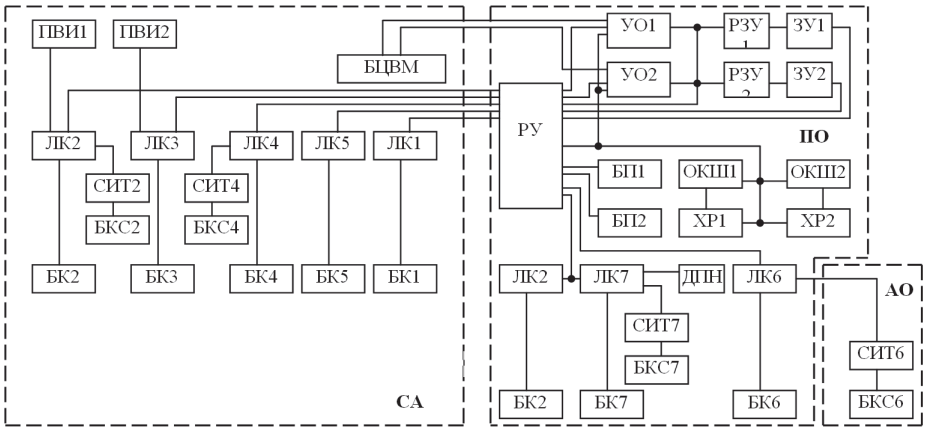


Рис.1. Структурная схема варианта применения БИТС БР-91Ц-1

Одним из возможных вариантов решения этой задачи может быть метод экспертных оценок. С другой стороны, в соответствии с постановкой задачи одним из дополнительных режимов работы для БИТС является режим тестового контроля. Анализ показывает, что для автономного КА логика работы тестового контроля в зависимости от возможности совмещения тестового контроля и работы в рабочем режиме может иметь следующие уровни: без выхода из рабочего режима (T_1), с кратковременным выходом из рабочего режима (T_2) и с полным выходом из рабочего режима (T_3). Очевидно, что данные уровни могут различаться также и по своей возможности распознавания. Тогда целесообразно с нечеткими состояниями поставить в соответствие уровни тестового контроля следующим образом: ТС «исправно» – проведение тестового контроля не предполагается; ТС «достаточно исправно» – предполагается проведение T_1; ТС «почти исправно» – предполагается проведение T_2; ТС «неисправно» – предполагается проведение T_3. Таким образом, для данного рабочего режима предполагается нечеткое множество из четырех ТС.

При отклонении контрольных параметров из множества Y_1 от нормы в соответствии с алгоритмом $\Delta_{нл}$ контроля ТС с использованием нечеткой логики БИТС переходит в один из множества режимов неправильного функционирования Q_2. В зависимости от величины отклонения БИТС находится в одном из трех ТС, которые указаны выше и характеризуют степень неправильности функционирования. Сделаем допущение, что такой переход осуществляется по условной нечеткой команде из множества X_2. Под условной нечеткой командой понимается переход (как правило, случайный) системы из одного нечеткого состояния в другое под воздействием внешних или внутренних неконтролируемых факторов.

Далее в БЦВМ принимается решение на включение режима тестового контроля из множества Q_3, соответствующего выявленному ТС. Переход осуществляется по команде из множества X_3. Тестовый контроль осуществляется по множеству контрольных параметров Y_1, но для контроля правильности функционирования в данном режиме дополнительно анализируются показания множества параметров самого тестового контроля Y_2.

Если на основе данных тестового контроля множества параметров Y_1 решение о неправильном функционировании не подтверждается, то БИТС сначала по команде из множества X_6 переходит в один из режимов восстановления, адаптации и перепланирования Q_6, а затем по команде из множества X_1 возвращается в рабочий режим из множества Q_1. Если решение подтверждается, то система по команде X_4 переходит в режим локализации неисправности из множества Q_4.

Локализация неисправности происходит на основе информации от множества дополнительных контрольных параметров Y_4 (в том числе от смежных систем). Определение множества Y_4 выходит за рамки данной работы.

Если показания дополнительных контрольных параметров множества Y_4 отклонились от нормы, то БИТС по условной нечеткой команде из множества X_5 переходит в режим неисправности из множества Q_5 и далее по команде из множества X_3 – в один из режимов тестового контроля Q_3. Аналогично множеству режимов неправильного функционирования Q_2 во множестве режимов Q_5 предполагается нечеткая оценка работоспособности: «работоспособно», «достаточно работоспособно», «почти работоспособно» и «неработоспособно». С каждым из указанных нечетких состояний ставится в соответствие уровень тестового контроля.

После проведения тестового контроля БИТС по команде из множества X_6 переходит в один из режимов восстановления, адаптации и перепланирования Q_6 и далее по команде из множества X_1 возвращается в один из рабочих режимов множества Q_1.

Алгоритм синтеза КАМ может включать следующие этапы:

1. Определение возможных состояний системы.
2. Определение переходов системы из одного состояния в другое.
3. Построение КАМ функционирования БИТС на основе введения дополнительных контрольных параметров и нечеткой логики.

Для повышения наглядности состояния БИТС целесообразно сгруппировать по множествам режимов. Ими являются:

- Q_1 – множество режимов штатного функционирования, а также осуществления контроля правильности функционирования (в том числе с учетом прогноза показаний контрольных параметров), которому соответствует множество контрольных параметров Y1(Q1) – множество основных контрольных параметров (соответственно технической документации), при этом функция выходов φ1: Q1→Y1.
- Q_2 – множество режимов неправильного функционирования, которому соответствует множество контрольных параметров Y1(Q2) – множество основных контрольных параметров (соответственно технической документации), при этом функция выходов φ2: Q2→Y1.

● Q_3 – множество режимов тестового контроля, которому соответствует множество контрольных параметров Y3(Q3) =Y1+Y2, где Y2 – множество параметров процесса тестового контроля, при этом функция выходов φ3: Q3→Y3.

● Q_4 – множество режимов локализации неисправности, которому соответствует множество контрольных параметров Y4(Q4) – множество дополнительных контрольных параметров, при этом функция выходов φ4: Q4→Y4.

● Q_5 – множество режимов неисправности, которому соответствует множество контрольных параметров Y4(Q5) – множество дополнительных контрольных параметров, при этом функция выходов φ5: Q5→Y4.

● Q_6 – множество режимов восстановления, перепланирования работы или адаптации, которому соответствует множество контрольных параметров Y6(Q6) =Y1+Y4, где Y6 – множество параметров процессов восстановления, перепланирования работы или адаптации контроля, при этом функция выходов φ6: Q6→Y6.

Определим возможные множества команд:

● X_1 – множество команд на переход в один из рабочих режимов Q1 из другого рабочего режима Q1, из режима тестового контроля Q3 и из режима восстановления, перепланирования работы или адаптации Q6;

● X_2 – множество условных нечетких команд на переход в режим неправильного функционирования системы из рабочего режима Q1;

● X_3 – множество команд на переход в режим тестового контроля Q3 из режима неправильного функционирования Q2 и из режима неисправности Q5;

● X_4 – множество команд на переход в режим локализации неисправности Q4 из режима тестового контроля Q_3;

● X_5 – множество условных нечетких команд на переход в режим неисправности Q_5 из режима локализации неисправности Q_4;

● X_6 – множество команд на переход в режим восстановления, перепланирования работы или адаптации Q6 из режима тестового контроля Q_3.

Матрица переходов показана в *таблице 1*.

Граф обобщенной КАМ показан на *рисунке 3*.

Таблица 1

Матрица переходов

	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
Q_1	X_1/Y_1	X_2/Y_1				
Q_2			X_3/Y_3			
Q_3	X_1/Y_1			X_4/Y_4		X_6/Y_6
Q_4					X_5/Y_4	
Q_5			X_3/Y_3Y_4			
Q_6	X_1/Y_1					

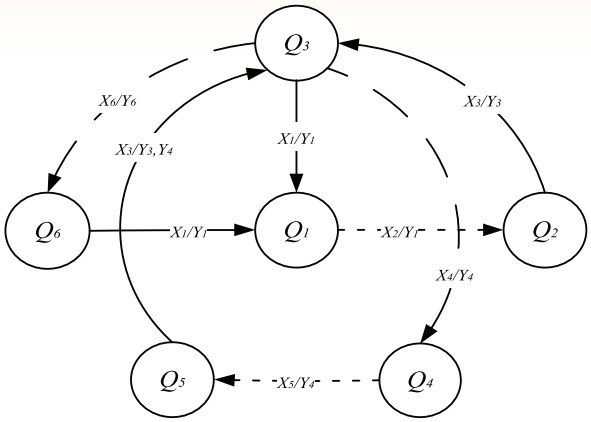


Рис. 3. Граф конечно-автоматной модели

Выводы

1. В рамках современных требований к автономности КА обоснована необходимость совершенствования системы контроля ТС БА КА на основе применения КАМ и нечеткой логики.

2. Предложена математическая постановка задачи синтеза КАМ БА КА для последующего применения алгоритмов контроля ТС на основе нечеткой логики.

3. Предложен базовый подход к синтезу КАМ БА КА, на основе которого в дальнейшем можно построить метод контроля ТС БА КА на основе нечеткой логики.

Литература

1. Ефимов В.В. Нейроподобные сети в бортовых информационно-управляющих комплексах летательных аппаратов. СПб.: ВИККА им. А.Ф. Можайского, 1996. 113 с.

2. Теоретические основы и методы оптимизации анализа технического состояния систем: Моногр. / В.В. Мышко, А.Н. Кравцов, Е.В. Копкин, В.А. Чикуров. СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2013. 303 с.

3. Орлов А.Г., Севастьянов Н.Н. Бортовой ретрансляционный комплекс (БРК) спутника связи. Принципы работы, построение, параметры / науч. ред. В.Н. Бранец. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. 208 с.

4. Козырев Г.И., Лоскутов А.И. Основы испытаний бортовых радиоэлектронных систем: учеб. пособие. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. 158 с.

5. Адаменко А.Н. Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие / Адаменко А.Н., Войцеховский С.В., Компаниец Р.И. и др. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. 291 с.

7. БР-91Ц-1. Техническое описание. ИЮ.381.224 ТО. 1973 г. 103 с.

УДК: 621.373.13; 004.31; 537.8.029

О ВЛИЯНИИ МОЩНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПАРАМЕТРЫ СТАНДАРТОВ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ

ABOUT ACTION OF POWERFULL NON–STATIONARY PROCESSES ON TIME AND FREQUENCY STANDARD PARAMETERS

Виктор Анатольевич Панчелюга
кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-92-62
E-mail: panvic333@list.ru

Мария Сергеевна Панчелюга
научный сотрудник
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-92-62
E-mail: panvic333@list.ru

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)73-92-62
E-mail: 1253vadim@mail.ru

Аннотация
В работе дан краткий обзор экспериментальных работ, в которых отмечается влияние мощных нестационарных процессов на частоту ультрастабильных кварцевых генераторов, водородных и рубидиевых стандартов времени и частоты. Такие влияния имеют импульсный или периодический характер. Найден спектр, содержащий все известные из литературы периодические влияния.
Ключевые слова: стандарты времени и частоты, нестационарные процессы, локальный фрактальный анализ, альфа-распад.

Summary
Revues of experimental works concerning action of powerful non-stationary processes on frequency standards parameters are given. Such actions can be pulsed or periodical. Spectra containing all known frequencies are found.
Keywords: frequency standards, non-stationary processes, local fractal analysis, alpha-decay.

Введение. Обзор экспериментальных работ

Стандарты времени и частоты являются одними из важнейших элементов практически любых сложных электронных систем. Они отвечают за синхронизацию работы отдельных блоков таких систем, определяют точность любых цифровых измерений, играют определяющую роль в точности систем глобального позиционирования. Их техническая реализация основана, как правило, на наиболее широко используемых кварцевых генераторах (относительная стабильность частоты варьируется от, примерно, 10^{-4}…10^{-6} без применения специальных мер стабилизации до 10^{-11}…10^{-12} в случае применения таких мер), а также на атомных стандартах частоты: рубидиевых (10^{-10}…10^{-13}), цезиевых (10^{-13}…10^{-15}) и водородных ($\sim 10^{-16}$). Последние два из перечисленных используются, например, в качестве национальных стандартов времени и частоты. Необходимо отметить, что указанные точности реализуются на достаточно коротких временных интервалах. [1]

В случае необходимости измерения очень больших временных интервалов практически безальтернативными являются радиоуглеродные методы датирования, в которых «часами» служит стабильность и предсказуемость средней

скорости радиоактивного распада. Так, шкала радиоактивных «часов» на изотопе ^{14}C охватывает интервал времени в 50 тыс. лет [2]. В случае необходимости определить бóльшие промежутки времени используют изотопы с меньшей скоростью распада. Например, калий-аргоновый метод позволяет датировать образцы с возрастом равным возрасту Земли [3-4].

Очевидна важность стабильности, точности, используемых стандартов определяемых «равномерностью хода» данных приборов. Наряду с хорошо известными факторами, влияющими на «равномерность хода» (наводки, геофизические факторы, нестабильность питающих напряжений и т.д.) в настоящее время существует ряд разрозненных экспериментальных исследований, в которых обнаружены внешние неидентифицируемые влияния на частоту ультрастабильных кварцевых генераторов и атомных стандартов времени и частоты. Рассмотрим некоторые из таких исследований.

Каирское землетрясение 13 октября 1992 года

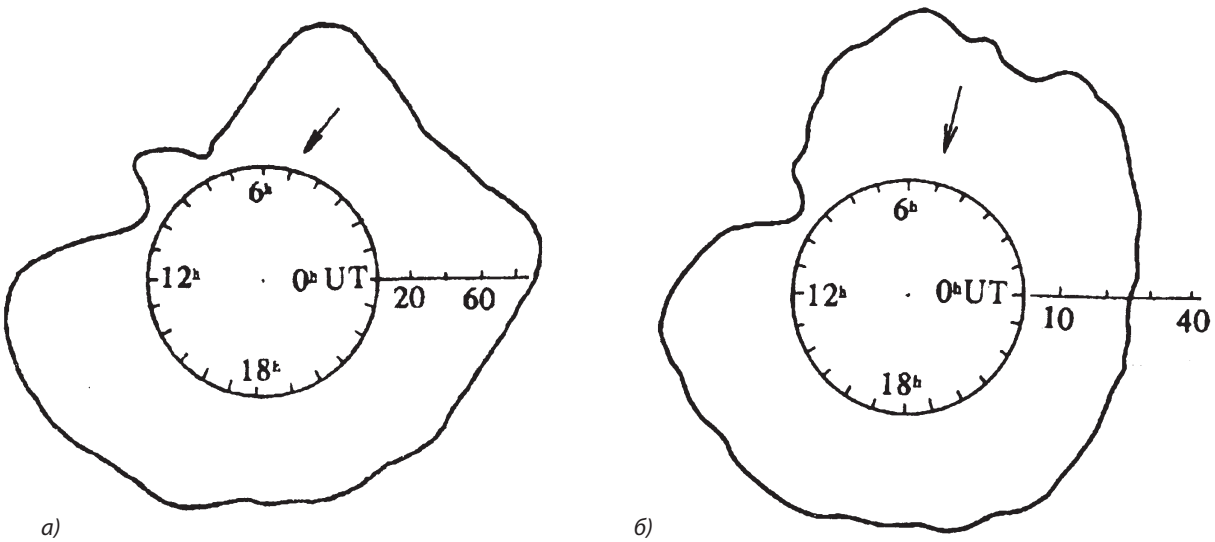
В работе [5] приведены результаты измерений фазоразностного сигнала двух высокостабильных кварцевых генераторов, которые были выполнены в Томске во время Каирского землетрясения в октябре 1992 года. Было обнаружено, что в момент толчка происходит сбой фазы колебаний фазоразностного сигнала и переход от квазипериодических колебаний с периодом 70-80 сек к режиму практически гармонических колебаний с периодом 160 сек.

Работы Н.В. Клочека и сотрудников: Т-сигнал и его свойства

В этих работах в качестве чувствительных элементов использовались прецизионные кварцевые резонаторы опорных автогенераторов стандартных электронносчетных частотомеров с рабочей частотой 5 МГц. Эти резонаторы защищены от внешней среды: вакуумированы, термостатированы и экранированы от внешних электромагнитных полей. Кроме того, они были определенным образом ориентированы в пространстве. Для выделения относительных противофазных изменений резонансных частот один из частотомеров системы работал в режиме датчика секундных меток, другой – приемника, измеряющего период следования этих меток в своей временной шкале [6-7].

Регистрируемый сигнал был назвал Т-сигналом, очевидно из-за того, что генераторы системы были расположены под углом 90° друг к другу. Такое расположение, как показано в [8], приводит к тому, что эффективность воздействия на кристалл каждого из генераторов неодинакова и, следовательно, она может проявить себя как относительные противофазные изменения их резонансных частот.

Анализ полученных временных рядов показал, что для них характерно присутствие вариаций порядка десятков минут и более на фоне четко выделяющегося суточного ритма переменной амплитуды. Достаточно длительный ряд наблюдений (около года) позволил выделить основные черты суточного хода Т-сигнала, рисунок 1. Обращает на себя внимание увеличение сигнала в утренние часы и в местный полдень, существенное уменьшение сигнала в вечерние часы и устойчивое поведение сигнала в ночное время. Определенно такой характер суточного хода зависит от местного времени, т.е. от положения Солнца относительно регистрирующей системы.



а) *б)*

Рис. 1. а) Суточный ход Т-сигнала; б) то же, после изменения конфигурации системы

Можно допустить, что уровень Т-сигнала связан с уровнем солнечной активности. Сопоставление плотности потока солнечного радиоизлучения на разных частотах с поведением Т-сигнала вблизи местного полдня показало, что наилучшая корреляция наблюдается для частоты 4995МГц (6см). Радиоизлучение, соответствующее этой частоте, генерируется в верхней хромосфере, в то время как для частоты 260МГц (1.15м), относящейся к уровню верхней короны корреляция с Т-сигналом практически отсутствует. Вместе с тем, изменение конфигурации системы, а именно, увеличение расстояния между резонаторами, привело к изменению суточного хода Т-сигнала, рисунок 1 б). В данном случае наилучшая корреляция наблюдалась с плотностью потока радиоизлучения Солнца на частоте 260 МГц. Следовательно, можно думать, что симметричное относительно момента кульминации возрастание Т-сигнала обязано областям верхней короны. По-видимому, Солнце является источником рассматриваемого неэлектромагнитного волнового излучения в широком диапазоне «длин волн». Принципиально, что изменение конфигурации резонансной системы дает потенциальную возможность ее настройки на разные диапазоны.

Сравнение спектра мощности Т-сигнала со спектром рентгеновского излучения Солнца показало наличие практически совпадающих околочасового периода и периода 36-38 мин. Такие же периодичности наблюдались в работе [9] в вариациях относительной мощности двух стандартов частоты. Отсюда делается вывод, что солнечное электромагнитное излучение и исследуемое излучение неэлектромагнитной природы, по-видимому, имеют одни и те же пространственно-совмещенные источники.

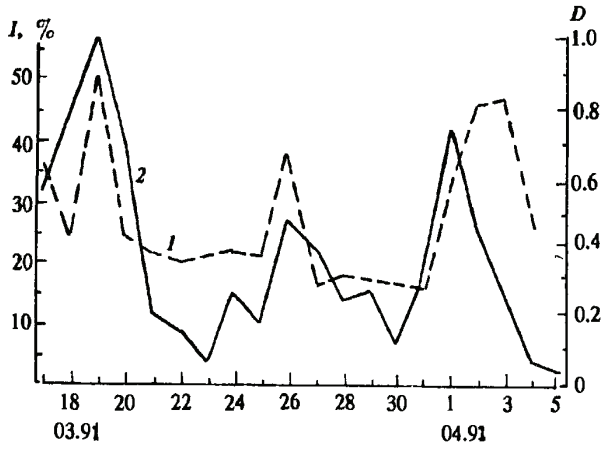


Рис. 2. Интенсивность свечения культуры фотобактерий (1) и относительная суточная дисперсия Т-сигнала 18.03-5.04.1991 (2). [7]

Для исследования биологической активности регистрируемого излучения Н.В. Клочеком были проведены параллельные регистрации Т-сигнала, а сотрудниками НИИ биологии ИГУ (Иркутск) под руководством Д.И. Стомма – измерения интенсивности свечения культуры фотобактерий, находящихся в средоизолирующем боксе. Оказалось, что изменение светимости фотобактерий, определяемое колориметрическим методом, и поведение относительной суточной дисперсии Т-сигнала во временном интервале 18 марта – 5 апреля 1 991 г. весьма сходны. Коэффициент корреляции составил 0.9, что является весомым доводом в пользу биологической активности регистрируемого излучения (*рисунок 2*).

Также была показана хорошая корреляция Т-сигнала с К-индексом геомагнитной активности для среднеширотной зоны и изменениями электрокожного сопротивления человека. Отмечается опережение дисперсии Т-сигнала по отношению к геомагнитной активности. Опережение составляет 3-5 суток и тем больше, чем больше возмущение геомагнитного поля.

Н.В. Клочек [6-7] заключает, что имеются многочисленные теоретические предпосылки и экспериментальные свидетельства в пользу того, что реально существует космофизическое воздействие неэлектромагнитной природы, источником которого являются космические объекты, в том числе Солнце.

Флуктуации в водородных и рубидиевых стандартах времени и частоты

Временной ход флуктуаций в водородных и рубидиевых стандартах ГСВЧ СССР изучался в [9]. Выходной сигнал формировался путем сличения частот водородного и рубидиевого стандартов. В спектрах мощности, построенных на основе полученных временных рядов авторы особо выделяют значительную амплитуду периодов: 29, 40, 58, 70 мин. В работе [10] также сообщается о периодах 160, 70, 58 мин в разности частот тех же стандартов частоты. Видно, что спектры, приведенные в [9] и [10] имеют общие периоды 58 и 70 мин. В этих работах особо подчеркивается, что аппаратурные и геофизические помехи с такими временными характеристиками исключены и предполагается, что причиной наблюдаемых периодов является непосредственное воздействие процессов на Солнце на стандарты частоты.

Временные ряды GPS-поправок к «компьютерному времени»

В работе [11] исследовались флуктуации «компьютерного времени», обеспечиваемого

кварцевыми генераторами. Обнаружены регулярные флуктуации с периодами 0.5 и 1 мин. На их фоне часто наблюдались импульсы – резкие увеличения длительности цикла с амплитудой, значительно превосходящей интервал обычных регулярных флуктуаций. Временной интервал между импульсами варьировался от 15 до 43 мин, тогда как внутри этого интервала период колебаний составлял 2-3 мин. Эти работы были продолжены в 2003 г. на ст. Новолазаревская, Антарктида [12-13]. В этой серии работ исследовались временные ряды поправок к компьютерному времени, осуществляемые при помощи GPS- или ГЛОНАС-приемников.

Регистрировались величины поправок, которые были необходимы для того, чтобы время компьютера совпадало со временем, получаемым от спутниковой группировки. Найдено, что ход среднесуточных поправок компьютерного времени и ход кривой λ_D-функции (сумма основных возмущений от Солнца: эвекции (31.8 сут), вариации (14.8 сут) и годичного неравенства (265.3 сут)) хорошо совпадают в течение всего времени наблюдений, *рисунок 3*.

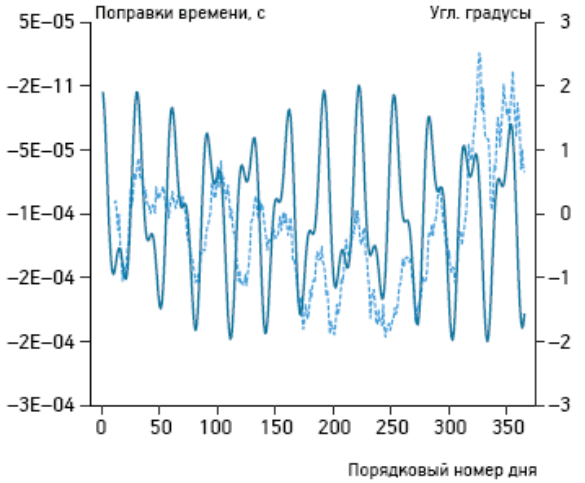


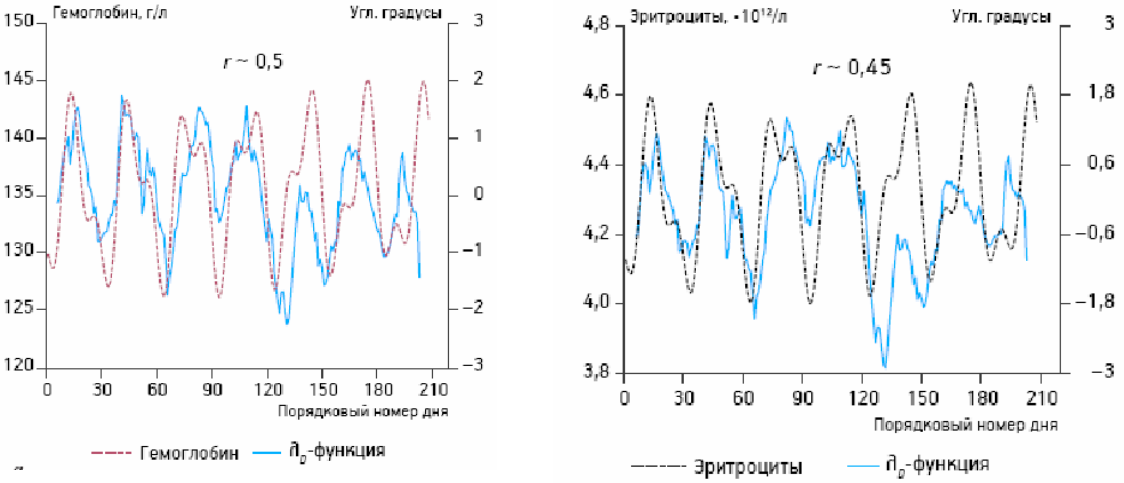
Рис. 3. Ход среднесуточных поправок компьютерного времени (пунктирная кривая) и ход кривой λ_D-функции (сплошная линия). Видно, что на протяжении года наблюдений отмечается хорошее фазовое соответствие кривых

Так же, как и в рассмотренной выше серии работ Н.В. Клочека отмечается высокая биологическая активность наблюдаемого воздействия. Так, на *рисунке 4* проведено сравнение хода среднесуточных значений гемоглобина, рис. 4 а) и эритроцитов, *рисунок 4 б*), с λ_D-функцией за период с 25.05.2000 по 18.12.2000 (г. Санкт-Петербург). Как и на *рисунке 3*, в случаях, показанных на рисунке 4, наблюдается хорошее фазовое соответствие экспериментальных кривых с ходом λ_D-функции.

Аномалии при пусках мощных ракет

В работе [14] рассмотрены нестационарные процессы, связанные с набором стартовой мощности ракет: «Ракетный двигатель до момента отрыва работает с набором стартовой мощности – имеет место нестационарный процесс, но далее в полете до отделения первой ступени она изменяется незначительно, то есть процесс уже стационарный» [14]. Анализ телеметрических данных, получаемых в этот момент, показал наличие необъяснимых аномалий. Отмечается, что наблюдаемые аномалии могут быть объяснены если предположить, что во время набора стартовой мощности происходит локальное изменение скорости хода времени.

Автор пытается объяснить механизмы наблюдаемого явления, опираясь на представления Н.А. Козырева [15] о физической природе



а) *б)*

Рис. 4. Сравнение хода среднесуточных значений гемоглобина (а) и эритроцитов (б) с λ_D-функцией за период с 25.05.2000 по 18.12.2000 г. (Санкт-Петербург)

времени. Он пишет: «Одно из положений гипотезы Козырева гласит: «Если время воздействует на систему с причинно-следственной связью, то должны меняться физические свойства вещества… изменяется частота колебаний кварцевых пластин, уменьшается электропроводность и объем ряда веществ…» Это доказано опытом. А система управления – сплошь кварцевые пластины и электропроводные вещества» [14].

Отмечается, что наблюдаемые погрешности относительно невелики, но с появлением более мощных ракет или новых задач, связанных с подобными нестационарными процессами, масштаб явления будет увеличиваться и погрешности могут стать критическими.

Экспериментальные исследования влияния модельных нестационарных процессов на ультрастабильный кварцевый генератор

Рассмотренные работы [5-14] носят, скорее, иллюстративный характер и не исчерпывают имеющуюся литературу по данной теме. Как можно заключить из [5-14], возмущения в работе ультрастабильных кварцевых генераторов, а также атомных стандартов времени и частоты связаны с мощными нестационарными процессами геофизического, солнечного и, возможно, астрофизического происхождения. Такие возмущения могут быть как постоянными во времени, так и кратковременными, импульсными. В первом случае мы наблюдаем в исследуемых стандартах некоторые периоды, а во втором – сравнительно кратковременные возмущения частоты, имеющие характер выбросов.

Для проверки данного предположения нами были организованы целенаправленные экспериментальные исследования по влиянию мощных импульсных нестационарных процессов (механический удар [16-17] и электрический разряд [18]) на частоту ультрастабильного кварцевого генератора. Данные исследования обнаружили изменение частоты ультрастабильного кварцевого генератора (10^{-10}…10^{-11} за время проведения эксперимента) происходящее в окрестности механического удара и электрического разряда чем подтвердили высказанное выше предположение. Рассмотрим их более подробно.

Мощный механический удар

В [16-17] в качестве мощного нестационарного процесса использовался процесс механического удара. Для того, чтобы выделить небольшое изменение резонансной частоты генератора использовалась схема измерений «опыт-контроль», т.е., после каждого «опыта» - регистрации сигнала на выходе кварцевого генератора в момент удара тяжелой металлической болванки о металлическую наковальню, регистрировался сигнал в отсутствие такого удара, который служил «контролем». На основе нескольких десятков чередующихся опытных и контрольных регистраций, разделенных впоследствии на две серии, рассчитывались два суммарных спектра. Разность этих спектров позволяла выявить наличие или отсутствие сдвига частоты в сигнале кварцевого генератора.

На *рисунке 5* показан результат численного моделирования формы разностного спектра, для случая, когда разность между суммарными спектрами заключается только в наличии частотного сдвига. *Рисунок 6* представляет экспериментальный разностный спектр.

Как можно видеть из *рисунка 6*, форма разностного спектра, полученная в эксперименте качественно соотвествует результатам моделирования, приведенным на *рисунке 5*. Это обстоятельство говорит в пользу того, что в эксперименте был зарегистрирован именно частотный сдвиг между разностными спектрами. Изменения разностного спектра, обусловленные другими причинами, помимо частотного сдвига, анализируются в [17], где показано, что в этом случае форма такого спектра будет кардинальным образом отличаться от приведенного на *рисунке 5*. В силу, отмеченной «узнаваемости» частотного сдвига

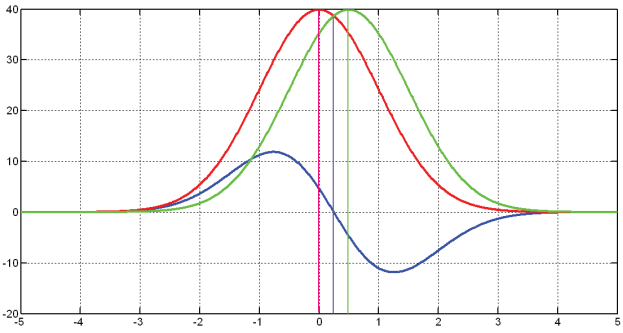


Рис. 5. Вид разностного спектра в случае, если присутствует частотный сдвиг между суммарными спектрами

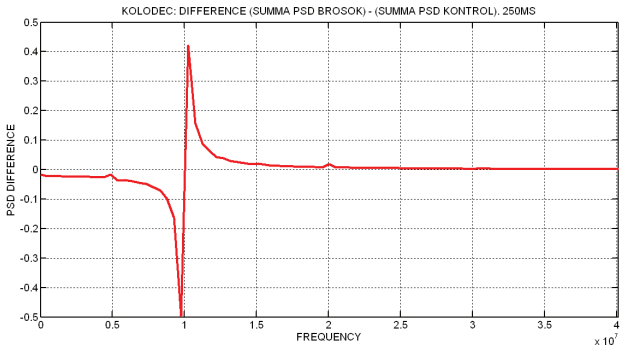


Рис. 6. Разность суммарных спектров, полученная в эксперименте

мы можем утверждать, что полученные в эксперименте разностные спектры связаны именно с изменением частоты кварцевого генератора в опыте по отношению к контролю.

Мощный электрический разряд

В работе [18] рассмотрено изменение частоты ультрастабильного кварцевого генератора в окрестности мощного электрического разряда. Использовалась та же методика проведения эксперимента, что и рассмотренная выше.

На *рисунке 7* представлен разностный спектр, полученный в результате воздействия серии электрических разрядов с энергией 4 кДж. Можно видеть, что форма спектра в этом случае также качественно совпадает с модельной, рисунок 5, что свидетельствует о том, что в данном случае мы также имеем частотный сдвиг.

Флуктуации скорости радиоактивного распада и собственные колебания Земли

Как уже отмечалось, кроме рассмотренных выше стандартов времени и частоты, в качестве ультрастабильных часов может быть использован процесс радиоактивного распада.

Действительно, практически с момента открытия радиоактивности А. Беккерелем были предприняты активные исследования возможности внешнего влияния на скорость радиоактивного распада. Наиболее активно подобные исследования, в то время, проводились школой Резерфорда. Полученные при этом отрицательные результаты сформировали устойчивое воззрение на радиоактивный распад как на абсолютно случайный, не зависящий от каких-либо внешних воздействий пуассоновский процесс. Его средние значения определяются индивидуальной для каждого радиоактивного изотопа

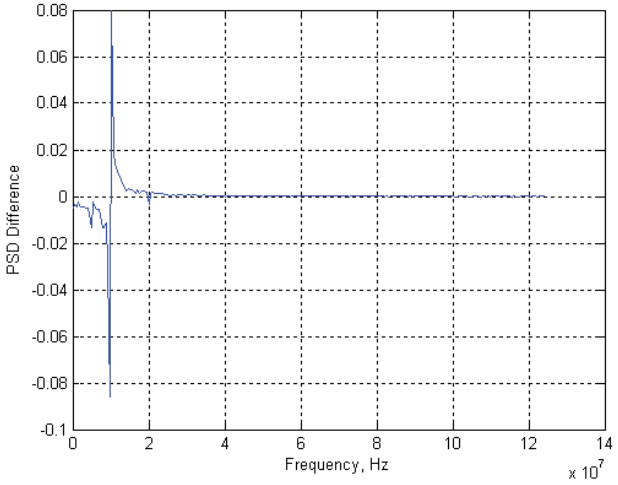


Рис. 7. Разность суммарных спектров для опыта и контроля. Исследуется воздействие момента электрического разряда (энергия 4 кДж) на частоту кварцевого генератора

константой – периодом полураспада. По этой причине, радиоактивный распад можно рассматривать как, своего рода, ультрастабильные часы скорость хода которых определяется исключительно константой распада.

Тем не менее, еще во времена Резерфорда начали появляться работы, которые давали основания считать влияние на скорость радиоактивного распада возможным [19]. Развитие квантовой теории и расширение возможностей эксперимента показали, что экстремальные влияния (сверхсильные магнитные поля, давление, изменение химического окружения, степень ионизации атома), изменяющие состояние электронной оболочки атома, могут приводить к изменению скорости различных типов распада. В качестве примера можно привести работу [20] в которой был исследован процесс β-распада полностью ионизованного ^{187}Re. Полная ионизация уменьшила период полураспада в 10^9 раз ($4.3 \cdot 10^{10}$ лет для нейтрального атома и 33 года для полностью ионизованного ядра).

В отличие от работ подобных [19-20], где на исследуемый изотоп оказывается какое-либо воздействие, в дальнейшем речь пойдет об исследовании временных рядов флуктуаций скорости радиоактивного распада, измеренных с использованием установок в которых и сами изотопы и регистрирующая аппаратура максимально защищены от внешних воздействий. Как показано, в уже достаточно многочисленной группе работ, записанные в таких максимально «тихих» условиях временные ряды содержат широкий спектр периодов.

Изменение мирового научного мнения на возможность существования упомянутых периодов, произошло с появлением серии работ, инициированной публикациями Е. Фишбаха (одна из первых [21]), в которых было продемонстрировано наличие годового периода в многолетних рядах измерений скорости β-распада. Но важно отметить, что задолго до Е. Фишбаха, о годовых периодах в радиоактивном распаде сообщалось в работах А.Г. Пархомова [22].

Необходимо отметить, что периоды короче суточного методами спектрального анализа, использованными в [21-22], не обнаружены. Такие периоды удалось обнаружить с использованием локального фрактального анализа методом всех сочетаний (МВС-анализа) [23], который позволяет находить периодичности необнаружимые спектральными методами анализа временных рядов.

Периоды, обнаруженные в [24] приведены в *таблице 1*. Они, как отмечалось, получены с использованием МВС-анализа для параметриза-

Таблица 1

Периоды из диапазона 1...120 мин, найденные во временных рядах флуктуаций скорости α-распада с использованием МВС-анализа, и соответствующие им значения собственных колебаний Земли. Значения периодов приведены в минутах. Точность определения периодов 1)-4): ±1 мин

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1)	3	9	13	22	28	33	40	46	56	-	68	-	-	-	85	95	100	106	113
2)	3	8	14	21	27	32	40	45	55	60	68	-	75	-	85	95	100	106	111
3)	4	9	14	22	28	33	40	46	56	61	69	-	76	-	85	95	100	106	113
4)	3	10	14	20	27	30	40	47	56	61	68	73		80	87	95	99	107	-
	Собственные колебания Земли									Сейсмогравитационные колебания									
М О Д Ы	$_8S_5$ … $_{15}S_2$ 4.0 … 3.0	$_1S_7$ … $_5S_2$ 10.1 … 8.0	$_0T_6$ 15.5	$_0T_4$ 21.7	$_0T_3$ 28.4	$_0S_3$ 35.6	$_2S_1$ 41.3	$_0T_2$ 44.2	$_0S_2$ 53.9	59.2 60.8	67.8	72	77	82	86.7	95.2	103	107	-

ции исходного 329-суточного массива регистраций флуктуаций скорости α-распада с последующим изучением содержащихся в нем периодов четырьмя разными методами:

1) суммированием 329 распределений временных интервалов между одинаковыми (с точностью ~ 10^{-4}) значениями МВС-размерности;

2) перемножением 329 нормированных распределений интервалов;

3) исследованием частоты встречаемости пиков на полученных распределениях интервалов;

4) то же, что и 3), но с использованием нормированных по амплитуде распределений интервалов.

Одним из важных результатов, представленного анализа является то, что приведенные в *таблице 1* периоды совпадают с периодами собственных колебаний Земли [25]. Это совпадение, как следует из *таблицы 1*, проявляется лучше всего для т.н. сейсмогравитационных или длинноволновых колебаний Земли [26].

В ходе дальнейших исследований, с использованием того же 329-суточного массива, были получены устойчивые внутрисуточные периоды в диапазоне 2-24 часа, которые суммированы в *таблице 2* [27]. В этой таблице (во второй строке) приведены, описанные в [28] периоды (даны в часах) собственных колебаний Земли, характерные для данного диапазона. Периоды, найденные с использованием МВС-метода, приведены в третьей строке *таблице 2*. Как можно видеть, в этом случае также наблюдается хорошее совпадение МВС-периодов с периодами собственных колебаний Земли.

Одной из важных особенностей спектра периодов, приведенного в *таблице 1*, является его универсальность, в том смысле, что периоды, полученные в ходе исследований флуктуационных процессов различной природы (физических, химических, биологических) совпадают с периодами, которые даны в *таблице 1* [24]. Этот же вывод справедлив и для периодов, приведенных в *таблице 2*. Их универсальность проиллюстрирована в работе [28].

Как следует из *таблицы 1*, найденному спектру периодов соответствуют как сфероидаль-

Таблица 2

Периоды из диапазона 2...24 ч. найденные во временных рядах флуктуаций скорости α-распада с использованием МВС-метода и соответствующие им значения собственных колебаний Земли. Значения периодов приведены в часах

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СКЗ	2.02	2.18	2.41	2.67	3.03	3.45	4.01	4.8	6.01	7.83	8.02
МВС-метод	2.06	2.15	2.35	2.64	3.08	3.44	4.02	4.68	6.03	7.82	7.96

Продолжение ***таблицы 2***

№	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
СКЗ	8.43	11.3	12.02	12.4	12.78	20.02	21.66	22.02	23.45	24.01	24.49
МВС-метод	8.45	11.28	12.03	12.42	12.8	20.05	21.68	22.05	23.54	24.01	24.49

ные (*S*-моды) так и крутильные (*T*-моды) моды собственных колебаний Земли. Учитывая, что только *S*-моды генерируют добавку в гравитационный потенциал Земли, можно заключить, что найденные периоды не связаны с изменением гравитационного потенциала. Можно предположить, что действующий фактор, ответственный за наблюдаемые нами периоды, модулируется механическими напряжениями, возникающими в земной коре, в результате как *S*- так и *T*-колебаний.

В заключение хотелось бы отметить, что многие из найденных нами периодов присутствуют также в спектре собственных колебаний Солнца. Возможно это дает повод говорить о глобальной ритмике Солнечной системы, рассматривая ее как совокупность слабо связанных и длительное время эволюционировавших осцилляторов, которые в процессе своей эволюции выходят на некоторый кооперативный режим движения, когда между стабильными частотами устанавливаются целочисленные отношения и все колебания в такой системе оказываются синхронизованными [29].

Заключение

Материалы, рассмотренные в первой части работы, позволяют сделать вывод, что возмущения в работе кварцевых генераторов и атомных стандартов времени и частоты связаны с мощными нестационарными процессами. Экспериментальные исследования, приведенные во второй и третьей частях настоящей статьи, подтверждают этот вывод. Во второй части моделируются мощные импульсные возмущения (механические и электрические), которые приводят к сдвигу частоты ультрастабильного кварцевого генератора. При этом постановка экспериментов [16-18] была такова, что позволяла избавиться от неизбежно возникающих механических и электрических возмущений.

Особо интересными, на наш взгляд, являются результаты работ, которые даны в третьей части. Здесь обнаружены и идентифицированы внешние влияния на один из самых «защищенных» процессов – α-распад. Энергии, необходимые для прямого воздействия на данный процесс, на много порядков превосходят как возможные геофизические влияния, так и возможные технические помехи. При этом, обнаруженные периоды оказались связанными с механическими напряжениями, возникающими в ходе собственных колебаний Земли – одним из самых мощных нестационарных процессов, возможных в земных условиях. Физический механизм этой связи, на данный момент, остается неясным и является предметом наших исследований. Также важно отметить, что все периоды, отмеченные в работах первой части принадлежат спектру, приведенному в *таблицах* 1 и 2. Этот вопрос более детально рассмотрен в [24].

Суммируя, можно считать, что влияние мощных нестационарных процессов на стандарты времени и частоты показано как в ходе лабораторных экспериментов, так и в результате исследования «природных» временных рядов. Полученные результаты могут быть полезны как для улучшения точности, так и для понимания некоторых неидентифицируемых ошибок и возмущений в системах, использующих упомянутые стандарты.

Литература

1. Одуан К., Гино Б. Измерение времени. Основы GPS. М.: Техносфера, 2002 400 с.
2. Либби В.Ф. Определение возраста по радиоуглероду. В сб.: Изотопы в геологии. М., 1954.
3. Титаева Н.А. Ядерная геохимия. М.: МГУ, 2000. 336 с.
4. Ишханов Б.С. Радиоактивность. М.: Университетская книга, 2011. 378 с.
5. Поисковые экспериментальные исследования в области спин-торсионных взаимодействий // Под. ред. В.И.Лунева. Томск: СибНИЦАЯ, 1995. 146 с.
6. Клочек Н.В., Паламарчук Л.Э., Плюснина Л.А., Никонова М.В. К вопросу о космическом воздействии неизвестной природы // Биофизика, 1992. Т. 37. Вып. 4. С. 656-660.
7. Клочек Н.В., Паламарчук Л.Э., Никонова М.В. Предварительные результаты исследований воздействия космофизического излучения неэлектромагнитной природы на физические и биологические системы // Биофизика, 1995. №40(4). С.889-896.
8. Башков В.И., Балакин А.Б., Гусев А.В. Экспериментальные тесты теории гравитации. Под. ред. Брагинского В.Б. и Денисова В.И. М.: МГУ, 1989. С.56.
9. Долгих Г.И., Копвиллем У.Х., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Об одном физическом механизме возмущения атомных стандартов частоты. М., 1979. Деп. в ВИНИТИ, №3070-79. 37с.
10. Владимирский Б.М. Солнечная активность и проблемы точных измерений // Биофизика, 1992. Т.37. Вып.3. С.500-507.
11. Шаповалов С.Н., Горшков Э.С., Борисова В.В., Соколовский В.В., Трошичев О.А. Случайные флуктуации в показаниях измерительных приборов: эффекты космофизического влияния? // Биофизика, 2001. Т.46. Вып.5. С.819-822.
12. Shapovalov S.N., Gorshkov E.S., Troshichev O.A.

et al. Effect of non-electromagnetic disturbances from the Sun in «Computer Time» Instability // Biophysics. Vol. 49 (Suppl. 1). 2004. Pp.72-79.
13. Шаповалов С.Н. Причины «космической» геронтологии: воздействие движений Земли и Луны на показатели среды обитания человека // Успехи геронтологии, 2016. Т.29. №1. С.11-22.
14. Савостьянов В. Подумать о секундах свысока. Энергия ракетного двигателя деформирует время // Военно-промышленный курьер, Выпуск № 32 (647), 24 августа 2016 г.
15. Козырев Н.А. Избранные труды. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1991. 448 с.
16. Павлов Д.Г., Панчелюга М.С., Панчелюга В.А. Поисковые исследования пространственно-временного векторного поля. Предварительные результаты // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике, 2012. Т. 9. Вып. 1. № 17. С. 162-175.
17. Павлов Д.Г., Кокарев С.С., Панчелюга М.С., Панчелюга В.А. Поисковые исследования пространственно-временных эффектов так называемого гиперболического, или Н-поля // Пространство и время, 2012. №10. Вып. 4. С.50-66.
18 Павлов Д.Г., Панчелюга М.С., Чалкин С.Ф., Панчелюга В.А. Поисковые исследования пространственно-временных эффектов гиперболического поля: изменение частоты ультрастабильного кварцевого генератора в окрестности мощного электрического разряда // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике, 2014. Том. 11. Вып. 1. № 21. С. 96-106.
19. G.L. Wendt, C.E. Irion // Experimental attempts to decompose tungsten at high temperature // J. of the American Chem. Soc., 1922, v.44, №9. Pp. 1887-1894.
20. Bosch F., Faestermann T., Friese J., et al. Observation of bound-state b

УДК. 621.398

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПОЛЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПАРАШЮТИСТА

DEVICE FOR RECORDING FLIGHT INFORMATION OF A PARACHUTIST

Владислав Сергеевич Абанин
кандидат технических наук
профессор кафедры
бронетанковой техники
Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище
Адрес: 390031, г. Рязань,
пл. генерала армии В.Ф. Маргелова, д. 1
Тел.: 8 (920) 975-08-16
E-mail: vlad-ac@mail.ru

Анатолий Георгиевич Концевой
доцент
заместитель командующего Воздушно-десантными войсками
Адрес: 119160, Москва,
ул. Матросская тишина, д. 10
Тел.: 8 (915) 595-35-35
E-mail: katerinakonts@mail.ru

Александр Вячеславович Осипов
преподаватель кафедры тактики
Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище
Адрес: 390031, г. Рязань,
пл. генерала армии В.Ф. Маргелова, д. 1
Тел.: 8 (920) 975-02-30
E-mail: 251078051101@mail.ru

Аннотация

В статье обоснована необходимость создания устройства для регистрации объективных данных об управляющих воздействиях парашютиста и изменении режимов полета планирующей парашютной системы специального назначения. Представлены некоторые результаты использования описанного устройства в реальной среде парашютного прыжка для решения прикладной задачи, направленной на разработку системы подвижности рабочего места обучаемого для динамического тренажера.

Ключевые слова: устройство для регистрации, параметры снижения парашютиста, планирующая парашютная система специального назначения, система подвижности тренажера.

Summary

The article substantiates the need to create a device for registering objective data on the control actions of a parachutist and changing flight modes of a special purpose parachuting system. Some results of using the described device in a real parachute jump environment for solving an applied task aimed at developing a system of mobility of a student's workplace for a dynamic simulator are presented.

Keywords: registration device, parachutist reduction parameters, special purpose parachute system, simulator mobility system.

Введение

Процесс управляемого снижения парашютиста от момента отделения от летательного аппарата (ЛА) до приземления обладает рядом неопределенностей для исследователей различного уровня. Отдельную категорию исследователей интересуют объективные показатели режимов работы парашютных систем, другую – осуществляемые управляющие воздействия парашютистом при снижении под куполом парашюта. Проведенный анализ методов и методик получения данных об управляемом снижении парашютиста показал, что в основном они направлены на определение показателей безопасности работы парашютных систем (ПС), таких как направление и величина перегрузки в момент раскрытия купола, обеспечение допустимой скорости вертикального снижения, показателей надежности парашютов и ряд других. Все эти методики были разработаны до 2000 годов и не корректировались в последние десятилетия. В тоже время, обеспечение Вооруженных сил России планирующими парашютными системами специального назначения (ППС СпН) существенно повышает требования к уровню обученности личного состава. В связи с этим и вопросы исследования управляемости ППС СпН требуют более досконального изучения, в том числе и с использованием современных технологий регистрации и вычисления параметров движения.

Постановка задачи

Исследуя методы траекторного моделирования движения ППС СпН [1,2,3,4] можно констатировать существенную теоретическую проработку этого научного направления. В тоже время, достаточного количества экспериментальных исследований по проверке адекватности обоснованных теоретически закономерностей не выявлено. Учитывая отсутствие технических решений, разработанных и используемых для регистрации полетной информации ППС, предполагаем, что такой необходимости до недавнего времени не было.

При разработке тренажерных систем с подвижностью рабочих мест, возникает потребность в адекватных моделях обратной связи от ППС СпН в зависимости от управляющего воздействия обучающегося парашютиста. Формирование зрительно-моторных образов действий адекватных реальным условиям прыжка в условиях наземной подготовки способствует повышению надежности навыка личного состав и общего уровня обученности. Следовательно, для практической подготовки имеет существенное значение качество моделирования подвижности при формировании навыков и умений.

Одним из путей при разработке моделей обратной связи от ППС СпН через подвесную систему на тело парашютиста является путь объективного сбора показателей движения, регистрируемых непосредственно в процессе его управляемого снижения парашютиста при реальном прыжке. В отличие от экспертного метода, используемого в основном при решении подобных задач, предлагаемый путь снижает значимость оценки эксперта в виду особенностей его восприятия процесса управляемого снижения. Следовательно, объективная оценка режимов снижения парашютиста на ППС и последующая их математическая реализация в виде моделей управления подвижностью рабочего места обучаемого повысит общую адекватность тренажера и его обучающие возможности.

Таким образом, требуется разработать устройство для регистрации полетной информации парашютиста, позволяющее после прыжка с ППС СпН проводить обработку данных и создавать базу знаний о динамических характеристиках, воспринимаемых обучаемым при различных режимах управления ППС СпН.

Устройство для регистрации полетной информации парашютиста

Проведенный нами анализ запатентованных технических решений в рассматриваемой области подтвердил наличие определенных устройств [5,6]. Однако все они обладают существенными недостатками, не позволяющими их использовать для решения поставленной задачи.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению по функциональным возможностям относится навигационный компьютер для высотных парашютных прыжков [7], предназначенный для информационной поддержки парашютиста при его свободном падении от момента покидания летательного аппарата, управляемом снижении под куполом парашютной системы и до момента приземления с целью наведения парашютиста на точку приземления. Навигационный компьютер для высотных парашютных прыжков содержит процессор, который получает в качестве входных сигналов информацию от GPS датчика в виде географических координат парашютиста и его высоты над уровнем моря, компас (магнитный датчик), инерционно-измерительное устройство и различные датчики, звуковой сигнализатор тревоги, источник питания, устройство передачи навигационной информации на внешние приемники.

Недостатком навигационного компьютера для высотных парашютных прыжков является отсутствие функции сохранения информации, также из описания не установлено какие именно параметры регистрирует инерционно-измерительное устройство. Информация об управляющих воздействиях парашютиста от момента покидания ЛА до приземления оценивается в режиме реального времени по данным изменения траектории снижения. Устройство не регистрирует параметры движения рук при управлении ППС, и, следовательно, не позволяет сохранять данные о воздействиях парашютиста на «купол-крыло».

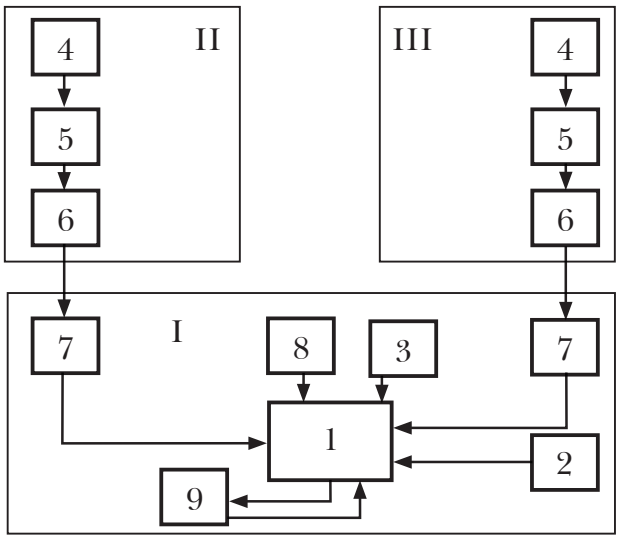


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для регистрации полетной информации парашютиста

Для устранения всех выявленных недостатков предложено новое техническое решение, представленное на *рисунке 1*.

Устройство для регистрации полетной информации парашютиста включает: I – блок регистрации параметров центра масс парашютиста, включающий в себя: 1 – процессор; 2 – спутниковый GPS приемник с антенной; 3 – магнитометр; II – блок регистрации параметров левой руки парашютиста; III – блок регистрации параметров правой руки парашютиста; 4 – трехосевой акселерометр и магнитометр; 5 – считывающий контроллер; 6 – выходной разъем подключения витой пары; 7 – входной разъем подключения витой пары; 8 – датчик угловой ориентации тела; 9 – устройство записи информации на micro SD карту, источник питания (не показан). Блок регистрации параметров левой руки парашютиста (II) крепится на запястье левой руки при помощи эластичного ремня и включает в себя корпус, в котором размещены трехосевой акселерометр и магнитометр 4 и считывающий контроллер 5, передающий получаемую информацию на выходной разъем подключения витой пары 6. Блок регистрации параметров правой руки парашютиста III аналогичен, крепится на запястье правой руки.

Блок регистрации параметров центра масс парашютиста I размещается в области живота и фиксируется с помощью эластичного пояса в плоскости тела парашютиста. Размещение устройства показано на *рисунке 2*.

Он включает в себя: процессор 1; спутниковый GPS приемник с антенной 2; магнитометр 3; два входных разъема подключения витой пары 7; источник питания (не показан); датчик угловой ориентации тела 8; устройство записи информации на micro SD карту. Блок регистрации параметров центра масс парашютиста также предназначен для сохранения всей необходимой информации за счет двусторонней связи процессора 1 с устройством записи информации на micro SD карту 9. Объективная информация о состоянии парашютиста от момента покидания ЛА до приземления поступает на процессор 1 через параллельные связи от датчика угловой ориентации тела 8, магнитометра 3, спутникового GPS приемника с антенной 2, а также через витые пары и их разъемы 6 и 7 от блоков регистрации параметров левой и правой рук II, III.

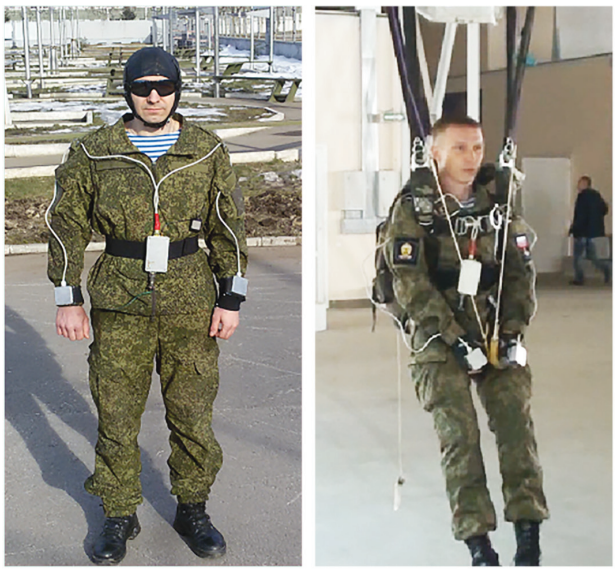


Рис. 2. Размещение устройства для регистрации полетной информации парашютиста

От момента отделения парашютиста от ЛА до его приземления устройство для регистрации полетной информации в режиме реального времени осуществляет сбор и сохранение информации об угловых скоростях вращения, проекции ускорений свободного падения, напряженности магнитного поля Земли, как при свободном падении, так и при управляемом снижении парашютиста. Отдельные данные показаны на *рисунке 3*.

Для регистрации, так называемых, локомоций парашютиста по управлению куполом ППС СпН используются трехосевые акселерометры левой и правой рук 4, осуществляется измерение в режиме реального времени величин ускорений, возникающих при выполнении прыжка, считывание этой информации контроллером 5 и передача ее через последовательную связь на выходной разъем витой пары 6. После чего эта информация через витую пару поступает на входной разъем витой пары 7 датчика центра масс парашютиста I и далее на параллельные входы процессора 1. При этом на один из параллельных входов процессора 1 также поступает информация от датчика угловой ориентации тела 8, которая позволяет определять также и величины ускорений, возникающих в центре масс парашютиста; информация от магнитного датчика 3 поступает на один из параллельных входов процессора 1 и состоит в данных о положении тела в магнитном поле Земли; информация от спутникового GPS приемника с антенной 2 о географическом положении и высоте над уровнем моря парашютиста поступает на один из параллельных входов процессора 1.

Процессор 1 передает получаемую информацию по выходному каналу двусторонней связи на устройство записи информации на micro SD карту 9. Обратная связь устройства записи информации на micro SD карту 9 подтверждает сохранение переданной информации с процессора 1.

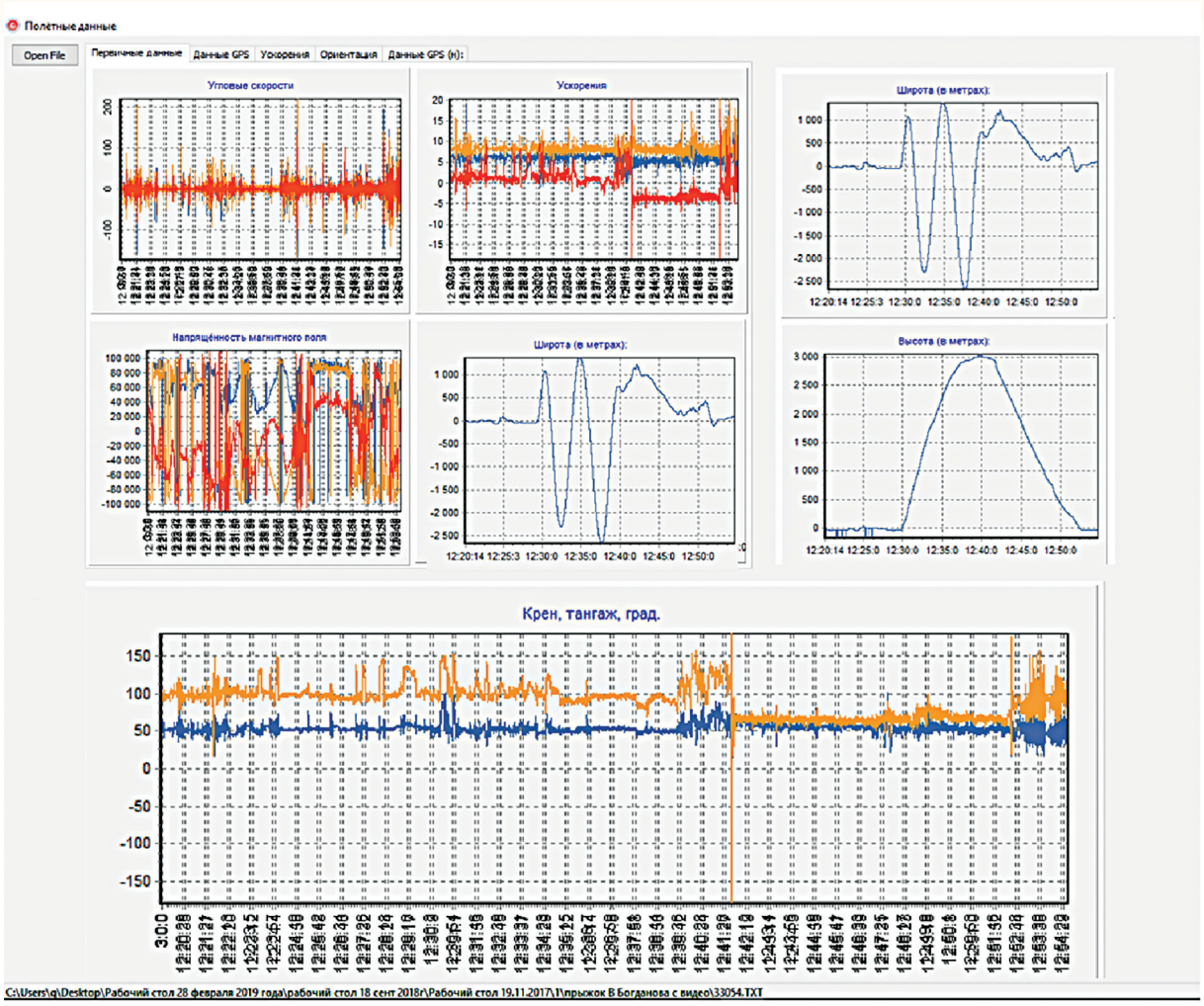


Рис. 3. Данные объективной регистрации полетной информации парашютиста

По данным, поступаемым на процессор 1 от блоков регистрации параметров левой и правой рук парашютиста II, III, после его анализа на наземном комплексе, появляется возможность вычислять линейные величины перемещений строп управления (при дополнительном использовании видео регистрации прыжка) и возникающие при этом акселерационные нагрузки.

По данным, поступаемым на процессор 1 от датчика угловой ориентации тела 8, магнитометра 3, спутникового GPS приемника с антенной 2, после его анализа на наземном комплексе, появляется возможность вычислять для любой точки траектории снижения парашютиста: высоту над уровнем моря, угловые и линейные показатели движения, возникающие при этом ускорения. Причем датчик угловой ориентации тела 8 снабжен функцией регистрации проекции ускорений, возникающих в центре масс парашютиста в трех плоскостях.

Вся эта информация, синхронизированная по времени регистрации, формирует базу данных, используя которую, появляется возможность объективно оценивать все динамические нагрузки, возникающие у парашютиста от момента покидания им ЛА до момента приземления. Эта информация использовалась нами при создании моделей деятельности по управлению ППС СпН [8,9], позволила сформировать требования к подвижности рабочего места обучаемого для динамического тренажере освоения ППС СпН.

Одновременно, с устройством для регистрации полетной информации парашютиста в ходе реальных прыжков используется и видео фиксация процесса десантирования от момента отделения от ЛА до приземления. Камера «GO PRO» с возможностью записи видео сцен с углом обзора 360º размещается на шлеме сверху (такой способ крепления обычно и используется в парашютном спорте). Применение видео фиксации в таких экспериментах позволяет исследователю

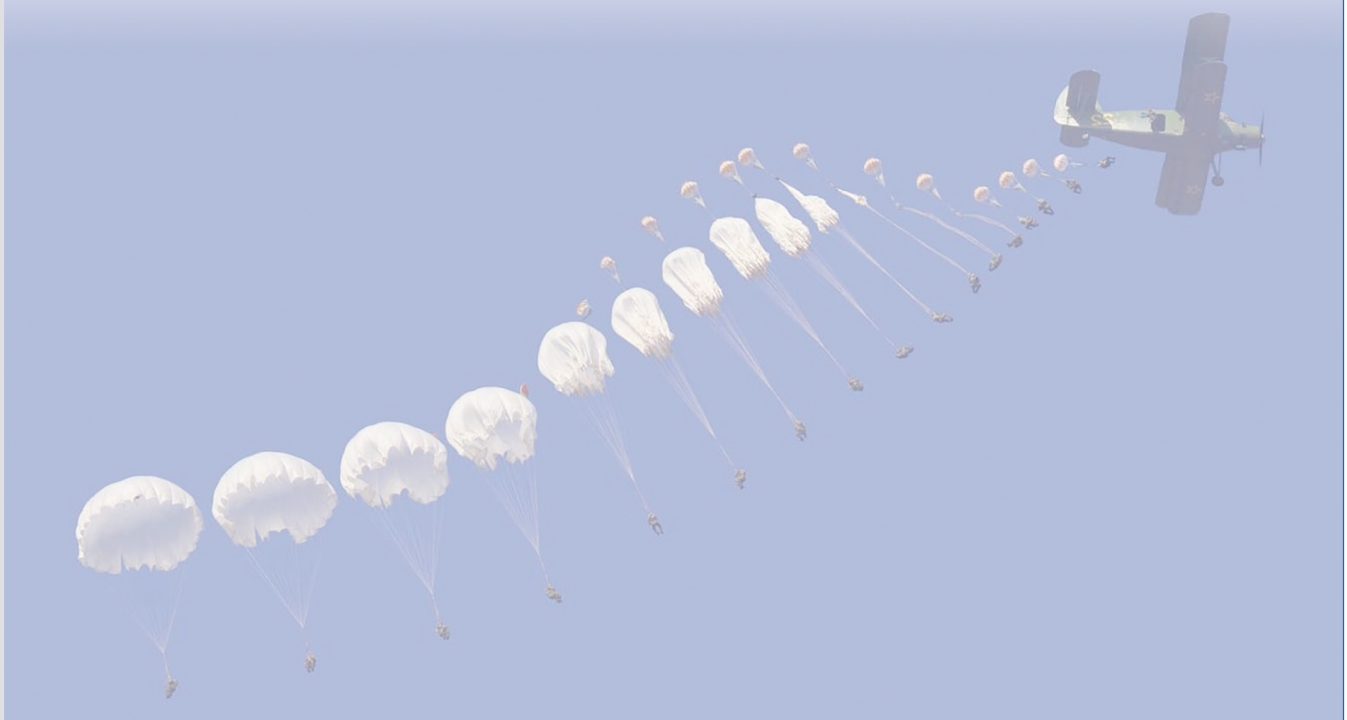
в ходе создания требуемой базы знаний более точно объединять данные, записанные устройством регистрации полетной информации парашютиста, в соответствующие группы условных этапов прыжка, что позволяет получать требуемые зависимости, например, зависимость изменения угла крена и угла тангажа от воздействия на стропы управления ППС СпН.

Заключение

Описанное устройство для регистрации полетной информации парашютиста нами запатентовано [10], апробировано в ходе экспериментов при наземной отработке элементов прыжка с парашютом, а также при практических десантированиях. Его использование позволило избежать исследований ППС СпН, поступаемых на снабжение ВДВ, с помощью аэродинамических труб, и, не «продувая» их (ППС), использовать реальную среду прыжка для решения прикладной научной задачи, направленной на разработку системы подвижности рабочего места обучаемого для динамического тренажера ППС СпН.

Литература

1. Каримов В.А., Шилов А.А. Некоторые особенности стационарного виража планирующей парашютной системы // Ученые записки ЦАГИ, 2000. Т.XXXI. № 3-4. С.119-132.
2. Шилов А.А., Бушуева Э.М., Васильев А.Ф., Каримов В.А., Сойнов А.И. Автоматическое управление планирующими парашютными системами // Труды ЦАГИ, 2001. Вып.2649. С.127-134.
3. Шибанов Г.П. Эксплуатация и безопасность парашютных систем. М.: Машиностроение, 2005. 287 с.
4. Курашин В.Н., Усачев Ю.В. Математическая модель движений парашютиста // «Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина», 2010. №1(26). С.110-117.
5. Устройство накопления информации: пат. 2245581 Рос. Федерация. № 2003125083/09; заявл. 15.08.2003; опубл. 27.01.2005, Бюл. № 3. 13 с.
6. Устройство слежения за парашютной экипировкой: пат. 20160150360 США заявл. 24.06.2015; опубл. 26.05.2016, 6 с.
7. Навигационный компьютер для высотных парашютных прыжков:
пат. 20080021646 A1 США заявл. 10.07.2007; опубл. 24.01.2008, 4 с.
8. Абанин В.С., Осипов А.В. О необходимости моделирования деятельности десанника-парашютиста по управлению парашютными системами специального назначения // Известия ТулГУ. Техн. науки, 2017. Вып. 12 в 3 ч. Ч 2. С.426-432.
9. Абанин В.С., Осипов А.В. Математические основы моделирования деятельности десантника-парашютиста по управлению парашютными системами специального назначения / Наука и военная безопасность, 2018. №2(13). С.99-103.
10. Устройство для регистрации полетной информации парашютиста: пат. 170197 Рос. Федерация. № 2016149958; заявл. 19.11.2016; опубл. 18.04.2017 Бюл. № 11. 7 с.



УДК 629.78: 622.235.432

ЯВЛЕНИЕ ПЕРЕСЖАТОСТИ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНЫХ ДЕТОНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

THE PHENOMENON OF DETONATION WAVE OVERDRIVE AS A TOOL FOR INCREASING THE EXPLOSIVE CHARACTERISTICS OF LINEAR DETONATING DEVICES

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

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

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

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

Аннотация
Статья посвящена рассмотрению возможности реализации стационарной сверхскоростной детонации в удлиненных зарядах бризантных взрывчатых веществ.
Ключевые слова: детонация, пересжатая детонационная волна, продукты детонации, волна разряжения, удлиненный заряд.

Summary
The article is devoted to consideration of the possibility of realizing stationary superhigh-speed detonation in elongated charges of blasting explosives.
Keywords: detonation, overcompressed detonation wave, detonation products, rarefaction wave, extended charge.

Согласно теории [1] пересжатая детонационная волна по своему механизму не отличается от нормальной за исключением того, что зона химических реакций этой волны должна быть короче, чем при нормальной детонации. Это обусловлено тем, что для создания пересжатости необходимо каким-либо способом препятствовать образованию волны разряжения в зоне химических реакций. Реализовать этот эффект можно, например, сжатием продуктов реакции позади плоскости химического пика поршнем [1]. В этом случае должно выполняться условие

$$w > u_{и}, \qquad (1)$$

где w – скорость перемещения границы раздела «поршень–продукты детонации»; $u_{и}$ – массовая скорость продуктов детонации в плоскости Чемпена-Жуге (задней границе зоны химических реакций).

Основываясь на этом положении, авторами работы [1] выведены формулы, позволяющие рассчитать основные параметры пересжатой детонационной волны при известных значениях показателя n адиабаты и w. Так, расчет скорости волны и плотности продуктов детонации несложно осуществить по следующим формулам

$$\frac{(D_C / D_{и})^{n-1}}{(D_C / D_{и} - w / D_{и})^{n}} = \frac{(n+1)^{n+1}}{n^{n}} \frac{w}{D_{и}}, \qquad (2)$$

$$\left(\frac{\rho_C}{\rho_0}\right)^{n-1} \left(\frac{\rho_C}{\rho_0} - 1\right) = \frac{(n+1)^{n+1}}{n^{n}} \frac{w^2}{D^2}, \qquad (3)$$

где D_C – скорость детонации пересжатой волны;
$D_н$ – скорость детонации нормальной волны;
ρ_C – плотность ПД пересжатой волны;
ρ_0 – начальная плотность ВВ.

Для расчета детонационного давления ρ_C пересжатой волны достаточно воспользоваться зависимостью

$$\frac{p_C}{p_н} = \left(\frac{n}{n+1} \frac{\rho_C}{\rho_0} \right)^n . \quad (4)$$

Из анализа выражений (2)-(4) следует, что степень пересжатости во многом определяется показателем адиабаты и скоростью перемещения границы раздела «поршень–продукты детонации». В общем случае на распространение пересжатой волны оказывает влияние комплекс волн разгрузки в зависимости от конфигурации заряда, места и способа инициирования детонации в нем.

Так, при инициировании детонации в цилиндрическом заряде ударом высокоскоростной металлической пластины доминирующее влияние на распространение пересжатой детонационной волны будут оказывать боковые волны разрежения [1].

С практической точки зрения немаловажным является вопрос о том, какое расстояние может пройти пересжатая детонационная волна, сохраняя свои параметры неизменными. В работе [1] представлена формула для расчета критического пути x^*, который может пройти пересжатая волна, возбуждаемая в цилиндрическом заряде ударом стальной пластины

$$x^* = D_C \tau_{\text{ББР}} = 0,5 \frac{D_C}{c_c} d_з . \quad (5)$$

Из сказанного следует, что вследствие того, что радиальная и осевые волны разгрузки догоняют детонационный фронт, сбрасывая давление и скорость, время существования пересжатой детонационной волны в этих условиях составляет лишь микросекунды, и она не является стационарной. В то же время при некоторых специфических условиях пересжатая детонационная волна может сохранять свои параметры на достаточно больших удалениях от места своего формирования. Например, в случае, если не только каким-либо способом ограничить осевое истечение продуктов детонации, или если разместить на оси заряда устройство, детонирующее с существенно большей скоростью, чем основной заряд, или если сформировать и реализовать схождение цилиндрических ударных волн [1,2,3,4]. Так в работе [5] представлено несколько конструкций зарядов, в которых реализован пересжатый режим по всей длине заряда. Они сведены к трем основным схемам.

В первой схеме заряд ВВ пронизан шнурами более мощного ВВ. Вполне очевидно, что если скорость детонации $D_ш$ шнура выше скорости детонации $D_з$ основного заряда, а его характеристики достаточны для инициирования основной массы, то в таком заряде будет протекать пересжатый режим. Второй вариант конструкции заряда, в котором реализуется режим пересжатой детонации включает в себя периодическое размещение перегородок в осевом канале заряда. В этом варианте в канале заряда будут образовываться газовая кумулятивная струя и ударная волна, распространяющаяся по каналу с высокой скоростью. Эта ударная волна при набегании и последующем торможении на очередной перегородке будет обеспечивать опережающее инициирование ВВ с боковой поверхности. В результате возникнет пульсирующий процесс детонации заряда со скоростью выше нормальной скорости детонации [6]. Однако, такое явление характерно для зарядов, имеющих высокую чувствительность к ударно-волновым воздействиям.

Третий вариант представлен конструкцией, в которой заряд ВВ выполнен также с продольным каналом, но канал заполнен газовой средой либо жидкостью. Такая конструкция с практической точки зрения является наиболее приемлемой; она реализована в удлиненных зарядах с продольным каналом (УЗПК) [4,7]. Особенностью таких зарядов является наличие двух соседних слоев с различными свойствами. Наиболее часто в качестве этих слоев выступают ВВ и газовая среда, ВВ и трубка ВВ с оболочкой. Двухслойная среда упорядочена и однородна в одном направлении (по оси заряда). Поэтому вдоль этой оси могут существовать детонационные волны со стационарной относительно фронту зоной химических реакций.

В научной литературе детонационный процесс, реализуемый в УЗПК, называют двухслойной детонацией, при которой ударная волна в газовой среде канала является ведущей [3,8]. Эта волна инициирует окружающее ВВ и сама поддерживается за счет обжатия газового слоя

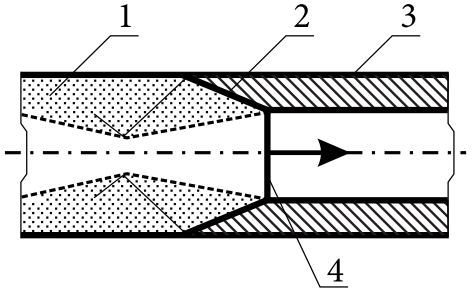


Рис. 1. Гипотетическая схема двухслойной детонации заряда с каналом: 1 – продукты детонации; 2 – фронт детонационной волны в ВВ; 3 – ВВ; 4 – фронт ударной волны в газовой среде канала

продуктами детонации. На *рисунке 1* представлена гипотетическая схема двухслойной детонации заряда с каналом. При относительно низкой начальной плотности среды в канале высокое давление продуктов детонации ВВ уравновешивается давлением потока за ударной волной только при высоких скоростях процесса. Происходит кумуляция энергии в малоплотной среде до значений, достаточных для инициирования детонации впереди фронта детонационной волны в ВВ. При низких скоростях волновой процесс становится нестационарным.

Для обеспечения стационарного режима необходимо при инициировании двухслойной детонации вводить в канал ударную волну высокой интенсивности. Тогда будет происходить самопроизвольный разгон процесса, заканчивающийся выходом на стационарный режим.

Подтверждением сказанного служат результаты экспериментов, полученные авторами [4]. На *рисунке 2* представлена схема такого заряда.

Заряд состоит из высокоплотного мощного взрывчатого вещества, размещенного по длине конструкции, и имеет осевой канал. В качестве составных частей заряда использованы шнуровые кумулятивные заряды ШКЗ-4 и ШКЗ-6, отличающиеся по массе ВВ и профилю кумулятивной выемки. У ШКЗ-4 отношение высоты эллипса к его поперечному сечению составляет 2,0, а у ШКЗ-6 это отношение равно 1,3.

Инициирование заряда осуществляется от электродетонатора и дополнительного детонатора, выполненного из того же ВВ, что и ШКЗ. Осевой канал заряда в своем сечении имеет осесимметричную эллипсную форму, причем высота осевого канала в 1,3÷2 раза больше его ширины. Форма дополнительного детонатора повторяет форму торца заряда. Заряд может быть дополнительно снабжен вставкой из взрывчатого вещества (того же, что и ШКЗ), которая запирает противоположный от дополнительного детонатора торец заряда. Форма вставки повторяет сечение осевого канала заряда.

По результатам экспериментального определения скорости детонации зарядов авторами [4] сделаны следующие выводы.

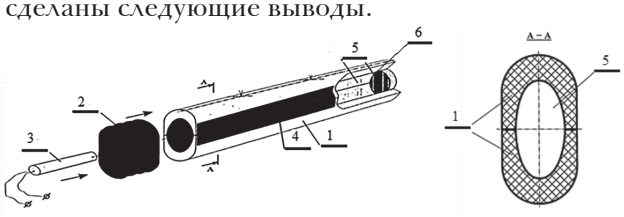


Рис. 2. Схема заряда с продольным каналом:
1 – отрезки ШКЗ; 2 – дополнительный детонатор;
3 – электродетонатор; 4 – липкая лента для фиксации отрезков ШКЗ; 5 – продольный канал; 6 – вставка из ВВ

1. При инициирования зарядов электродетонаторами скорость детонации соответствует техническим условиям на ШКЗ (ТУ 84-988-99) и составляет не более 7800 м/с.

2. Инициирование зарядов дополнительным детонатором ведет к увеличению скорости детонации. При этом, чем больше масса дополнительного детонатора, тем выше скорость детонации заряда. Однако эта закономерность прослеживается лишь до массы дополнительного детонатора равной 40,0 граммам. При этой массе дополнительного детонатора скорость процесса составляет 13430 м/с, что на 72% выше, чем при инициировании заряда электродетонаторами. Дальнейшее увеличение массы дополнительного детонатора не ведет к увеличению скорости детонации.

Вероятной причиной этого ограничения, на наш взгляд, является то, что при возбуждении взрывчатого превращения в заряде дополнительным детонатором часть продуктов его детонации устремляется в канал, и чем больше масса детонатора, тем больше эта часть. Одновременно с этим по отрезкам ШКЗ начинают распространяться скользящие детонационные волны. В зарядах реализуется подобие двухслойной детонации.

Детонация ШКЗ сопровождается формированием газовых кумулятивных струй, которые устремляются к оси канала и сжимают движущиеся по нему продукты реакции дополнительного детонатора, создавая осесимметричную кумулятивную канальную волну, скорость которой много выше нормальной скорости детонации ШКЗ. Канальная волна начинает инициировать ШКЗ впереди фронта детонации, что приводит к значительному увеличению скорости протекания процесса.

Предложенный механизм реализуется при условии формирования канальной волны высокой интенсивности, соблюдения некоторого баланса энергий между ней и газовыми кумулятивными струями, а также временем формирования и движения газовых кумулятивных струй к оси заряда и временем прихода боковых и радиальных волн разрежения в канальную волну. При достижении оптимальных значений этих условий скорость процесса достигает своего предела. Этим можно объяснить то, что при увеличении массы дополнительного детонатора выше 40,0 г скорость детонации не растет, а при подрыве зарядов на основе ШКЗ-6 возрастает только на 38%.

Интересный результат получен при подрывах зарядов, у которых противоположные от места инициирования торцы каналов загерметизированы вставками из ВВ. Осредненная скорость пересжатой детонации таких зарядов из

ШКЗ-4 составила 22820 м/с. Вероятнее всего такой результат является следствием технической ошибки при конструировании такого заряда и при измерениях скорости детонации. Согласно методике экспериментальным исследованиям подвергались сборки зарядов длиной 300 мм. Ионизационные датчики для измерения скорости процесса располагались в средней части сборок на расстоянии друг от друга в 100 мм. Длина пробки из мощного ВВ составляла 30 мм. Отсюда расстояние от пробки до второго датчика равнялось 70 мм. Поэтому достижение столь высокой скорости можно объяснить тем, что канальная волна, набегая на пробку из ВВ, отражается и, двигаясь в противоположном направлении, приходит к ионизационному датчику, работающему на «стоп», быстрее, чем основная канальная волна.

Заметим, что в рассмотренном материале речь шла о канальных зарядах, не имеющих облицовки внутренней поверхности канала и при условии заполнения канала газовой средой. В этом случае реализовать двухслойную детонацию удается введением в канал достаточно мощной начальной ударной волны. Только при этом условии можно осуществить самопроизвольный разгон процесса, заканчивающийся выходом на стационарный режим.

Несколько иная картина реализуется в линейных зарядах-трансляторах детонационных команд кольцевого типа, являющиеся разновидностью описанных выше УЗПК. Заряд состоит из высокоплотной взрывчатой сердцевины, в качестве которой используется гексоген или октоген, заключенной между внутренней и внешней металлическими оболочками, и центрального канала (*рисунок 3*).

Экспериментально установлено, что такая компоновка удлиненного заряда при заполнении канала водой позволяет реализовать в снаряжении пересжатый режим детонации, скорость распространения которого может превышать нормальную скорость детонации на 20-40% и более при массе снаряжения 1,0-3,0 г/м [7]. Высокая скорость детонации и кольцевое расположение снаряжения существенно увеличивают инициирующий импульс таких трансляторов по сравнению с обычными удлиненными зарядами с аналогичной массой ВВ. Одновременно снижается их боковое энерговыделение вследствие малой массы снаряжения и того, что часть энергии взрыва расходуется на обжатие внутреннего канала. Заряды подобного типа рассматриваются как эффективные средства разведения детонационных команд в бортовых системах пироавтоматики ракетно-космической техники. Кроме того, такие заряды могут найти применение в качестве средств инициирования пересжатой детонации в боеприпасах различной принадлежности.

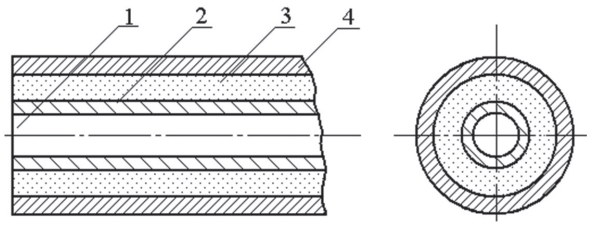


Рис. 3. Заряд-транслятор детонационных команд с продольным каналом кольцевого типа:
1 – продольный канал; 2 – внутренняя оболочка;
3 – взрывчатое вещество; 4 – наружная оболочка

Из сказанного можно констатировать, что существует принципиальная возможность реализации стационарной пересжатой детонационной волны в удлиненных зарядах взрывчатых веществ, но только для определенных конструктивно-компоновочных схем зарядов и способов их инициирования. Реализация подобного режима в снаряжении как удлиненных зарядов, так и боеприпасов различного назначения позволит значительно повысить их могущество.

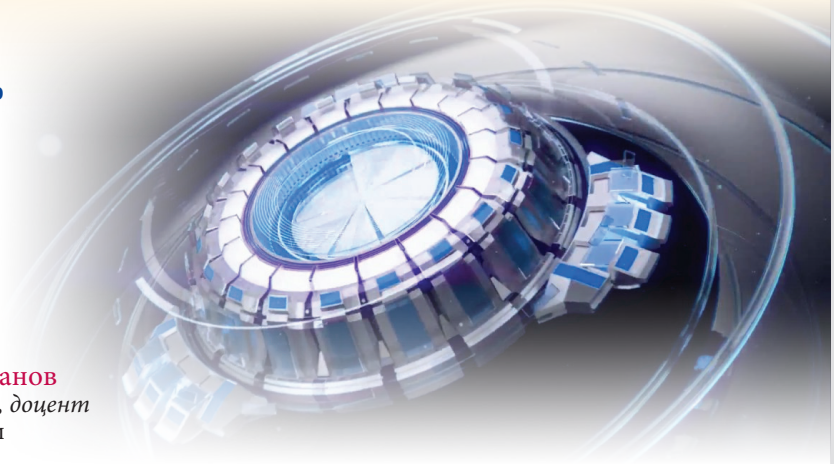
Литература

1. Физика взрыва / А.Г. Андреев, А.В. Бабкин, Ф.А. Баум и др.; под ред. Л.П. Орленко. Изд. 3-е, испр. В 2-х т. Т. 1. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 832 с.
2. Митрофанов В.В. Детонация гомогенных и гетерогенных систем. Новосибирск: Изд-во Инта гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, 2003. 200 с.
3. Митрофанов В.В. О сверхскоростной детонации в зарядах с продольными каналами // Физика горения и взрыва, 1975. Т.11. №1. С. 73-81.
4. Заряд: пат 2524829 С 2, МКИ F42B 3/00, F42D 3/00 / В.А. Субботин, В.А. Грабовец, Б.В. Иоффе. №2013100497/11; заявл. 09.01.2013.
5. Михайлов Н.П. Основы физики взрыва: Учебное пособие. СПб.: Балт. гос. тех. ун-т, 2005. 144 с.
6. Юхансон К., Персон П. Детонация взрывчатых веществ. М.: Мир, 1973. 352 с.
7. Линейный заряд-транслятор детонационных команд кольцевого типа: пат 2134254 С1, МПК С06С 5/04 / С.В. Иванов, В.И. Загарских, Е.Н. Кузин. № 97101785/02 заявл. 05.02.1999.
8. Бакиров И.Т., Митрофанов В.В. Высокоскоростная детонация в системе «ВВ–газ» // Докл. АН СССР, 1976. Т.231. №6. С.1315-1318.

УДК 531.383

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОГА ВГ949П, ПОЛУЧЕННАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО*

THE MATHEMATICAL MODEL OF FOG VG949P OBTAINED EXPERIMENTALLY



Максим Борисович Богданов
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры «Приборы и биотехнические системы»
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Адрес: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92
Тел.: 8 (4872) 35-05-52
E-mail: bmb75@rambler.ru

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

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.: 8 (4872) 35-05-52
E-mail: pbs.tula@rambler.ru

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

Аннотация
В статье представлены основные характеристики волоконно-оптического гироскопа (ВОГ) серии ВГ949П, построены экспериментальные зависимости масштабного коэффициента и нулевого сигнала от температуры, необходимые для определения математической модели.
Ключевые слова: волоконно-оптический гироскоп, математическая модель, нулевой сигнал, масштабный коэффициент, датчик угловой скорости.

Summary
The article presents the main characteristics of the fiber-optic gyroscope (FOG) of the VG949P series, constructs the experimental temperature-dependence of the scale factor and zero signal, which are necessary to determine the mathematical model.
Keywords: fiber-optic gyroscope, mathematical model, zero signal, scale factor, angular velocity sensor.

Для проведения моделирования работы бесплатформенных навигационных систем необходимо знать математические модели элементов входящих в ее состав. Была получена математическая модель волоконного датчика вращения (волоконно-оптический гироскоп – ВОГ) серии ВГ949П, который с января 2006 года серийно выпускает ООО «Физоптика», его основные характеристики приведены в *таблице 1*.

Выходное напряжение волоконных датчиков вращения, выпускаемых ООО «Физоптика», в зависимости от измеряемой угловой скорости и температуры определяется выражением [1, 2]:

$$U_{вых}^{ДУС} = K[1+S(t^0)]\cdot\left[1-p\left(\frac{\omega}{\omega_{макс}}\right)^2\right]\cdot\omega + B(t^0) + KQ \quad (1)$$

или

$$U_{вых}^{ДУС} = K\omega + K\left\{S(t^0) - p\left(\frac{\omega}{\omega_{макс}}\right)^2\left[1+S(t^0)\right]\right\}\cdot\omega + B(t^0) + KQ\ , \quad (2)$$

где K – масштабный коэффициент (МК), коэффициент передачи, крутизна датчика при нормальной температуре (20^0C) окружающей среды;
$S(t^0)$ – зависимость МК от температуры;
p – параметр нелинейности ($p=0,05\text{-}0,15$);

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства Тульской области №ДС/124.

Таблица 1
Основные характеристики датчика ВГ949П

№	Характеристики, размерности	Величины
1	Входной диапазон ($\pm\omega_{макс}$), °/с	±300
2	Масштабный коэффициент (*K*), мВ/°/с	7±20%
3	Изменение масштабного коэффициента (*S*), % (стационарные условия, 1σ)	0,03
4	Изменение масштабного коэффициента в рабочем диапазоне температур, %	5
5	Изменение масштабного коэффициента, % (день за днем, *1σ*)	0,1
6	Изменение нулевого сигнала, °/с (стационарные условия, *1σ*)	0,003
7	Изменение нулевого сигнала в рабочем диапазоне температур, °/с	0,1
8	Изменение нулевого сигнала, °/с (день за днем, 1)	0,01
9	Шум (Q), °/с	0,002
10	Диапазон частот, $\sqrt{Гц}$	0…1000
11	Масса, грамм (приблизительно)	45
12	Размер, мм	60x60x22
13	Энергопотребление, Ватт	1
14	Напряжение питания, В	+5±5%
15	Время включения, с	0,1
16	Рабочий диапазон температур, °С	-30 … +70
17	Вибрации, *g* (в диапазоне частот 2-500 Гц)	2
18	Удар, *g* (в течение 1 мс)	90

ω – измеряемая угловая скорость;
ωмакс – максимальная измеряемая угловая скорость;
$B(t^0)$ – нулевой сигнал (сдвиг нуля) датчика, зависящий от температуры;
KQ – шумовая составляющая выходного напряжения.

На *рисунках 1-2* показаны зависимости масштабного коэффициента $K[1+S(t^0)]$ и нулевого сигнала $B(t^0)$ от температуры, полученные экспериментально для трех датчиков ВГ949П под номерами 109453, 109454, 109455, приобретенных для исследования. В соответствии с этими зависимостями определены значения масштабного коэффициента и нулевого сигнала каждого конкретного датчика при нормальной температуре 20ºС (*таблица 2*).

Таблица 2
Характеристики конкретных датчиков вращения серии ВГ949П при температуре 20ºС

№	Характеристики размерности	Величины		
		Номера датчиков		
		109453	109454	109455
1	Масштабный коэффициент (*K*), мВ/°/с	6,62	6,60	6,57
2	Нулевой сигнал ($B(t°)$), мВ	-0,006	0,040	0,035

Влияние отличия масштабных коэффициентов ДУС на точностные характеристики БИНС может быть скомпенсировано в вычислителе.

Выходные сигналы с ДУС в размерности измеряемых угловых скоростей, запишем в виде:

$$\omega_i^{ДУС}=\omega_i+\Delta\omega_i, \qquad (3)$$

где $i=X.Y.Z$ – обозначения осей, вокруг которых измеряются угловые скорости;
$\omega_i^{ДУС}$ – выходные сигналы с ДУС, несущие информацию об измеряемых проекциях угловой скорости УСП,

$$\omega_i^{ДУС}=\frac{U_{i_{вых}}^{ДУС}}{K};$$

ω_i – измеряемые проекции абсолютной угловой скорости УСП на оси *OX,OY,OZ*;
$\Delta\omega_i$ – погрешности в измерении проекций угловой скорости УСП:

$$\Delta\omega_i=\left\{S_i(t^0)-p\left(\frac{\omega_i}{\omega_{i\,макс}}\right)^2\left[1+S_i(t^0)\right]\right\}\cdot\omega_i+\frac{B_i(t^0)}{K_i}+Q_i. \qquad (4)$$

Нулевой сигнал $Bi(t°)$ конкретного ДУС известен и может быть частично или полностью скомпенсирован в вычислителе. Спектр шума Q_i «белый». Причем величина Q_i может быть уменьшена путем уменьшения полосы пропускания ДУС фильтром, установленным на выходе ДУС.

В дальнейшем при моделировании работы

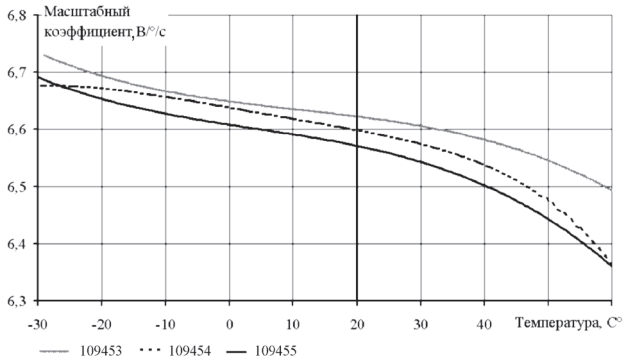


Рис. 1. Экспериментальные зависимости масштабного коэффициента от температуры для датчиков ВГ949П: 109453; 109454; 109455

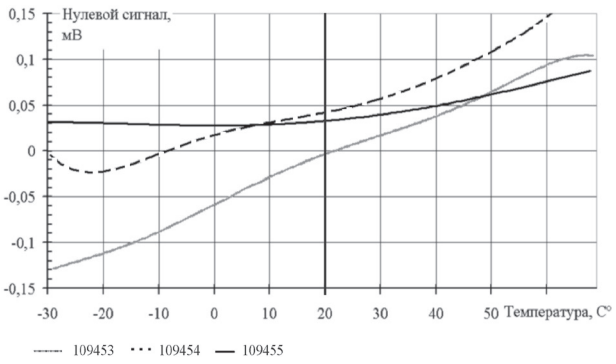


Рис. 2. Экспериментальные зависимости нулевого сигнала от температуры для датчиков ВГ949П: 109453; 109454; 109455

БИНС зададим выражение для вычисления $\Delta\omega_i$ в следующем виде:

$$\Delta\omega_i = \left[0{,}0003 - 0{,}1 \cdot \left(\frac{\omega_i}{5{,}24}\right)^2 \cdot (1 + 0{,}0003)\right] \cdot \omega_i + 0{,}000052 + \\ + 0{,}0011 \cdot 2(0{,}5 - R), \quad (5)$$

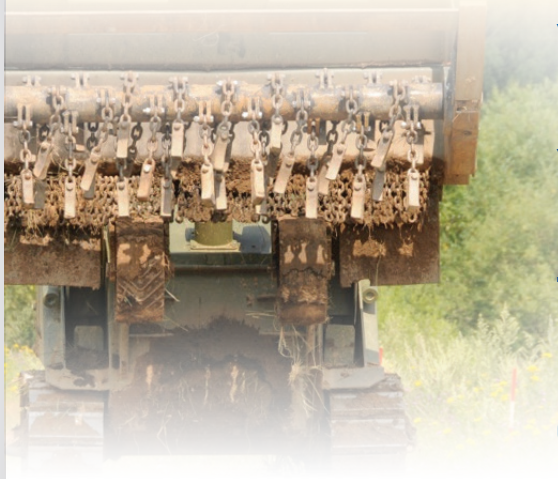
где R – случайная величина, равномерно распределенная в диапазоне от 0 до 1.

Таким образом, выражение (5) является математической моделью ВОГа.

Литература

1. Волоконный датчик вращения серии ВГ 949П. Технические требования: Приложение №1 к договору поставки №11/06 от 16.02.06. Поставщик ООО «Физоптика». Юридический адрес: 121099, г. Москва, Проточный пер., 14/1/2.

2. Официальный сайт ООО «Физоптика» [Электронный ресурс], 2019. URL: http://www.fizoptika.ru (дата обращения 02.09.2019).



УДК: 001.8:62–5:007.52:623

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМЫХ НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ СРЕДНЕГО И ТЯЖЕЛОГО КЛАССОВ

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF TESTING REMOTELY CONTROLLED GROUND ROBOTIC COMPLEXES OF MILITARY PURPOSES OF THE MIDDLE AND HEAVY CLASSES

Евгений Александрович Антохин
начальник отдела
АО «Техника»
Адрес: 115191, Москва,
ул. Новая Заря, д. 6
Тел.:+7 (962) 984-65-17
E-mail: johncoin@mail.ru

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

Леонид Леонидович Воронин
научный сотрудник
ФГБУ «46 ЦНИИ» МО РФ
Адрес: 129327, Москва,
Чукотский проезд, д. 10
Тел.: 8 (495) 471-17-07

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

Аннотация
В статье рассмотрены особенности проведения полигонных испытаний дистанционно управляемых наземных робототехнических комплексов военного назначения среднего и тяжелого классов. Указан ряд факторов, на которые необходимо обратить внимание при организации и проведении данных испытаний.
Ключевые слова: наземные робототехнические комплексы военного назначения, полигонные испытания и исследования, условия функционирования дистанционно управляемых робототехнических комплексов, организационные и технические меры по обеспечению безопасности испытаний.

Summary
The article discusses the features of the testing range of remotely controlled ground-based robotic military complexes of medium and heavy classes. A number of factors are indicated that need attention when organizing and conducting test data.
Keywords: military ground robotic complexes, field tests and studies, operating conditions of remotely controlled robotic systems, organizational and technical measures to ensure the safety of tests.

Введение

За последние десятилетия в мире произошел качественный скачок в развитии средств вооруженной борьбы, что привело к коренному пересмотру взглядов на ее подготовку и ведение. В настоящее время в России и за рубежом разработка и внедрение технологий военной робототехники является одним из приоритетных направлений совершенствования и качественного обновления тактических войсковых формирований, форм и способов решения боевых и обеспечивающих задач [1].

Опыт применения наземных робототехнических комплексов военного назначения (НРТК ВН) американскими военными специалистами в Афганистане и Ираке показал, что большая часть существующих дистанционно управляемых (ДУ) роботизированных образцов воору-

жения, военной и специальной техники (ВВСТ) по показателям автономности не соответствуют требованиям предполагаемых театров военных действий, высокой маневренности и скоротечности современного общевойскового боя.

Основываясь на этих данных, военные планы США предусматривают поэтапный переход от ДУ к полуавтономным, а в дальнейшем и к полностью автономным образцам НРТК ВН [2].

Приоритетные направления работ по созданию роботизированных образцов ВВСТ в России в основном совпадают с зарубежными тенденциями. Российские НРТК ВН также создаются либо путем дооснащения находящихся на вооружении (штатных) образцов ВВСТ модульным встраиваемым или навесным оборудованием, обеспечивающим их безэкипажное применение в режиме ДУ, либо путем разработки специализированных ДУ шасси с определенными элементами автономии [3].

На сегодняшний день ДУ НРТК ВН, успешно решая важнейшую задачу вывода человека из зоны боевых действий, в то же время обладают и рядом недостатков:

- непрерывное участие операторов в процессе управления как комплексом в целом, так и его целевыми нагрузками;
- интенсивный радиообмен между ДУ НРТК ВН и пунктом управления, способствующий демаскированию районов применения роботизированных образцов ВВСТ;
- ограничение дальности управления с использованием радиоканала в условиях сильно пересеченной местности, в плотной городской застройке, а также в условиях отсутствия прямой видимости;
- возможность нарушения устойчивой работы каналов приема-передачи данных и команд управления в условиях применения противником средств радиоэлектронного противодействия [4].

Процесс создания и внедрения в войска роботизированных наземных образцов ВВСТ требует разработки новых методических подходов к проведению их полигонных испытаний и исследований, при этом особое внимание необходимо уделять оценке влияния указанных выше недостатков ДУ НРТК ВН на способность выполнения задач по предназначению.

Факторы, которые необходимо учитывать при проведении полигонных испытаний ДУ НРТК ВН среднего и тяжелого классов.

На сегодняшний день методический аппарат проведения испытаний экипажных образцов ВВСТ сформирован с достаточной полнотой и может быть применен и для исследования ДУ НРТК ВН. Вместе с тем конструктивные особенности ДУ роботизированных образцов ВВСТ влекут за собой необходимость обязательного учета в ходе испытаний ряда факторов, полностью отражающих специфику их применения [9].

Предварительно по опыту проведения испытаний ДУ НРТК ВН среднего и тяжелого класса в 2014-2019 гг. к таким факторам можно отнести следующие.

1. Необходимость учета всех возможных условий боевого применения ДУ НРТК ВН.

2. Наличие времени задержки приема-передачи данных и команд управления по радиоканалам связи между пунктом управления (пультом дистанционного управления) и ДУ НРТК ВН.

3. Необходимость качественного проведения проверок беспроводных каналов связи и управления на соответствие предъявляемым к ним требованиям.

4. Опытные образцы ДУ НРТК ВН среднего и тяжелого классов являются источниками повышенной опасности и требуют дополнительных технических и организационных мер по обеспечению безопасности их испытаний и исследований.

Рассмотрим подробнее влияние указанных факторов на порядок проведения испытаний и исследований ДУ НРТК ВН.

1. Необходимость учета всех возможных условий боевого применения ДУ НРТК ВН.

НРТК ВН среднего и тяжелого классов, согласно предъявляемым к ним требованиям, должны применяться днем и ночью, в условиях дождя, снегопада, дыма, тумана, пыли, во все периоды года, на любой местности, использоваться как в одиночном порядке, так и в составе подразделений (в том числе во взаимодействии с экипажными образцами ВВСТ), совершать марши днем и ночью в составе колонны. Учет всех вышеизложенных возможных условий функционирования НРТК ВН крайне важен при проведении контрольных и приемочных испытаний.

Погодно-климатические условия применения ДУ НРТК ВН способны оказывать значимое влияние на эффективность выполнения задач по предназначению. Программами и методиками испытаний роботизированных образцов ВВСТ должны предусматриваться проверки эффективности работы приборов наблюдения и прицеливания как в нормированных, так и в критических условиях внешней среды, а именно:

- метеорологическая дальность видимости (из-за наличия тумана, дымки) – 10 метров и менее;

● влажность воздуха – до 98% при температуре плюс 25 0С;

● температура окружающей среды – от минус 400С до плюс 400С;

● тип фонового образования – диапазон изменения коэффициента яркости фона от 0,03 до 0,95;

● наличие осадков в виде дождя и снегопада различной степени интенсивности [5].

Астрономические условия (уровень естественной освещенности на местности в зависимости от времени суток) способны заметно снизить дальность наблюдения и распознавания объектов и целей ДУ роботизированным образцом ВВСТ. В связи с этим необходимо, чтобы проверки эксплуатационных характеристик приборов разведки и прицеливания проводились во всем диапазоне возможной естественной освещенности на местности. Особое внимание в ходе таких испытаний необходимо уделять возможности эффективного управления ДУ НРТК ВН при использовании пульта дистанционного управления (ПДУ) в условиях высокого уровня освещенности (бликование экранов, эффект «затемнения экрана» и т.д.).

Топографические условия характеризуются типом местности, на которой предполагается применение ДУ НРТК ВН (рельеф, грунтовые воды, растительность, подстилающая поверхность, здания и сооружения и т.д.).

В дополнение к рельефу на местности в условиях ведения боевых действий могут присутствовать: инженерные заграждения, преодолимые и непреодолимые препятствия (площадные, протяженные или точечные). Все это диктует необходимость проведения проверок на качество и дальность связи между пунктом управления (ПУ) и образцом ДУ НРТК ВН не только в условиях прямой видимости, но и при наличии относительного превышения высот (от 3 м до 25 м), в оврагах (лощинах), в лесистой местности, в плотной городской застройке. Полученные при этом результаты испытаний должны быть использованы при разработке схем связи для конкретных районов применения ДУ НРТК ВН и включены в эксплуатационную документацию на данный вид ВВСТ.

Непосредственно ***условия боевого применения*** ДУ НРТК ВН могут характеризоваться:

● воздействием пыледымовых и световых помех (вспышки разрывов, сигнальных ракет и т.д.), а также аэрозолей на приборы наблюдения и прицеливания роботизированных образцов ВВСТ;

● возможным применением огнесмесей типа «Напалм», способных вывести из строя входную оптику приборов наблюдения и прицелов, резинотехнические изделия, расположенные снаружи на корпусе ДУ НРТК ВН, а также незащищенные электропровода и кабели;

● кратковременной потерей видимости (эффект «засветки») при воздействии пламени выстрела и трассирующих боеприпасов из собственного вооружения ДУ НРТК ВН на каналы наблюдения и прицеливания в ночное время суток, что способно привести к невозможности оценки результатов стрельбы и внесения необходимых прицельных поправок;

● наличием огневого противодействия противника, приводящим к выведению из строя отдельных узлов и агрегатов ДУ НРТК ВН, загрязнению или уничтожению входной оптики приборов наблюдения и прицеливания;

● возможным применением лазерных средств подавления, способных выводить из строя оптико-электронные приборы разведки, наблюдения и прицеливания.

Все перечисленные факторы требуют включения в типовые программы и методики испытаний ДУ НРТК ВН проверки надежности и эффективности функционирования систем очистки от загрязнения, средств защиты от запотевания и обледенения входных каналов наблюдения и прицеливания, а также достаточности принятых конструктивных мер по защите указанных каналов от воздействия пуль, осколков и огнесмесей (*рисунок 1*).

2. Наличие времени задержки приема-передачи данных и команд управления по радиоканалам связи между пунктом управления (пультом дистанционного управления) и ДУ НРТК ВН.

Превышение допустимых значений времени задержки передачи команд и видеоинформации между ПУ (ПДУ) и образцом ДУ НРТК ВН способно существенно влиять на эффективность

Рис. 1. Момент испытаний надежности и эффективности работы системы очистки от загрязнения входных каналов приборов наблюдения ДУ НРТК разминирования «Проход-1» в сложной дорожной обстановке

управления, а также на качество и безопасность преодоления сложных препятствий, требующих точного позиционирования и своевременного маневрирования роботизированным образцом ВВСТ. К таким препятствиям по опыту проведения испытаний следует отнести: колейные мосты и проходы в минно-взрывных заграждениях, противотанковые рвы, участки городских разрушений, проезды в тоннелях, на эстакадах и под путепроводами (*рисунок 2*). В целях оценки влияния времени задержки на возможность эффективного управления движением ДУ НРТК ВН в режиме реального времени необходимо преодоление всех вышеперечисленных препятствий включать в программы и методики испытаний роботизированных образцов ВВСТ.

Время задержки передачи видеоинформации и команд управления из ДУ НРТК ВН на ПУ (ПДУ) способно оказать влияние и на точность стрельбы боевого модуля, особенно при стрельбе по маневрирующим и движущимся целям. По этой причине методики испытаний ДУ НРТК ВН должны в обязательном порядке включать проверки по оценке точности стрельбы из боевого модуля по целям, меняющим направление движения с угловой скоростью до 30 градусов в секунду и более.

3. Необходимость качественного проведения проверок беспроводных каналов связи и управления на соответствие предъявляемым к ним требованиям.

Анализ руководящих документов (ГОСТ, ОТТ, приказов МО РФ и других) и опыт проводимых испытаний позволяют выделить следующие основные требования, предъявляемые к беспроводным каналам связи и управления ДУ НРТК ВН.

Электромагнитная совместимость (ЭМС). Аппаратура беспроводных каналов связи РТК ВН должна нормально функционировать и не создавать помех в условиях совместной работы с аппаратурой систем, объектов, для которых она предназначена, а также с аппаратурой другого назначения, которая может быть использована совместно с данной аппаратурой.

Требования к выполнению функциональных задач аппаратуры и исходные данные об ожидаемой электромагнитной обстановке задает заказчик в тактико-техническом задании (ТТЗ) на изделие в соответствии с требованиями стандартов системы «Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная».

Помехозащищенность и помехоустойчивость. ДУ НРТК ВН должны быть способны выполнить функциональные задачи в соответствии

Рис. 2. Момент испытаний по преодолению ДУ НРТК ВН разминирования «Уран-6» колейного моста

с требованиями назначения при воздействии преднамеренных, непреднамеренных и естественных помех в типовых условиях боевого применения (эксплуатации).

При этом виды и параметры преднамеренных, непреднамеренных и естественных помех, при которых ДУ НРТК ВН способен оставаться работоспособным, устанавливает заказчик в ТТЗ на каждый конкретный роботизированный образец ВВСТ.

Для проведения испытаний на помехозащищенность и помехоустойчивость беспроводных каналов связи ДУ НРТК ВН научно-исследовательскими организациями Министерства обороны Российской Федерации разрабатываются частные модели радиоэлектронной борьбы и электромагнитной обстановки [6].

Разведзащищенность (скрытность). Беспроводные каналы связи ДУ НРТК ВН должны обеспечивать радио- и радиотехническую маскировку [10].

Устойчивость к воздействию электромагнитных и ионизирующих излучений, создаваемых источниками естественного и искусственного происхождения. ДУ НРТК ВН должны выполнять функциональные задачи при воздействии электромагнитных и ионизирующих излучений ядерного взрыва, а также других электромагнитных излучений, в том числе создаваемых грозовыми разрядами и линиями электропередач.

Защищенность от воздействия сверхкороткого электромагнитного излучения (СК ЭМИ). Параллельно с развитием робототехники совершенствуются и новые методы борьбы с роботизированными образцами ВВСТ. Одним из таких методов является применение электромагнитного оружия, основанного на сверхкоротких электромагнитных излучениях (СК ЭМИ).

СК ЭМИ можно рассматривать как всплеск электромагнитной энергии, который при воздействии на проводящие структуры может вызывать наводки, соизмеримые по длительности с воздействующим излучением и, как следствие, сбои в системах управления ДУ НРТК ВН [7].

При разработке ДУ НРТК ВН, предназначенных для выполнения боевых и обеспечивающих задач, необходимо предусматривать защиту, а также ряд испытаний, в том числе и от возможного воздействия СК ЭМИ, являющегося относительно новым видом электромагнитного оружия и обладающего рядом отличий от традиционного сверхвысокочастотного и импульсного воздействия.

Устойчивость к воздействию статического электричества. Статическое электричество может накапливаться на операторах, а также на корпусах радиоэлектронного, электронного и электрооборудования, входящего в состав ДУ НРТК ВН, и оказывать негативное воздействие на надежность и устойчивость работы беспроводных каналов связи ДУ НРТК ВН.

Защищенность от деструктивных информационных воздействий и несанкционированного доступа. Аппаратура формирования беспроводных каналов связи роботизированных образцов ВВСТ должна оснащаться сертифицированными Федеральной службой безопасности Российской Федерации средствами криптографической защиты информации и обеспечения имитозащиты команд управления. Кроме того, в состав указанной аппаратуры должна обязательно входить система защиты информации от несанкционированного доступа [11,12].

4. Опытные образцы ДУ НРТК ВН среднего и тяжелого классов являются источниками повышенной опасности и требуют дополнительных технических и организационных мер по обеспечению безопасности их испытаний и исследований.

Являясь мобильным средством, ДУ НРТК ВН среднего и тяжелого классов представляют существенную опасность в случае потери управления и несанкционированного маневрирования. Это обусловлено тем, что данные роботизированные образцы ВВСТ обладают большой массой (средние (самоходные) – от 1,5 тонны, тяжелые – свыше 18 тонн) и могут развивать скорость более 60 км/ч. В случае потери управления указанные ДУ НРТК ВН могут стать причиной серьезных разрушений и представлять определенную угрозу жизни и здоровью личного состава.

Дополнительную опасность при проведении испытаний создает наличие различных видов вооружения на борту ДУ роботизированных образцов ВВСТ в случае открытия ими несанкционированного огня.

Указанная специфика ДУ НРТК ВН влечет за собой необходимость разработки дополнительных организационных и технических мер по обеспечению безопасности их испытаний, а также создания необходимого навесного оборудования контроля за состоянием аппаратуры исследуемых образцов в режиме реального времени [8].

Выводы

1. Разработка программ и методик испытаний ДУ НРТК ВН среднего и тяжелого классов требует всестороннего учета всех возможных условий боевого применения, а также конструктивных особенностей роботизированных образцов ВВСТ.

2. Важным этапом испытаний и исследований ДУ НРТК ВН является качественное проведение проверок беспроводных каналов управления и приема-передачи данных на соответствие предъявляемым к ним требованиям.

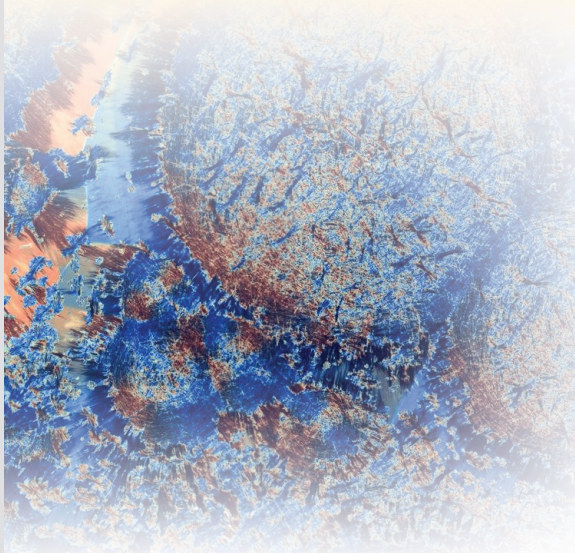
3. Опытные образцы ДУ НРТК ВН являются источниками повышенной опасности для личного состава, оборудования испытательных полигонов, зданий и сооружений, других образцов ВВСТ. Проведение испытаний и исследований указанных образцов влечет необходимость разработки:

- дополнительных технических и организационных мер по обеспечению их всесторонней безопасности;
- необходимого навесного оборудования контроля за состоянием систем и аппаратуры исследуемого образца в режиме реального времени.

Литература

1. Каляев И.А., Рубцов И.В. Боевым роботам нужна программа // Национальная оборона, 2012. №8 (77). С.34-48.
2. Unmanned Ground Systems Roadmap // Robotics Systems Joint Project Office, 2011.
3. Рубцов И.В. Вопросы состояния и перспективы развития отечественной наземной робототехники военного и специального назначения // Известия ЮФУ. Технические науки, 2013. №3(140). С.14-20.
4. Кудряшов В.Б., Лапшов В.С., Носков В.П., Рубцов И.В. Проблемы роботизации ВВТ в части наземной составляющей // Известия ЮФУ. Технические науки, 2014. № 3(152). С.42-57.
5. Корнилов В.И., Петров В.Ф. К вопросу разработки общих технических требований к системам дистанционного управления образцами бронетанковой военной техники // Сборник ре-

фератов депонированных рукописей. Серия Б, 2012. №96. С.10-19.
6. Антохин Е.А., Панасенко Н.Н., Чернова А.Д. Основные требования, предъявляемые к беспроводным каналам связи наземных робототехнических комплексов военного назначения // Робототехника и техническая кибернетика, 2017. № 4(17). С.10-14.
7. Шевырев А.В., Невзоров Ю.В., Пименов П.Н., Фомина И.А., Пронин С.А. Анализ устойчивого функционирования робототехнических комплексов нового поколения в условиях преднамеренного воздействия сверхкоротких электромагнитных импульсов // Известия ЮФУ. Технические науки, 2016. №2(175). С.240-251.
8. Рогов В.А., Евтихов А.Н., Антохин Е.А., Агафонов А.Ю. Обеспечение безопасности испытаний наземных робототехнических комплексов военного назначения // Информационно-измерительные и управляющие системы. Военная робототехника. Труды Главного научно-исследовательского испытательного центра робототехники Министерства обороны Российской Федерации, 2017. №6. Т.15. С.51-56.
9. Умников Е.В., Грачев В.А., Атакищев О.И. Методы оценки эффективности интеллектуальных систем управления в применении к имитационному моделированию робототехнических комплексов // Известия Института инженерной физики, 2018. №2(48). С.76-82.
10. Антохин Е.А., Паничев В.А. Формирование основных требований к беспроводным каналам связи наземных робототехнических комплексов военного назначения // Сборник трудов участников I Межведомственной научно-практической конференции «Телекоммуникации и кибербезопасность: специальные системы и технологии». Серпухов: МОУ «ИИФ», 2019. Т.2. С.40-44.
11. Атакищев О.И., Смирнов Д.В., Атакищев А.О., Стародубцев П.Е. Особенности выбора признаков при классификации методов поиска, используемых в системах информационной безопасности // Сборник трудов участников I Межведомственной научно-практической конференции «Телекоммуникации и кибербезопасность: специальные системы и технологии». Серпухов: МОУ «ИИФ», 2019. Т.2. С.248-253.
12. Атакищев О.И., Царьков А.Н., Смирнов Д.В. Особенности применения метаграмматических сетей в задачах моделирования ситуаций при управлении системами информационной безопасности // Сборник трудов участников I Межведомственной научно-практической конференции «Телекоммуникации и кибербезопасность: специальные системы и технологии». Серпухов: МОУ «ИИФ», 2019. Т.2. С.259-263.



УДК 621.793.3

АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ И НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАКЦИЙ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ МЕДИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВОЛОКНАХ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

HARDWARE DESIGN AND SOME TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE USE OF REACTIONS CHEMICAL DEPOSITION OF COPPER TO OBTAIN COPPER COATINGS ON POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FIBERS

Евгений Михайлович Ананьев
почетный работник науки и техники РФ
кандидат технических наук, доцент
член-корреспондент АИО
Первый Вице-президент Института – Первый заместитель генерального директора Института
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: e.ananev@mail.ru

Олег Николаевич Андрух
почетный работник науки и техники РФ
кандидат технических наук, доцент
Генеральный директор
АО «НПО «ОТ ПДИ»
Адрес:142210, Московская область, г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Телефон: 8(4967)35-31-93
E-mail: oandruh@mail.ru

Наталия Иосифовна Пакуро
кандидат химических наук
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес:142210, Московская область, г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Телефон:8 (967) 039-41-20
E-mail: npakuro@gmail.com

Людмила Фёдоровна Рыбакова
кандидат химических наук
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес:142210, Московская область, г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Телефон: +7 (916) 415-90-90
E-mail: info@iifmail.ru

Наталия Владимировна Садовская
кандидат физико-математических наук
ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
ведущий сотрудник
филиал АО НИФХИ им. Л. Я. Карпова
Адрес:142210, Московская область, г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Телефон: +7 (916) 839-75-57
E-mail: nataly_sadovska@mail.ru

Андрей Евгеньевич Салько
доктор технических наук, профессор
Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники
заместитель генерального директора по научно-технической политике и межструктурным коммуникациям
МОУ «ИИФ»
Адрес:142210, Московская область, г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Телефон: +7 (985) 923-42-09
E-mail: info@iifmail.ru

Аннотация
Разрабатывается универсальный модуль для химической металлизации (меднения) волокон из полиэтилентерефталата (ПЭТФ, лавсан) на основе полученных лабораторных данных, которые показывают возможность образования на поверхности волокна сплошного равномерного медного покрытия, обладающего электропроводностью и устойчивого во времени. Поверхность исследована методами РФА, РЭМ и РСМА.
Ключевые слова: полиэтилентерефталат (ПЭТФ), лавсан, химическая металлизация, морфология поверхности.

Summary
The universal modulus for chemical metallization (copper deposition) of polyethylene terephthalate (PET, lavsan) fibers is being developed on the basis of laboratory data obtained. The formation on the fiber surface of the continuous uniform coating, which is electrically conductive and stable in time, is shown. Copper surfaces have been investigated by X-Ray phase analysis, scanning electron microscopy, and X-Ray microanalysis methods.
Keywords: polyethylene terephthalate (PET), lavsan, chemical metallization, surface morphology.

Введение

Волокно на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ, лавсан) широко применяется в современной технике вследствие его уникальных качеств. Высокая температура плавления (260°С), химическая инертность и высокая прочность на разрыв выделяют его среди большинства существующих синтетических полимеров.

Токопроводящие металлизированные нити лавсана, в частности с медным металлическим покрытием, представляют большой интерес для электроники, электротехнической и других областей современной техники в качестве перспективных материалов. Несмотря на то, что в настоящее время известны процессы меднения разнообразных пластиков [1], создание надежного токопроводящего материала на основе ПЭТФ со сплошным медным покрытием до сих пор является актуальной, но сложной задачей вследствие его чрезвычайной химической инертности. На сегодняшний день основными методами меднения ПЭТФ являются химическая и гальваническая металлизация [2,3], Химическая металлизация заключается в формировании слоя меди растворным методом, основанным на реакции солей меди с рядом восстановителей, таких как формальдегид [2,3], глиоксаль [4], гидразин сульфат [5,6], боргидрид натрия [7-9]. Кроме того, процесс меднения может состоять из двух стадий: химической металлизации и последующего наращивания слоя меди гальваническим способом до необходимой толщины покрытия [2,3].

При химическом меднении волокон лавсана важным моментом является выявление условий восстановления солей меди с малым числом побочных реакций. Ряд особенностей реакций химического осаждения меди определяет возможность их использования для металлизации волокон, предъявляет специальные требования к аппаратуре, используемой на всех этапах металлизации.

В настоящей работе рассмотрены возможности использования для получения медных покрытий на волокнах полиэтилентерефталата (лавсана, ПЭТФ) опытной аппаратуры для химической металлизации, разработанной МОУ «Институт инженерной физики» совместно с филиалом АО «НИФХИ имени Л.Я. Карпова».

Проведен анализ предлагаемой технологической методики и подробно рассмотрены ее положительные и отрицательные стороны на всех этапах меднения, включая экологические аспекты, кратко обсуждена экономическая сторона вопроса.

Методическая часть

Процесс химического меднения волокон состоит из трех основных этапов: обезжиривания волокон, их активации (модификации) и последующего покрытия металлом (медью). Ниже приводится блок-схема разрабатываемого технологического процесса (*рисунок 1*).

Предлагается конструкция универсального модуля, состоящего из реактора с плотной крышкой, через которую загружается пасьма волокна, связанная в рыхлый узел, и растворы солей и щелочи для любого этапа работы: обезжиривание и промывание водой; активирование и промывание; химическая растворная металлизация, промывание.

Эти процессы могут осуществляться последовательно в одном реакторе или в нескольких реакторах одновременно со сдвигом во времени. В крышке реактора необходимо предусмотреть отверстие со шлифом (раструб), куда можно загружать пипеткой со шлифом необходимое количество таких опасных веществ, как формалин или аммиак водный, а также расчетное количество соляной кислоты для нейтрализации аммиака в самом конце процесса. В случае увеличения масштаба производства для охлаждения раствора меднения реактор должен иметь рубашку, подключенную к холодильному агрегату. Для промывания и охлаждения раствора меднения к реактору должна быть предусмотрена подводка воды (шланги, связанные с входным и выходным отверстиями, с кранами и с приемным баком). Сушка омедненных нитей может осуществляться на воздухе или в вакууме.

Подобный процесс был ранее осуществлен авторами в лабораторных условиях (использовалась стеклянная аппаратура) [5,7].

Экспериментальная часть

В работе используются два типа волокна лавсан производства ОАО Могилевхимволокно (Беларусь): М980 (линейная плотность текс 220) и М980 (текс 93.5). Комплексная нить состоит соответственно из 400 и 200 очень тонких элементарных нитей диаметром 18-20 мкм каждая.

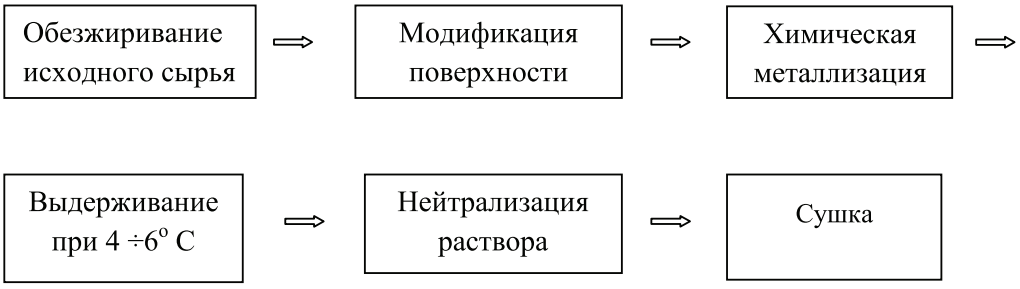


Рис. 1. Блок-схема химической металлизации волокон полиэтилентерефталата (лавсана)

Нити лавсана наматываются на устройство, широко применяемое в текстильной промышленности, представляющее собой квадратное основание определенного размера со столбиками по углам. Образующееся кольцо из нити вытягивается в пасьму и сворачивается в виде рыхлого узла. При этом в растворе доступна вся поверхность нитей без их перекрывания.

Обезжиривание. Свернутые в пасьму нити лавсана выдерживают в хлорорганических растворителях (CCl_4 или CH_2Cl_2) в течение 2-5 ч при комнатной температуре, отмывают 3 раза диметилсульфоксидом (ДМСО) или диметилформамидом (ДМФА), затем водопроводной и дистиллированной водой.

Активация: (образование на поверхности волокна полярных групп $-CH_2OH$ [7]). Обезжиренное волокно оставляют при комнатной температуре (20 ч) в растворе следующего состава: дистиллированная вода – 25 мл, формалин – 25 мл, соляная кислота 0.1 N – 5 мл, затем отмывают дистиллированной водой.

Металлизация: Реакцию металлизации (омеднения) волокна проводят путем восстановления солей меди боргидридом натрия в лабораторных условиях в стеклянных колбах с притертыми крышками емкостью 100-500 мл.

Для проведения реакции омеднения отрезка нити М980 текс 220 длиной 130 см готовят раствор № 1 состава: боргидрид натрия $NaBH_4$ – 0.40 г, NaOH – 0.72 г, дистиллированная вода 14 мл. Помещают сложенную в виде рыхлого узла и отмытую водой активированную нить в полученный раствор на 20 мин при комнатной температуре 18-23^{o}C. За это время готовят раствор №2 состава: моногидрат ацетата меди $(CH_3COO)_2Cu{\cdot}H_2O$ – 0.40 г, Трилон Б – 1.60 г, хлорид меди $CuCl_2{\cdot}2H_2O$ – 0,015 г, аммиак водный – 6 мл, дистиллированная вода 20 мл.

Приливают раствор №2 к раствору №1 при комнатной температуре (18-23^{o}C) и перемешивают компоненты смеси в течение всей реакции путем слабого покачивания колбы. Через 20 минут голубой раствор начинает менять окраску. В случае отсутствия в растворе хлорида меди индукционный период увеличивается вдвое. После некоторого индукционного периода голубая окраска Cu^{++} переходит в зеленую, и начинается омеднение нити. К концу реакции раствор сначала приобретает бурую окраску, затем снова становится голубым. Далее колбу с раствором и омедненной нитью переносят в холодильник и оставляют на 20 ч при температуре 4-6^{o}C, затем отмывают дистиллированной водой и высушивают.

Иногда применяют повторное меднение с целью увеличения толщины покрытия, которое протекает быстро и без индукционного периода. В этом случае в состав раствора № 2 не вводят хлорид меди [7, 8, 9].

Для проведения реакции омеднения отрезка нити М980 текс 93.5 длиной 49.4 м готовят раствор № 3 состава: боргидрид натрия $NaBH_4$ – 2.315 г, NaOH – 3.02 г, дистиллированная вода 200 мл в стеклянной колбе на 500 мл. Помещают сложенную в виде рыхлого узла и отмытую водой активированную нить в полученный раствор на 20 мин при комнатной температуре . За это время готовят раствор № 4, который получают путем смешения раствора 3,70 г хлорида меди $CuCl_2{\cdot}2H_2O$ в 30 м воды, раствора 5,72 г Трилона Б в 20 мл воды , 6 мл аммиака водного и 20 мл воды.

Медленно по частям приливают раствор № 4 к раствору № 3 в течение 15 мин при комнатной температуре (18-23^{o}C) и перемешивают компоненты смеси в течение всей реакции путем слабого покачивания колбы. Голубая окраска Cu^{++} переходит в зеленую, и начинается омеднение нити. К концу реакции раствор сначала приобретает бурую окраску, затем снова становится голубым, потом бесцветным. Через 15 мин колбу с раствором и омедненной нитью переносят в холодильник и оставляют на 20 ч при температуре 4-6 ^{o}C, затем многократно отмывают дистиллированной водой и высушивают.

Результаты и их обсуждение

Предлагаемая методика металлизации (меднения) лавсана имеет определенные преимущества по сравнению с обычно применяемыми приемами металлизации многих пластических материалов и особенно лавсана. В большинстве случаев очистка поверхности пластиков и их активация требует применения повышенных температур. Чаще всего это кипячение в щелочной среде, после которого необходимо проводить их нейтрализацию [10].

Согласно предлагаемой схеме процесса обезжиривание проводится с помощью дешевых хлорированных растворителей с последующим отмыванием с помощью невредных и негорючих ДМСО и ДМФА, хорошо растворяющих органические соединения и растворимых в воде. Все эти растворители могут применяться многократно, а затем их легко очистить от продуктов замасливания простой перегонкой. Кроме того, для обезжиривания можно использовать современные моющие средства типа ОП-7, которые легко подвергаются биологической очистке в сточных водах.

В настоящее время для активации поверхности лавсана применяются исключительно системы с использованием солей драгоценных металлов таких, как золото или палладий [2, 3, 11]. Наиболее часто используются растворы, содержащие $PdCl_2$ с концентрацией 0.1 г/л и соли олова. Стоимость 1 грамма $PdCl_2$ составляет 2400 р, чтобы получить 100 м омедненной нити, понадобится несколько литров раствора. При этом большая часть этих двух веществ образует нерастворимый коллоид, осаждение всех катионов соли палладия на поверхность нити лавсана не происходит. Это создаст трудности при попытке его регенерации из сточных вод. Выделение палладия из шлама требует применения опасных производных плавиковой кислоты, например, ядовитой борфтористоводородной кислоты.

В предлагаемом варианте для активации поверхности нитей применяется выдерживание волокна лавсана в растворе формалина в кислой среде (HCl) при комнатной температуре. При этом на чрезвычайно химически инертной поверхности лавсана образуются полярные группы – способствующие удержанию на ней слоя меди. Кислота удерживает формалин в растворе в виде комплексного соединения, поэтому он не попадает в воздушное пространство и в таком виде безвреден. Приготовленный раствор может быть использован многократно в течение нескольких недель.

В процессе восстановления соли меди боргидридом натрия раствор меняет окраску. Голубой цвет раствора переходит в зеленый. Природа этого явления мало изучена. Можно предположить, что изменение окраски раствора связано с образованием комплексов меди различной валентности. К концу реакции раствор сначала приобретает бурую окраску, вероятно, связанную с появлением мелкодисперсной меди или ее наночастиц, и снова становится голубым, затем бесцветным.

Далее нить следует отмыть водой и высушить. Однако в литературных источниках указывается (и это можно видеть на практике), что если отмывать нить сразу по окончании реакции, медь окисляется и нить теряет окраску. Во избежание этих негативных явлений по окончании меднения раствор с ниткой оставляют в холодильнике при температуре 4-6° С. Затем нить многократно ополаскивают водопроводной и дистиллированной водой и сушат на воздухе при комнатной температуре. Отмытая водой и высушенная нить красивого медного цвета.

Известно, что наночастицы меди на воздухе быстро окисляются при комнатной температуре в отсутствие полимерных или комплексных добавок [12]. Вероятно, в процессе выдерживания при низкой температуре в течение длительного времени происходит кристаллизация мелкодисперсной меди с образованием устойчивого покрытия.

Все стадии процесс металлизации лавсана (в том числе и основной процесс восстановления ацетата и хлорида меди боргидридом натрия) протекают при комнатной температуре, в отличие от обычно применяемого процесса восстановления сульфата меди, который начинается только при нагревании раствора выше 50°С [7].

В состав реакционной смеси входит аммиак. По окончании процесса металлизации и периода выдерживания на холоде аммиак может быть нейтрализован расчетным количеством соляной кислоты или оттитрован до pH 7, что поможет также дальнейшему процессу утилизации сточных вод.

Путем взвешивания образцов исходных и омедненных нитей марки М980 текс 220 длиной более 100 см было показано, что вес осажденной меди составляет более 20% от веса омедненной нити после первого и около 35% после повторного омеднения.

Полученные вышеописанным способом три нити лавсана М980, текс 220 с медным покрытием длиной 1.3 м каждая, были сплетены вручную в тугую косичку. Полученный проводник имеет сопротивление от конца до конца 0.8 Ом.

Повторную металлизацию нити марки М980 текс 93,5 не проводили. Электрическое сопротивление вдоль всей нити остается в пределах 0.6-0.8 Ом/см.

Результаты исследований омедненных лавсановых нитей методами растровой электронной микроскопии (РЭМ), рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) и рентгенофазового анализа (РФА) приведены в работах [7-9], откуда следует, что покрытие представляет собой чистую медь без примеси оксидов или других элементов, являясь при этом сплошным и однородным.

Представляет интерес проведенное нами исследование омедненных волокон, полученных указанным выше способом и выдержанных на воздухе в течение 4-х лет. Была исследована морфология поверхности методом РЭМ и элементный состав методом РСМА. Используемое оборудование, режимы и условия измерений подробно описаны в работе [7]. Показано, что состав медного покрытия за это время не изменился и оно представляет собой чистую медь.

На *рисунке 2* представлены РЭМ-изображения поверхности волокон, металлизированных с использованием хлорида меди, выдержанных на

воздухе при комнатной температуре в течение 4-х лет. Видно (*рисунок 2а*), что покрытие осталось сплошным, неомедненных участков не наблюдается, трещины также отсутствуют. Большие увеличения выявляют морфологию поверхности: она сформирована кристаллитами в виде чешуек размером 0.51 мкм, которые плотно срастаются друг с другом, образуя плотное покрытие.

Для сравнения на *рисунке 3* представлены РЭМ-изображения, полученные в 2015 году, волокон той же серии. Из рисунков следует, что выдержка в течение 4-х лет к существенным изменениям в морфологии не привела, за исключением того, что поверхность стала более гладкой (осыпались лишние чешуйки).

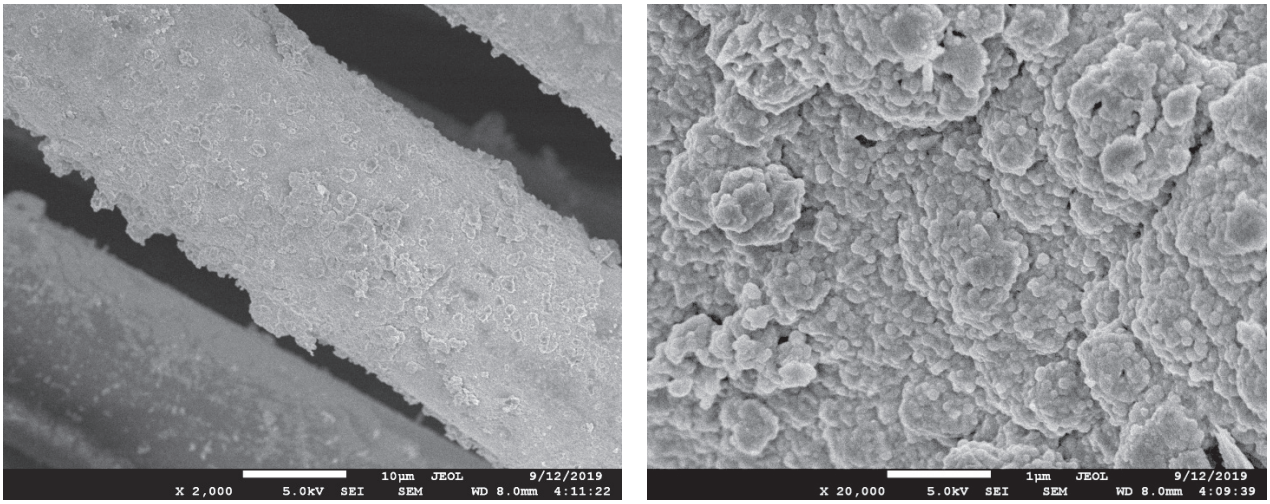
Таким образом, показано, что медное покрытие волокон, полученное по выше описанной технологии, является устойчивым к воздействию окружающей среды.

Заключение

Предлагаемый процесс химической металлизации волокон экологически безвреден, технически прост, экономически выгоден.

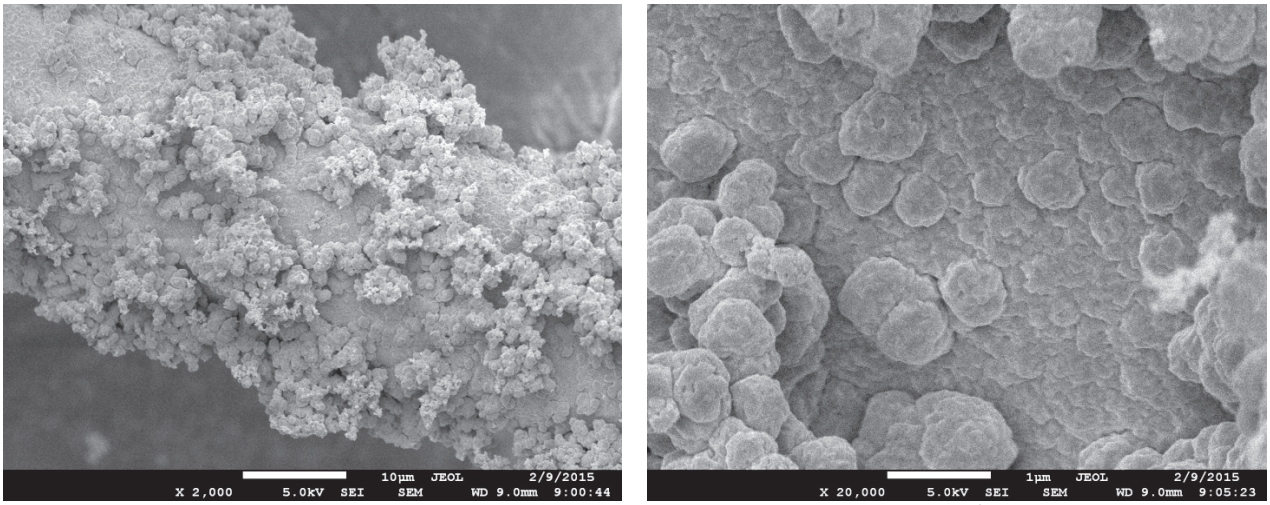
Разработанная методика металлизации нитей полиэтилентерефталата (лавсана) имеет следующие преимущества.

Не предполагается использование обычно применяемых в процессах металлизации пластиков солей драгоценных металлов, в частности, чрезвычайно дорогих солей палладия для активации поверхности волокна лавсан. Отсутствует опасная и дорогостоящая стадия очистки волокна с использованием обычно применяемых очень активных производных фтористоводородной кислоты от коллоидных остатков, образующихся при разложении солей палладия и олова в процессе металлизации. Очистка сточных вод без этой стадии упрощается.



а) б)

Рис. 2. РЭМ-изображения волокон лавсана, металлизированных с использованием хлорида меди, полученные при различных увеличениях: а -×2000, б - ×20000. Съемка 2019 года



а) б)

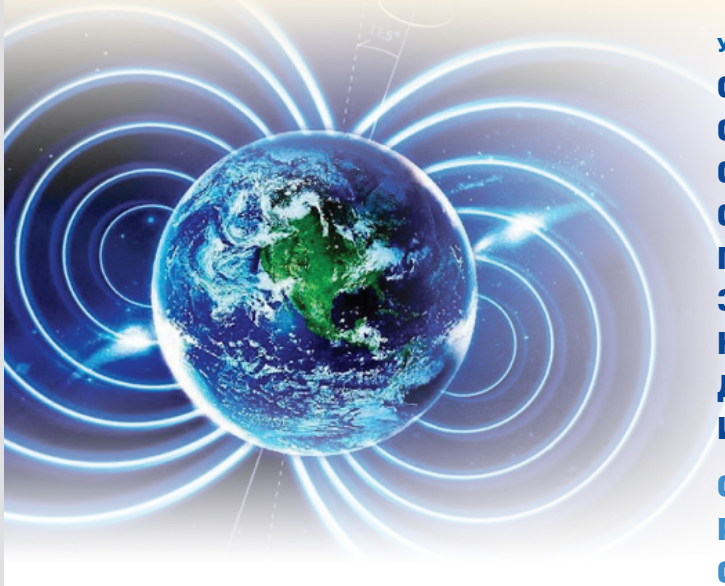
Рис. 3. РЭМ-изображения поверхности волокон лавсана, металлизированных с использованием хлорида меди, полученные при различных увеличениях: а - ×2000, б - ×20000. Съемка 2015 года

Все процессы протекают при комнатной температуре без нагрева.

Получаемые металлизированные нити имеют хорошую электропроводность, а само покрытие является сплошным, однородным без дефектов и состоит из меди без наличия примесей, в том числе оксидов. Медное покрытие устойчиво к воздействию кислорода воздуха в течение длительного периода времени.

Литература

1. Металлизация пластмасс: разновидности технологий и их особенности [Электронный ресурс]. URL: http://met-all.org/obrabotka/prochie/metallizatsiya-plastika-plastmass.html (дата обращения 17.10.2019).
2. Sviridov V.V., Gaevskaya T.V., Stepanova L.I., Vorobyova T.N. Electroless deposition and electroplating of metals // Chemical problems of the development of new materials and technologies. BSU, Minsk, 2003, pp.9-59.
3. Шалкаускас М.И., Вашкялис П.-А.Ю. Химическая металлизация пластмасс. Л.: Химия, 1985. 144 с.
4. Пат. 2363790 C2 Российская Федерация, D06M 11/83, C23C 18/40, C23C 18/18. Способ металлизации дисперсных тканных и нетканых материалов / Смирнова Н.В., заявитель и патентообладатель ООО «Гальвика» (RU). № 2007120934/04, заявл.04.06.2007; опубл. 10.08.2009. Бюл. № 22.
5. Рыбакова Л.Ф., Садовская Н.В., Нахманович Б.И., Пакуро Н.И., Политова Е.Д., Караев А.К., Ситников В.П. Химическая металлизация и морфология поверхности омедненных нитей полиэтилентерефталата // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. Исслед, 2017. № 12. С.40-47.
6. Пат. 2 701 829 C1 Российская Федерация, D06M 11/83, C23C 18/38. Способ меднения лавсановых нитей / Алексеева А.В., Ананьев Е.М., Андрух О.Н., Караев А.К., Нахманович Б.И., Пакуро Н.И., Рыбакова Н.И., Садовская Н.В., Ситников П.Ф.; заявители и патентообладатели МОУ «Институт инженерной физики» (RU), АО «НПО «ОТ ПДИ» (RU). – N 2018114248; заявл. 18.04.2018; опубл. 01.10.2019. Бюл. N 28. 9 с.: ил.
7. Пакуро Н.И., Рыбакова Л.Ф., Нахманович Б.И., Караев А.К., Садовская Н.В., Политова Е.Д., Ситников В.П. // Исследование процесса омеднения волокна лавсана химическими методами // Химические волокна, 2017. №4. С.10-14.
8. Pakuro N. I., Rybakova L. F., Nakhmanovich B. I., Karaev A.K., Sadovskaya N. V., Politova E. D., Sitnikov V. P. Chemical Copper Coating of Lavsan Fibers // Fibre Chemistry, 2018. V.19, Issue 4. Pp.237-241.
9. Пат. 2682577 C1 Российская Федерация, D06M 11/83, C23C 18/40. Способ меднения лавсановых нитей с недеструктирующей активацией поверхности / Алексеева А.В., Ананьев Е.М., Андрух О.Н., Караев А.К., Нахманович Б.И., Пакуро Н.И., Рыбакова Н.И., Садовская Н.В., Ситников П.Ф.; заявители и патентообладатели МОУ «Институт инженерной физики», АО «НПО «ОТ ПДИ» (RU). - N 2018119910; заявл. 30.05.2018; опубл. 19.03.2019. Бюл. N 8. 9 с.: ил.
10. Tho S.I., Ibrahim K. Influence of surface roughness of polyethylene terephthalate (PET) substrate to the morphology and optical properties of coated zinc oxide thin-film // General Teknologi (Sciences and Engineering), 2012. V.59. Suppl.3. Pp.5-8.
11. Металлизация диэлектриков. НПП Электрохимия. [Электронный ресурс]. URL: https://zsts.ru/sections/polymers (дата обращения 17.10.2019).
12. Benavente E., Lozano H., Gonzales G. Fabrication of copper nanoparticles: advances in synthesis, morphology control, and chemical stability // Recent patents on nanotechnology, 2013. V.7. №2. Pp.108-132.



УДК 528

ОПТИМАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ САМОСОГЛАСОВАННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ АНОМАЛЬНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТОЧЕЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

OPTIMAL EVALUATION OF THE PARAMETERS OF THE SELF–CONSISTENT COMPONENTS OF THE ANOMALOUS GRAVITATIONAL FIELD OF THE EARTH WITH THE ATTRACTION OF THE MAP–GRAPHIC DATA AND ADDITIONAL POINT MEASUREMENTS

Максим Григорьевич Белоножко
адъюнкт
филиал ВА РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г.Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (929) 993-62-25
E-mail: belonozhko.maksim.86@mail.ru

Аннотация
Показана принципиальная возможность повышения точности определения ускорения силы тяжести с использованием цифровых карт аномального гравитационного поля и точек с дополнительными измерениями соответствующего параметра.
Ключевые слова: гравитационное поле, ускорение силы тяжести, оптимальная оценка, цифровая карта.

Summary
The principal possibility of increasing the accuracy of determining the acceleration of gravity using digital maps of the anomalous gravitational field and points with additional measurements of the corresponding parameter is shown.
Keywords: the gravitational field, the acceleration of gravity, optimal estimation, digital map.

В настоящее время появляются новые измерительные приборы, измеряющие различные составляющие (трансформанты) аномального гравитационного поля Земли (АГПЗ). Существующие цифровые модели (ЦМ) АГПЗ не обновляются и их погрешности на порядок выше погрешностей вновь разрабатываемых измерительных приборов. Также данные ЦМ являются глобальными, а уточненные локальные модели АГПЗ на заданные районы отсутствуют. Поэтому актуальной задачей является обоснование методов обработки информации в целях подготовки (оперативного уточнения существующих) карт – навигационных гравиметрических карт на основе первичных гравитационных измерений.

Понятие возмущающего потенциала сложное и единое, а его трансформанты (аномалии ускорения силы тяжести (УСТ), составляющие уклонений отвесных линий в плоскостях меридиана и первого вертикала, вторые производные потенциала) корреляционно связаны (самосогласованы) между собой. Уточнение одного из трансформант дает возможность уточнить и остальные, что является их особенностью. В целях упрощения изложения и конкретизации, а также придания физического смысла в статье рассматривается УСТ [1-2], а необходимое обобщение по остальным трансформантам мы дадим в выводе.

В статье рассмотрено упрощенное решение задачи определения УСТ в определяемой точке, расположенной в непосредственной близости от маршрута движения навигационного объекта с привлечением информации дополнительных измерений в контрольных точках (КТ) и ЦМ АГПЗ [3-4]. Привлечение этой информации принципиально позволяет повысить точность ЦМ АГПЗ [5-10].

Постановка задачи

Для решения задачи принимаются следующие ограничения: рассматривается локальный

район, т.к. решение задачи навигации осуществляется на небольших площадях; рельеф является равнинный (высота $H=0$) и слабо аномальный (аномалии выражены неявно). Значение радиуса корреляции находится на основе данных погрешностей карты и измерений методом статистического моделирования, алгоритм которого в данной статье не рассматривается.

Предположим, что в определяемой точке O (*рисунок 1*), заданной координатой X_O, «истинное» значение УСТ $g_0^{ИС}$ представлено в ЦМ АГПЗ погрешностью Δg_0^K, характеризующееся гауссовым распределением с нулевым математически ожиданием и дисперсией P_0^K. Картографическое значение УСТ в точке O получено из ЦМ АГПЗ современных геоинформационных систем [2], либо с использованием современной ЦМ EGM-2008 [2, 8]

$$g_O^K = g_{ЦМАГПЗ}(X_O), \qquad (1)$$

где $g_{ЦМАГПЗ}(X_O)$ – функция, описывающая зависимость УСТ от координаты X.

В непосредственной близости от определяемой точки находится КТ $Б$. «Истинное» значение УСТ в этой точке обозначим $g_Б^{ИС}$. По координате $X_Б$ точки $Б$ может быть рассчитано УСТ согласно ЦМ АГПЗ

$$g_Б^K = g_{ЦМАГПЗ}(X_Б)$$

характеризуемое нормально распределенной центрированной погрешностью $\Delta g_Б^K$ с дисперсией $P_Б^K$.

Из физических соображений ясно, что с уменьшением расстояния между точками, усиливается связь между их погрешностями Δg_0^K и $\Delta g_Б^K$. В предельном случае $X_0=X_Б$, $\Delta g_0=\Delta g_Б^K$. Поэтому введем ковариацию $P_{БО}^K$, как меру статистической связи между указанными погрешностями [9, 10]. Ее значение может быть найдено, например, из ковариационной функции $k_{\Delta g}(X_O, X_Б)$ погрешностей УСТ ЦМ АГПЗ в точках X_O и $X_Б$. Для описания трансформант возмущающего потенциала могут использоваться различные виды корреляционных функций [6, 9, 10,]. Рассмотрим корреляционную функцию вида [9, 10]

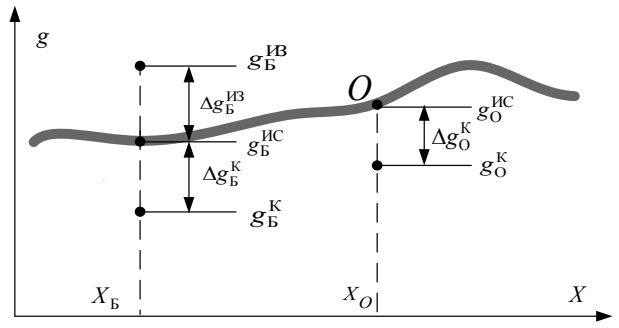


Рис. 1. К постановке задачи определения УСТ с привлечением КТ и АГПЗ

$$k_{\Delta g}(r_{\Delta g}) = k_{\Delta g}(X_O, X_Б) = D_{\Delta g}^K \exp\left(-\frac{r_{\Delta g}}{\tau_{\Delta g}}\right)\left(1+\frac{r_{\Delta g}}{\tau_{\Delta g}}\right), \qquad (2)$$

где $r_{\Delta g} = |X_O - X_Б|$ – расстояние между определяемой и КТ на оси X;

$D_{\Delta g}^K = P_O^K = P_Б^K$ – дисперсия погрешностей УСТ, вычисляемых по ЦМ АГПЗ;

$\tau_{\Delta g}$ – радиус корреляции этих погрешностей.

В КТ дополнительно может быть определено измеренное значение УСТ $g_Б^{ИС}$ ЦМ траектории, характеризующееся нормальной центрированной погрешностью $\Delta g_Б^{ИС}$ с дисперсией $P_Б^{ИЗ}$. Как видно, к КТ относятся два взаимно независимых значения УСТ $g_Б^{ИС}$ и $g_Б^K$, что позволяет уточнить значение УСТ в этой точке. Поскольку погрешности Δg_0^K и $\Delta g_Б^K$ УСТ в точках взаимосвязаны согласно (2), возможно также получение оптимальной оценки $\Delta\hat{g}_O^K$ и уточнение значения УСТ в определяемой точке

$$\hat{g}_O^K = g_{ЦМАГПЗ}(X_O) + \Delta\hat{g}_O^K. \qquad (3)$$

Таким образом, нахождение $\Delta\hat{g}_O^K$, $\hat{g}_O^K$ и является целью решаемой задачи.

Нахождение оптимальных оценок погрешностей

Решение задачи рассмотрим на основе обобщенного фильтра Калмана [11] получения оптимальных оценок. Для этого сформируем вектор погрешностей УСТ и его ковариационную матрицу

$$\bar{Z}_{\Delta g} = \begin{bmatrix} \Delta g_Б^{ИЗ} \\ \Delta g_Б^K \\ \Delta g_O^K \end{bmatrix},$$

$$P_{\Delta g} = \begin{bmatrix} P_Б^{ИЗ} & 0 & 0 \\ 0 & P_Б^K & P_{БО}^K \\ 0 & P_{БО}^K & P_O^K \end{bmatrix}.$$

Далее запишем выражения, устанавливающие связь между значениями УСТ и их погрешностями в точке $Б$

$$g_Б^K = g_Б^{ИС} + \Delta g_Б^K,$$
$$g_Б^{ИЗ} = g_Б^{ИС} + \Delta g_Б^{ИЗ}$$

откуда вычитанием второго равенства получим

$$g_Б^{ИЗ} - g_Б^K = \Delta g_Б^{ИЗ} - \Delta g_Б^K.$$

Полученное выражение разностных измерений УСТ представим в векторно-матричной форме

$$g_Б^{ИЗ} - g_Б^K = g_Z \cdot \bar{Z}_{\Delta g}, \qquad (4)$$

где $g_Z = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$ – матрица-строка наблюдения.

В соответствии с правилом нахождения параметров условных гауссовских плотностей, учитывая равенство нулю математического ожидания вектора $\bar{Z}_{\Delta g}$, запишем выражения для оценки и дисперсии искомой погрешности [3,4,9,10]

$$\Delta\hat{g}_O^K = \left(g_Б^{ИЗ} - g_Б^K\right)\frac{P_{БО}^K}{P_Б^{ИЗ} + P_Б^K},$$
$$\hat{P}_O^K = P_O^K - \frac{\left(P_{БО}^K\right)^2}{P_Б^{ИЗ} + P_Б^K} \qquad (5)$$

Зная $\Delta\hat{g}_O^K$, можно скорректировать значение УСТ в определяемой точке, воспользовавшись формулой (3). Как видно из (5), наряду с оценкой погрешности возможно нахождение и ее характеристики точности – дисперсии $\hat{P}_O^K$. Это облегчает решение задач контроля качества получаемых ЦМ и проектирования работ по получению ЦМ заданной точности.

Вывод

Обоснован алгоритм, позволяющий повысить точность трансформант возмущающего потенциала на примере определения УСТ за счет оптимального комплексирования информации ЦМ и КТ. Повышение точности обеспечивается за счет того, что измерения в КТ уже проведены и поэтому реализация алгоритма не требует больших затрат.

При удалении определяемой точки от КТ значение ковариации стремится к нулю и поэтому оценка искомых погрешностей стремится к своему априорному значению, а ее дисперсия – к априорной дисперсии.

Рассмотрен упрощенный алгоритм решения задачи на примере двух точек, но его можно применять для произвольного количества точек локального района и вместо одного параметра g рассматривать и остальные трансформанты АГПЗ (уклонения отвеса ξ и η в плоскости меридиана и первого вертикала, горизонтальные градиенты аномалии силы тяжести T_{gx} и T_{gy}).

Литература

1. Белоножко М.Г., Шолохов А.В. Построение самосогласованных цифровых карт аномального гравитационного поля Земли для коррекции перспективных подвижных ракетных комплексов // XXXVIII Всероссийская (межведомственная) НТК «Проблемы эффективности и безопасного функционирования сложных технических и информационных систем», ФВА РВСН (г. Серпухов), 2019. С.282-286.
2. Джанджгава Г.И., Августов Л.И. Навигация по геополям. Научно-методические материалы. М.: ООО «Научтехлитиздат», 2018. 296 с.
3. Котов Н.И., Шолохов А.В., Чернышев С.Е., Беркович С.Б. Подготовка навигационных гравитационных карт на основе первичных гравитационных измерений // Доклады научно-технической конференции «Навигация по гравитационному полю Земли и ее метрологическое обеспечение», ФГУП «ВНИИФТРИ». Менделеево, Московской обл., 2017. С.71-90.
4. Шолохов А.В., Дружинин И.М. Оптимальное оценивание высот точек по методу средней квадратической коллокации с привлечением данных кусочно-линейной модели рельефа // Геодезия и картография, 2011. № 8. С.12-15.
5. Гиенко Е.Г., Кузьмин В.И., Сурнин Ю.В. Некоторые результаты определения локального гравитационного поля на поверхности Земли // Вестник СГУГИТ, 2006. № 11. С.8-13.
6. Глазов Г.Н., Костевич А.Г. Моделирование дискретных гауссовых случайных полей // Интеллектуальные системы в управлении, конструировании и образовании». Вып. 2. Под ред. А.А. Шелупанова. Томск: STT, 2002. С.19-27.
7. Канушин В.Ф., Карпик А.П., Ганагина И.Г. и др. Исследование современных глобальных моделей гравитационного поля Земли: монография. Новосибирск: СГУГиТ, 2015. 270 с.
8. Пешехонов В.Г., Степанов О.А., Августов Л.И. и др. Современные методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли. СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2017. 390 с.
9. Дмитриев С.П. Высокоточная морская навигация. СПб.: Судостроение, 1991. 224 с.
10. Дмитриев С.П. Инерциальные методы в инженерной геодезии. СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 1997. 208 с.
11. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Часть 1. Введение в теорию оценивания. СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2017. 509 с.

УДК 623.746

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

ANALYSIS OF DEVELOPMENT AND APPLICATION PROSPECTS UNMANNED AERIAL VEHICLE

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

Виталий Валерьевич Звонарёв
кандидат технических наук
начальник лаборатории –
старший научный сотрудник ВИ (НИ)
ВКА имени А.Ф.Можайского
Тел.: + 7 (911) 254-58-70
E-mail: zvonarev@mail.ru

Александр Сергеевич Попов
доктор технических наук, профессор
старший научный сотрудник
ВКА имени А.Ф.Можайского
Тел.: +7 (921) 377-85-69
E-mail: popovaa@mail.ru

Елена Альбертовна Петрова
начальник отделения кафедры
ВКА имени А.Ф.Можайского
Тел.: +7 (999) 525-88-11
E-mail: petrova.e.a@inbox.ru

Аннотация
В статье представлен алгоритм автоматического управления режимами передачи информации при заданном значении вероятности безобрывной связи. Использование предлагаемого алгоритма позволяет формировать режимы управления с учетом динамических характеристик процесса замираний.
Ключевые слова: замирания сигнала, канал управления, вероятность правильного приёма сообщения, интервал корреляции.

Summary
The article presents an algorithm for automatic control of modes of information transmission at a given value of the probability of continuous communication. The use of the proposed algorithm makes it possible to form control modes taking into account the dynamic characteristics of the fading process.
Keywords: signal fading, control channel, probability of correct message reception, correlation interval.

Введение

В радиоканалах с низко расположенными антеннами, кроме прямых трасс распространения радиоволн в пределах прямой видимости между беспилотным летательным аппаратом (БЛА) и наземным пунктом управления (НПУ), возникает многолучевое распространение, обусловленное как отражением от окружающих объектов, так и постановкой специального вида помех противником. Многолучевое распространение радиоволн наиболее характерно для городских условий, где стены зданий и дорожное покрытие обладают высокой отражательной способностью. В результате принимаемый сигнал состоит из нескольких компонентов с разными амплитудами, фазами и направлениями прихода.

Таким образом, одним из следствий распространения радиоволн в условиях многолучевости и неоднородности в атмосфере является появление замираний сигнала (изменение уровня сигнала).

Замирания сигнала в радиоканале передачи информации от БЛА к НПУ приводят к существенному ухудшению характеристик канала и, соответственно, качества связи. Количественно качество связи может характеризоваться вероятностью правильного приема сообщения или пакета – $P_{бо}$. Приближенной, но технически осуществимой, оценкой вероятности правильного приема сообщения является отношение числа правильно принятых сообщений (пакетов) к общему числу переданных сообщений, что возможно определить в тестовом режиме передачи сообщений известной структуры. Оценка оказывается тем точнее, чем больше временной интервал тестирования цифрового радиоканала.

1. Анализ перспектив развития и применения беспилотных летательных аппаратов

1.1. Анализ роли и места беспилотных летательных аппаратов в действиях ВС РФ

Расширение круга и возрастание сложности задач, решаемых военными структурами РФ, вызывает необходимость непрерывного совершенствования не только методик, позволяющих повысить качество выполняемых задач, но и образцов вооружения. В РФ в настоящее время одним из направлений совершенствования образцов вооружения отводится БПЛА.

Актуальность применения БПЛА определяется следующими обстоятельствами: высокой живучестью (вследствие малой заметности), большой продолжительностью полета, возможностью осуществлять полет на низких высотах, значительно меньшей стоимостью разработки, производства и эксплуатации БПЛА. Для каждого вида ВС БПЛА имеет свое значение, свои цели и направления применения.

Для ВКС представляет интерес прежде всего комплексы с БПЛА, возможности которых соответствуют зонам ответственности объединений ВКС, их задачам и характеру действий:

- сбор разведданных для пилотируемой авиации;
- выполнение поставленных задач в сложных условиях, когда применение пилотируемой технике невозможно.

Тем самым, комплексы с БПЛА призваны дополнить пилотируемую авиацию в той части, в которой наращивание возможностей последней невозможно или нерационально.

Особое значение применения комплексов БПЛА имеют Сухопутные войска (СВ). Это определяется:

- необходимостью существенного снижения времени прохождения командной информации от органов управления к удаленным боевым постам;
- необходимостью организации гибкого взаимодействия органов управления и огневых средств СВ с информационными средствами воздушного базирования;
- необходимостью обеспечения разведданными органов управления СВ.

Первоочередными задачами комплексов с БПЛА СВ являются: воздушная разведка и информационное обеспечение огневых и ударных средств СВ, включая наблюдение поля боя, артиллерийскую разведку, обеспечение целеуказания, корректирование артиллерийского огня, лазерную «подсветку», доразведку объектов удара. В числе других задач следует отметить воздушную ретрансляцию в системе связи тактического звена управления СВ и постановку помех средствам связи в тактической глубине обороны противника.

Таким образом, роль комплексов с БПЛА для СВ определяется необходимостью иметь собственные средства воздушной разведки, отвечающие требованиям: по глубине ведения разведки, по точности определения координат целей, по оперативности получения информации. Место разведывательных комплексов с БПЛА для СВ определяется их включением в состав систем разведки войсковых формирований соответствующего уровня.

Необходимость разработки комплексов с БПЛА для ВМФ обусловлена следующими основными обстоятельствами. Надводные корабли ВМФ характеризуются достаточно большой ударной мощью ракетного оружия и крайне слабой их обеспеченностью своевременной, полноценной и достоверной информацией о противнике, необходимой для выработки целеуказания имеющимся огневым средствам. Существующие и разрабатываемые противокорабельные ракеты (ПКР) тактического и оперативно-тактического назначения практически не могут реализовать свои потенциальные характеристики по дальности стрельбы. Причина состоит в том, что корабли (носители ПКР классов «ракетный катер», «корвет» и береговые ракетные комплексы) не обладают собственными разведывательными средствами с дальностью действия, соответствующей возможностям ударного оружия, и не могут эффективно пользоваться информационной поддержкой внешних разведывательных средств (авиационных и космических), оперативность которых для этих целей недостаточна. Пилотируемые вертолеты палубного базирования имеются только на крупных кораблях.

Комплексы БПЛА представляют интерес для вооруженных и военизированных формирований, таких как ФСБ, МВД, МЧС.

Таким образом, можно сделать вывод, что создание в России БПЛА, отвечающих всем современным требованиям, является одной из важнейших задач в развитии Вооруженных сил.

Анализ вопросов применения БПЛА показал роль и место БПЛА в системе вооружения РФ. Из данного анализа следует, что БПЛА должны использоваться:

1. Для решения задач, сопряженных с высоким риском потерь авиации от воздействия сил и средств ПВО противника. Относительная простота БПЛА определяет их более низкую цену по сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами.

Для современной вооруженной борьбы в

воздухе особенно важно устранение риска потерь летного состава. Боеспособность группировок современной авиации в решающей степени определяется наличием подготовленного летного состава. Между тем на подготовку квалифицированного летчика необходимо более десяти лет, тогда как на производство одного летательного аппарата, даже самого сложного и дорогого, нужно несколько недель.

2. В интересах обеспечения деятельности кораблей, которые, не располагая возможностями базирования на борту достаточного количества летательных аппаратов, нуждаются для применения своего оружия в воздушной поддержке. Наличие БПЛА позволит сделать корабли (и группы кораблей) независимыми от поддержки береговой авиации.

3. Для решения относительно простых задач, позволяющих формализовать процессы выработки и принятия решения в ходе их выполнения и не требующих обязательного присутствия человека.

4. Для решения таких задач, которые требуют действий авиации с высокой напряженностью в течение длительного времени.

1.2. Анализ перспективного бортового оборудования беспилотного летательного аппарата и состав наземного пункта приема

Проведенный выше анализ показал, что разработка комплексов разведки и целеуказания на основе БПЛА проводится в настоящее время фактически всеми индустриально развитыми странами мира. Комплексы на основе БПЛА представляют собой многокомпонентную группу разнородных объектов со сложным механизмом взаимодействия и информационного обмена с использованием каналов управления, передачи данных. Отдельные БПЛА представляют собой лишь часть сложного многофункционального комплекса. В отличие от пилотируемой авиации для БПЛА требуются дополнительные элементы системы обеспечения. К ним относятся сам беспилотный аппарат, рабочее место оператора, программное обеспечение, линии передачи данных и элементы, необходимые для выполнения целей полета.

Таким образом, комплекс на основе БПЛА представляет собой сложную, многоуровневую структуру. Основная задача комплекса – обеспечить вывод БПЛА в заданный район и выполнение операций в соответствии с полетным заданием, а также обеспечить доставку информации, полученной бортовыми средствами БПЛА, на пункт управления. Для определения координат исследуемых участков местности, для выполнения поставленных задач в режиме реального времени над выбранными участками, – бортовое оборудование БПЛА может состоять из: пилотажно-навигационного оборудования, системы автоматического управления, системы электроснабжения, радиосвязного оборудования (*рисунок 1*).

В приведенной структурно-функциональной схеме обозначено:

1) бортовая навигационная система;
2) датчик магнитного курса;
3) система воздушных сигналов;
4) автопилот;
5) контроллер полезной нагрузкой;
6) блок управления двигателем;
7) блок аккумуляторных батарей;
8) стабилизатор напряжения;
9) генератор;
10) командная радиолиния;
11) линия передачи данных.

Кроме того, в зависимости от класса БПЛА полезная нагрузка может дополняться различными видами радиолокационных станций (РЛС), датчиками экологического, радиационного и химического мониторинга, оптико-тепловизионными системами, аэрофотокамерами. На сегодняшний день большинство существующих БПЛА пилотируются вручную, с помощью наземных пунктов управления (НПУ). НПУ, как правило, включает в себя:

1. Пульт управления стартом и полетом БПЛА.

Полетом управляет летчик-командир БПЛА, а бортовой нагрузкой, видеомониторами и потоками видеоинформации управляет оператор оборудования.

2. Пульт управления для обеспечения режима посадки с визуальным контролем.

3. Система предстартовой подготовки БПЛА и ввода полетного задания.

Маршрут полета можно программировать непосредственно перед стартом, перепрограммировать во время полета или управлять аппаратом дистанционно.

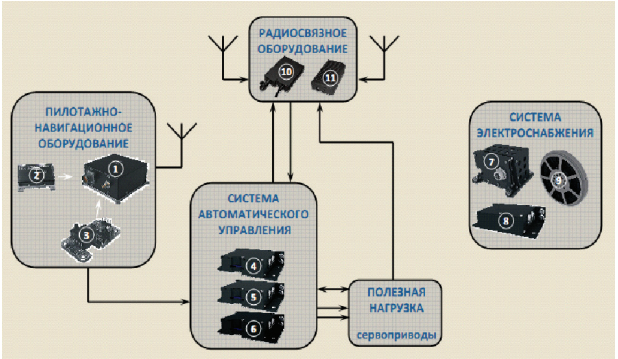


Рис. 1. Структурно-функциональная схема бортового оборудования беспилотного летательного аппарата

4. Антенно-приемопередающий комплекс радиолиний связи и сопровождения БПЛА.

5. Штатное место оператора управления полетом.

Наземный пункт приема (НПП) по радиоканалу связи получает информацию о состоянии БПЛА и внешней среды. На основе целей управления и информации состояния БПЛА вырабатывается управляющее воздействие (командная информация), определяющее новое состояние БПЛА, в которое он должен перейти при приближении системы к цели. Командная информация передается по радиоканалам связи БПЛА, восприняв эту информацию, БПЛА выполняет предписанные ему действия. Так как система функционирует в некоторой среде, являющейся источником возмущения (помех), а в работе элементов системы возможны ошибки, то новое состояние БПЛА не всегда будет совпадать с желаемым. Поэтому, наряду с выполнением предписанных действий, БПЛА передает управляющему органу информацию о своем состоянии практически постоянно.

Кроме того, радиоканал связи между БПЛА и НПП должен обеспечивать двухсторонний обмен информацией между бортовой и наземной аппаратурой:

- в направлении НПП-БПЛА – передача командной информации для осуществления управления полетом БПЛА и работой целевого бортового оборудования;
- в направлении БПЛА-НПП – передача телеметрической информации, передача информации, полученной с помощью целевого оборудования (фотоснимки, ТВ изображения и др.).

Радиоканалы связи между НПП-БПЛА и БПЛА-НПП существенно различаются по пропускной способности.

Радиоканал связи НПП-БПЛА представляет собой узкополосный радиоканал, так как объем передаваемой информации, учитывая полное время полета БПЛА и работы его оборудования, достаточно мал. Необходимая скорость передачи информации в данном канале не превышает нескольких десятков кбит/с.

Радиоканал связи БПЛА-НПП должен иметь, как правило, значительно большую пропускную способность. Требуемая скорость передачи в значительной мере определяется назначением конкретного аппарата и показателями установленного на нем целевого оборудования. Требования к системам связи и управления БПЛА сведены в *таблице 1*.

В системах связи и управления БПЛА командные и телеметрические данные передаются с высоким приоритетом. Поэтому передача командно-телеметрической информации предполагает применением аппаратуры, которая осуществляет низкоскоростную передачу командной информации с НПП на борт БПЛА и низкоскоростную передачу телеметрической информации с борта БПЛА на НПП. Требования к передаче командно-телеметрических данных на большие расстояния определяются необходимостью постоянного контроля БПЛА и необходимостью корректировать параметры полета в процессе выполнения полетного задания.

Аппаратура передачи информации полезной нагрузки, в свою очередь, предназначена для односторонней высокоскоростной передачи информации полезной нагрузки с борта БПЛА на НПП.

2. Рекомендации по управлению режимами работы беспилотных летательных аппаратов

2.1. Алгоритм автоматического режима передачи информации с беспилотных летательных аппаратов

Приближенной, но технически осуществимой, оценкой вероятности правильного приема сообщения является отношение числа правильно принятых сообщений (кадров) к общему числу переданных сообщений [1], что возможно определить в тестовом режиме передачи сообщений известной структуры. Оценка тем точнее, чем больше временной интервал тестирования цифрового радиоканала.

Первым недостатком оценки является прерывание передачи полезной информации по радиоканалу на время его тестирования. Вторым недостатком является невозможность определить причину снижения качества связи, кроме общего понимания того, что, скорее всего, качество связи в цифровом канале ухудшилось вслед-

Таблица 1

Требования, предъявляемые к системе передачи информации с БПЛА

Тип канала связи	Передача командно-телеметрических данных	Передача данных полезной нагрузки
Вероятность битовой ошибки	не более 10–6	не более 10–3
Скорость передачи данных	не более 56 кбит/с	1 – 20 Мбит/с (зависит от назначения аппарата и типа полезной нагрузки)
Направление передачи данных	БПЛА-НПП НПП-БПЛА	БПЛА-НПП

ствие возникновения замираний на физическом уровне радиоканала. И, не в последнюю очередь, не зная параметров случайного процесса замираний, например, интервала корреляции – τ_0, нельзя спрогнозировать, как количественно изменится качество канала при изменении режимов работы радиолинии. Эту задачу в таком случае можно решить лишь экспериментально, опытным путем, пошагово изменяя режимы передачи, например, длительность сообщения, избыточность кода и т.д.

Режимы передачи сообщения (кадра) могут быть установлены следующими мерами:

- изменение мощности передаваемого сообщения;
- уменьшением скорости информационного потока сообщений (кадров);
- изменением длительности сообщения;
- изменением вида и параметров модуляции несущего колебания цифрового сообщения;
- изменением частоты несущего колебания и коэффициентов усиления передающей и приемной антенн и т.д.

Структура алгоритма автоматического режима передачи информации с БПЛА представлена на *рисунке 2*.

Достоинствами данного алгоритма являются:

- отсутствие необходимости использования тестовых сообщений, а значит, и отсутствие дополнительного снижения пропускной способности радиоканала передачи информации при тестировании;
- возможность прогнозирования вероятности правильного приема кадра при использовании мер установления режимов передачи.

Последовательность работы алгоритма следующая. Информационные сообщения определенной длительности передаются по каналу f_1 от БПЛА к НПП. Исходными данными являются: дисперсии флуктуации и интервала корреляции – τ_0. В блоке измерения медианного значения мощности принимаемого сигнала НПП – $P_{мед}$ и интервала корреляции проводятся измерение и оценка этих характеристик для использования при расчете значения характеристики качества связи – вероятности правильного приема сообщения (кадра) – $P_{бо}$. В блоке сравнения измеренное значение $P_{бо}$ сравнивается с его заданным (требуемым) по техническим характеристикам – $P_{бо\ зад}$. При $P_{бо} \geq P_{бо\ зад}$ никаких действий не производится. В случае $P_{бо}$ меньше $P_{бо\ зад}$ в блоке прогнозирования осуществляется расчет прогноза значений $P_{бо}$ при различных режимах управления, таких, например, как уменьшение длительности кадра, изменение скорости передачи за счет увеличения длительности элементарной посылки, или увеличения избыточности кода, а также напрямую изменение мощности передачи сообщения на минимально возможное значение приращения. В следующем блоке принимается решение о выборе конкретного режима передачи информации. Например, уменьшить длительность сообщения (кадра) в 1,5 раза, увеличить мощность передачи сообщения на 2 дБ и т. д. В следующем блоке формируется структура команды на изменение режима, соответствующее выбранному. Команда кодируется на выделенных позициях служебной информации сообщения (кадра) управления БПЛА и передается от НПУ к НПП, а далее к БПЛА по радиоканалу f_2. Принимаемая команда расшифровывается в блоке смены режима и осуществляет изменение режима.

Структура сообщения в канале f_2 (связи БПЛА) представлена на *рисунке 3* [2]. Процедура измерения параметров замирания может вестись непрерывно по алгоритму «скользящего окна».

При не достижении условия $P_{бо} \geq P_{бо\ зад}$ процедура алгоритма повторяется до положительного эффекта. Затем весь цикл повторяется через заданный техническим заданием интервал времени.

Таким образом, достигается сохранение (поддержание) требуемого качества передачи информации в радиоканале БПЛА с НПП.

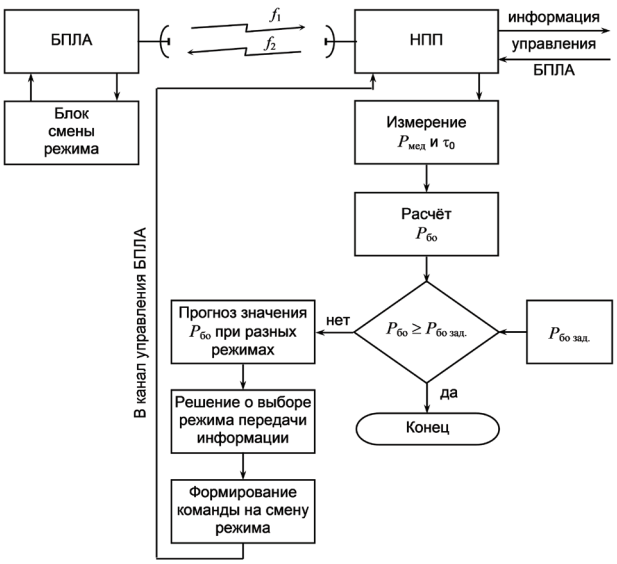
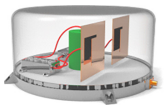


Рис. 2. Структура алгоритма автоматического режима передачи информации с БПЛА

Рис. 3. Структура сообщения в цифровом канале передачи сигналов с БПЛА

Таблица 2
Рекомендации по выбору цифровой системы, устанавливаемой на борту БПЛА

Цифровая система связи					Глубина разведки				
Тип	Внешний вид	Полоса рабочих частот, МГц	Потребляемая мощность, Вт	Скорость передачи данных	10	30	60	100	110
РМ-01		15 (-3 дБ) 22 (-30 дБ)	5	250 кбит/с	+	+			
РМ-02		6	3	250 кбит/с	+	+	+		
РМ-12/ РМ-14		20	15	20 Мбит/с	+	+	+	+	+

Структура алгоритма автоматического режима передачи сигналов с БПЛА по второму варианту, т. е. с использованием счетчика принятых сообщений, представлена на *рисунке 4*.

В данном случае в течение заданного времени передаются тестовые сообщения полностью известной структуры. На стороне НПУ тестовые сообщения после демодуляции с декодирования сравниваются с их копиями и осуществляется подсчет числа правильно принятых тестовых сообщений в цикле с полным числом переданных сообщений. В блоке сравнения число правильно принятых сообщений – $N_{прав}$ сравнивается с заданным (требуемым) числом правильно принятых сообщений – $N_{прав.\ зад}$ в цикле.

Если $N_{прав} \geq N_{прав\ зад.}$, то никаких действий по смене режима управления не осуществляется. И новый подсчет $N_{прав}$ проводится через заданный техническими условиями интервалы времени. Если же фиксируется отношение $N_{прав} < N_{прав\ зад.}$, то в следующем блоке принимается решение о необходимости смены режима управления. И в последующем блоке осуществляется выбор режима передачи сигналов управления на смену режима. Алгоритм выбора режима для достижения требуемого качества канала в данном случае может осуществлять только выбор некоторых фиксированных режимов с небольшим числом вариантов без прогнозирования. Это связано с тем, что на уровне цифрового канала причины ухудшения качества канала неизвестны и прогнозирование невозможно. Кроме того, повторное тестирование канала (хуже, если многократное) может привести к существенной потере пропускной способности канала, именно вследствие использования режима тестирования.

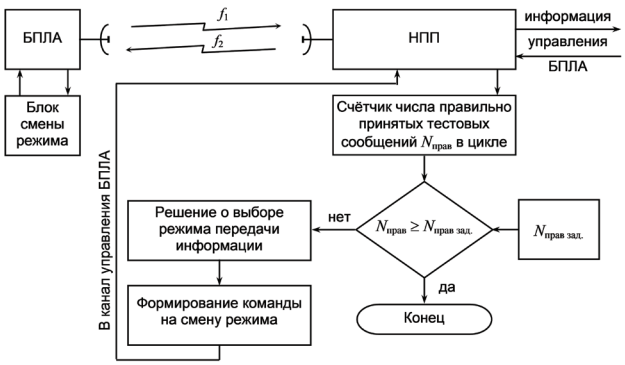


Рис. 4. Структура алгоритма автоматического режима передачи информации с БПЛА с использованием счетчика принятых сообщений

2.2. Рекомендации по выбору бортового оборудования беспилотного летательного аппарата

Передача информационных сообщений (кадра) в цифровой (дискретной) форме имеет ряд особенностей по сравнению с передачей в аналоговой (непрерывной) форме. При цифровой передаче сообщений появляется возможность уйти от аппаратурных погрешностей элементов, создавать блоки цифровой обработки сигналов с абсолютно идентичными параметрами, становится возможной регенерация (восстановление) передаваемой информации, искаженной помехами при передаче по радиоканалу связи. Принципиаль-

но новые методы цифровой обработки сигналов позволяют создавать устройства с уникальными характеристиками, недоступными для методов аналоговой обработки сигналов. При передаче данных в дискретной форме появляется возможность обеспечить сколь угодно малую вероятность ошибки при приеме информации. Архитектура цифровой системы связи может полностью определяться на программном уровне и изменяться в процессе работы устройства для более эффективного использования спектрального и энергетического ресурса радиоканала связи, связи при постоянно изменяющихся условиях распространения сигнала в канале.

Цифровые системы являются основой систем управления и связи БПЛА. Варианты применения цифровых систем на борту БПЛА представлены в *таблице 2*.

РМ-01 [3, 4]. Цифровая система для обеспечения командно-телеметрической линии связи и управления между БПЛА и НПП (НПУ).

Ключевые особенности системы:

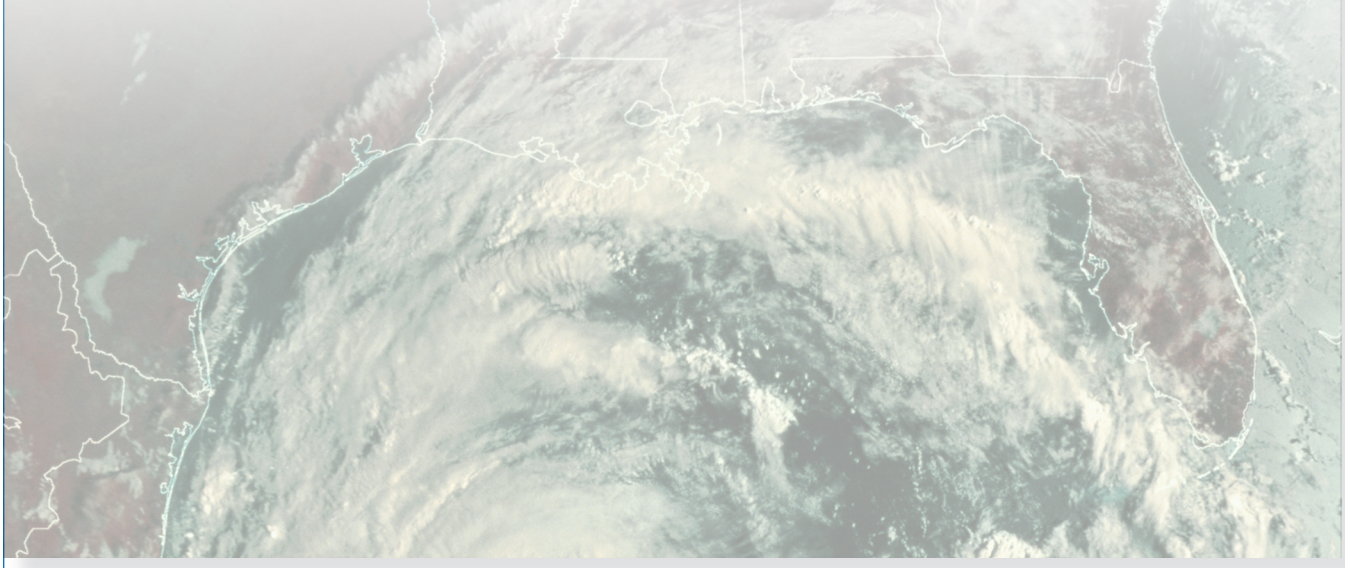
- программно-определяемая радиосистема (SDR);
- возможность работы согласно требованиям ГКРЧ;
- полудуплексная работа (возможно исполнение дуплексного канала);
- кодовое разделение сигналов;
- адаптивное изменение выходной мощности ПРД;
- адаптивное изменение скорости передачи информации (до 10 Мбит/сек);
- адаптивное изменение вида модуляции (BPSK, QPSK, QAM16);
- адаптивное изменение параметров расширения спектра сигнала;
- эффективное канальное кодирование;
- шифрование передаваемой информации;
- максимальная дальность связи до 100 км;
- возможность построения сетевых топологий.

РМ-02 [3]. Низкоскоростная полудуплексная система для передачи командно-телеметрической информации между НПП (НПУ) и БПЛА. Скорость передачи информации – 115,20 бит/сек. Интерфейсы: RS-232, RS-422, RS-485, USB.

РМ-12/РМ-14 [3]. Высокоскоростная симплексная система с возможностью передавать информацию с БПЛА на НПУ (НПП) со скоростью до 20 Мбит/с. Дальность передачи информации – более 30 км. При необходимости дальность работы системы может быть увеличена до 100 км и более. В кадре телеметрии системы РМ-14 содержится информация об уровне мощности принимаемого сигнала, что позволяет использовать ее для направления остронаправленной наземной антенны на борт БПЛА.

Литература

1. Мелентьев О.Г. Комплекс решений по оптимизации передачи данных в радиоканалах с замираниями [Электронный ресурс], 2007. Режим доступа: http://rudocs.exdat.com/docs/index-254152. Дата обращения: 02.01.2015.
2. Попов А.С. Алгоритм совместного оптимального приема сигналов нескольких корреспондентов / А.С. Попов, Г.И. Афонин // Труды I Всероссийской научно-технической школы-семинара «Информационная безопасность автоматизированных систем». Сочи, 2010. С.125-138.
3. Джунь В.И. Адаптивные антенные системы с подавлением помех по главному лепестку диаграммы направленности / В.И. Джунь, С.С. Щесняк // Зарубежная радиоэлектроника, 1988. №4. С.3-15.
4. Vu T. B. An effective adaptive phased array design / T.B. Vu // IEEE Trans. Antennas and Propagat, vol. AP-36, 1981. №2. Pp. 35-40.



УДК 621.396

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫХ ППРЧ-СИГНАЛОВ

METHODS FOR CONSTRUCTING INTERFERENCE-PROTECTED FREQUENCY-FREQUENCY INTERFERENCE SIGNALS

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

Евгений Владиславович Витомский
старший преподаватель кафедры
«Радиосистемы и комплексы управления,
передачи информации и
информационная безопасность»
ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4

Аннотация
В статье анализируются основные вопросы, касающиеся выбора защитной модуляции сигнала и синхросигнала при использовании в аэрокосмических радиосистемах, а также принципы синтеза помехозащищенных оптимальных систем сигналов.
Ключевые слова: сигналы, модуляция, частотно-временная матрица, ППРЧ, помехозащищенность, метод.

Summary
The article analyzes the main issues regarding the choice of protective modulation of the signal and the clock signal when used in aerospace radio systems, as well as the principles of the synthesis of noise-protected optimal signal systems.
Keywords: signals, modulation, time-frequency matrix, frequency hopping, noise immunity, method.

Введение

Одним из основных препятствий самого широкого использования беспроводных мобильных радиосистем является существенная подверженность приемников воздействию преднамеренных помех. Воздействие помехи мощностью в единицы Ватт подавляет приемник на расстоянии в десятки километров. Такая низкая помехоустойчивость крайне ограничивает область применимости беспроводных радиосистем, часто сводя ее роль к вспомогательной, обеспечивающей работоспособность других систем в условиях отсутствия помех, т.е. вне зоны действий злоумышленника. Наиболее известными и используемыми для защиты от целенаправленных помех являются сложные сигналы и модуляция на основе кодовых последовательностей с расширением спектра. Основными параметрами сложных сигналов являются длина расширяющей последовательности и ее структура. Линейный (который в каждый момент времени имеет только один радиоимпульс) ППРЧ-сигнал на протяжении длительности скачка имеет форму *sinc* и всегда один пик, и вся информация о его положении определяется только расширяющей последовательностью. Отсюда и определяется глобальный стратегический выигрыш ППРЧ по сравнению с ПШС по отношению к заградительной и шумовой в части полосы помехам. Главная особенность имитационной помехи – необходимость знания в каждый момент времени формы сигнала, – требует применения сложных расширяющих последовательностей таким образом, чтобы сохранять неопределен-

ность у злоумышленника относительно структуры применяемой расширяющей последовательности в каждый момент времени максимально долго. Что же касается следящей ответной помехи, то по периодичности осцилляций спектра (пиков) относительно некоторого частотного диапазона можно оценить (восстановить с большой точностью) длительность ППРЧ-сигнала, и тогда можно воспроизводить ранее записанные части спектра в этой области частот, при этом эффективность помехи будет зависеть только от состояния канала и точности восстановления несущей постановщиком помех. Для оптимального оценивания неизвестной несущей частоты сигнала может быть также применена система параллельных корреляторов с селектором максимума [1], если в качестве опорных сигналов коррелятора использовать частотно-сдвинутые копии комплексной огибающей. Точность измерения частоты определяется не только отношением сигнал-шум, но также и остротой корреляционой функции между сдвинутыми по частоте копиями сигнала в зависимости от их взаимного частотного рассогласования.

Очевидно, для обеспечения помехозащищенности сигналов необходимо увеличивать размерность (базу) сигнала, и увеличивать неопределенность структуры сигнала в единицу времени без потери корреляционных свойств.

Определение размерности ППРЧ-сигнала

Частотно-временная матрица (ЧВМ) является хорошим инструментом описания ППРЧ-сигналов [2]. ЧВМ служит единицей эффективного перераспределения частотно-временного ресурса между абонентами при изменяющихся харктеристиках канала. Например, для борьбы с замираниями в GSM предусмотрен режим ППРЧ, при котором несущая частота канала изменяется каждый кадр. Изменение частоты приводит к ограничению временного интервала корреляции замираний. Следовательно, метод оперативного перераспределения частотно-временного ресурса, реализуемый на основе ЧВМ, накладывает на размер ЧВМ определенные требования: длина ЧВМ по времени должна быть как можно меньше по отношению к интервалу частотной корреляции, но превышать длительность независимо демодулируемой последовательности символов. Далее приведем конкретный пример расчета параметров ЧВМ для космических радиосистем. Длительность символа положим 8мс, а интервал для доплеровских частот космических апаратов порядка 50кГц $\tau_{corr} \approx 0{,}07мс$. Согласно [3] систему манипуляции на ортогональных частотах можно считать ортогональной с точностью до малых величин, если длительность сигнала составляет более десяти периодов несущей. Отсюда можно сделать вывод, что для несущей в сотни МГц, минимальной скорости канального символа 2,4кбит/с, минимальной длительности частотного импульса 2мкс ЧВМ должна иметь максимальную длину в «ячейках 0,42мс/2мкс=210. Минимальная длина ЧВМ при минимальной длительности символа 8мкс/2мкс=4.. При максимальной длительности частотной посылки 10мкс частоту сетки частот можно положить порядка 100кГц, тогда при ширине полосы порядка 4МГц размер ЧВМ по частоте получаем порядка 40.

Использование OFDM позволяет применять ЧВМ-матрицы для мультиплексирования нескольких ППРЧ-модулированных каналов на передачу. При этом, в отличие от одноканальной системы, на каждой частоте нет перерыва в передаче и применяется циклический пост- или префикс, что позволяет спутниковому передатчику работать с постоянной мощностью. Как показывают результаты экспериментов в диапазоне частот выше 30МГц величина задержек от частоты не зависит, следовательно, расстояние между спектральными линиями сигнала будет сохраняться [4]. Однако интерференция многолучевого сигнала на входе наземного приемника приводят к частотно-селективным замираниям, которые проявляются в случайных флюктуациях огибающей спектра, что влечет появление в спектре паразитных спектральных линий АМ. Частотный диапазон интерференционной АМ (или интервал корреляции, или полоса когерентности) в наихудших условиях для космических аппаратов 400-700кГц. Следовательно, для выбора мультиплексированного сигнала спутникового передатчика необходимо предусматривать частотный канал синхронизации шириной не менее этих величин. Для экономии полосы сигналы синхронизации передают на нескольких частотных каналах, но периодически.

Методы построения ЧВМ с хорошими корреляционными свойствами

Обеспечение синхронизации накладывает серьезные ограничения на расположение синхросигналов в ЧВМ, поскольку предсказуемое положение позволяет гарантированно подавить сигнал гармонической помехой с минимальной средней мощностью. Поэтому, использование защитной (антиимитационной) модуляции сигнала и синхросигнала позволяет сохранить возможность его обработки, правда с определенной задержкой (периодом накопления). Положим пространство поиска сигнала примерно 210*40≈850.

Пусть дискретный частотный сигнал (ДЧ-сигнал) длительностью T состоит из N радиоимпульсов, следующих друг за другом. Кодирующая целочисленная функция от аргумента n – номера скачка ППРЧ-сигнала:

$$G(n) = (\omega_1, .., \omega_n, \ldots, \omega_N)$$

Например, для $N=7$, $G(7) = (1, 3, 6, 2, 7, 4, 5)$.

Предположим, что несущая частота ДЧ-сигнала подавлена, а длительность одиночного импульса $\tau_0=T/N$. Частотные скачки всех импульсов отличаются друг от друга на величину, кратную единичному сдвигу (скачку) по частоте, выбранную из условия ортогональности произвольных двух элементарных радиоимпульсов

$$\Delta\omega = 2\pi/\tau_0$$

Частотный сдвиг n-го импульса зависит от номера импульса n и равен $[G(n)-1]\Delta\omega$. Минимальный частотный сдвиг относительно подавленной несущей, равен нулю, а максимальный равен $[N-1]\Delta\omega$.

Обычно частотный сдвиг равен примерно ширине спектра элементарного радиоимпульса, поэтому полоса частот, занимаемая ППРЧ-сигналом, равна $W=N\Delta\omega$.

Умножая обе части на длительность сигнала $T=N\tau_0$, получим

$$WT=2\pi N^2 \rightarrow B=FT=N^2.$$

С точки зрения задачи измерения и наличия «нешумовых» помех, чем больше база сигнала, – тем лучше. Положим $B\approx850$. Отсюда следует, что сигнал должен равномерно распределяться по всей ЧВМ и занимать в ней $\sqrt{N}\approx30$ положений, т.е. 3,5%. В идеальных условиях разделения каналов это означает, что в пространстве ЧВМ может поместиться до 28 каналов с одинаковыми характеристиками.

Комплексная огибающая корреляционной функции произвольного ППРЧ-сигнала (Функция неопределенности, ФН), с учетом того что амплитуда сигнала равна единице, а все начальные фазы нулевые на всей длине сигнала (т.е. все скачки частоты $[G(n)-1]\Delta\omega$ когерентны) [3]:

$$R(\tau,\omega) = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} R_0(\tau_1,\omega_1)e^{j\gamma},$$

где $R_0(\tau_1,\omega_1)e^{j\gamma}$ – комплексная огибающая корреляционной функции единичного радиоимпульса;

$\tau_1=\tau-(n-k)\,\tau_0$ – смещенная задержка;

$\omega_1=\omega+[G(n)-G(k)]\Delta\omega$ – смещенная частота Доплера;

γ – параметр, не зависящий от времени.

Для $\tau=0$ частотная корреляционная функция записывается как

$$R(0,\omega) = \frac{\sin(\omega T/2)}{\omega T/2}e^{-j\omega T/2}.$$

ФН $R(0,\omega)$ соответствует частотной корреляционной функции одиночного радиоимпульса постоянной частоты и длительности $T=N\tau_0$. Ширина центрального пика функции между максимумом и первым нулем

$$\omega_{corr}=2\pi/T.$$

Обратно пропорциональна длине сигнала. Т.о. разрешающая способность сигнала по скорости определяется длительностью ППРЧ-сигнала.

Отличия в форме ФН $R(\tau,\omega)$ и $R(0,\omega)$ зависят только от слагаемых с одинаковыми значениями переменных суммирования, когда $n=k$, и только при $\tau=0$.

Вблизи главного пика при значениях $\omega=0$ и при малых τ функция неопределенности по задержке определяется следующим выражением:

$$R(\tau,0) \approx \left(1-\frac{\tau}{\tau_0}\right)\frac{\sin(N\Delta\omega\tau/2)}{N\Delta\omega\tau/2}.$$

Нулевое значение $R(\tau,0)$ принимает при наименьшем τ, равном

$$\tau_{corr} = \frac{2\pi}{N\Delta\omega} = \frac{2\pi}{W}$$

Т.е. разрешающая способность по фазе ППРЧ-сигнала зависит от ширины его спектра, т.е. от длительности частотных скачков τ_0 и $\Delta\omega$.

Помимо узости основного пика ФН не менее важными характеристиками являются количество и уровень побочных максимумов. Оказывается, что выбор кодирующей функции $G(n)$ определяет уровень побочных максимумов ФН. Существуют методы синтеза $G(n)$, которые позволяют для значений $n\neq k$ получить минимально возможные боковые пики ФН ППРЧ-сигнала, равные $1/N$, при всех его смещениях по времени и по частоте, т.е. строить близкие к оптимальной ФН.

Метод построения оптимальных систем ППРЧ-сигналов

Пусть расположение спектральных линий сигнала строго известно с точностью до малых значений времени. Тогда поведение функции взаимной корреляции некоторых сигналов можно рассматривать на множестве ее дискретных значений. Если для оценки ФВК с заданной точностью достаточно конечного набора ее значений, тогда значения ФВК можно представить в форме прямоугольной таблицы, в которой номер строки, например, соответствует аргументу ФВК времени, а номер столбца – частоте. На пересечении в таблице запишем само значение ФВК.

Если наложить следующие условия на составные сигналы:

$$\Delta\omega\tau_0 \equiv 0 \ (mod\ 2\pi),$$

где $\Delta\omega$ – спектр элементарного сигнала;

τ_0 – его длительность, то анализ корреляционных свойств и синтез таких составных сигналов можно осуществлять без вычисления ФВК. Необходимо только отмечать наличие в ячейках таблицы соответствующих сигналов. Тогда пустые

или отмеченные присутствием только одного сигнала ячейки будут гарантировать нулевое значение ФВК, согласно наложенным ограничениям на класс рассматриваемых сигналов. Подобные частотно-временные матрицы применяются для удобства и упрощения как анализа, так и синтеза дискретно-частотных сигналов с заданными характеристиками.

Два ППРЧ-сигнала $s_i(t)$ и $s_k(t)$ называют оптимальной парой, если их апериодическая взаимная корреляционная функция (ВКФ) обладает свойством не более одного совпадения одновременно по частоте и времени при их произвольных апериодических временных сдвигах друг относительно друга [5]. АВКФ оптимальной пары сигналов имеет модуль

$$|R^{\prime(\tau,\omega)}| = \begin{cases} 0 \\ 1/n \end{cases}$$

где n – длина каждого сигнала.

Если все возможные пары, составляющие систему, оптимальны, то такую систему сигналов называют оптимальной.

Пусть каждый сигнал системы полностью определяется своей частотно-временной матрицей, характеризующей распределение энергии сигнала на частотно-временной плоскости. ЧВМ описывается с помощью либо частотно-кодирующей последовательности (ЧКП), либо времякодирующей последовательности (ВКП). Обозначим через $\mu = \frac{t}{\tau_0}$ целочисленную переменную по оси времени t, где τ_0 – длительность элементарного импульса. Пусть $\mu=(t)$ при кодировании изменяется линейно на $\mu=(0,m-1)$.

ЧКП определяет смещение частоты относительно 0 для каждого t, т.е. каждого элементарного j-го сигнала:

$$\{v_j(\mu)\}.$$

Пусть целочисленная переменная

$$v = \frac{f}{\Delta f_0}$$

по оси частот f изменяется линейно на $v=(0,n-1)$. ВКП определяет задержку импульсов относительно времени 0 в зависимости от последовательных значений частоты скачков:

$$\{\mu_j(v)\}.$$

Векторы

$$\{v_j(\mu)\} \text{ и } \{\mu_j(v)\}$$

обладают свойством взаимности, т.к. описывают один и тот же объект – ЧВМ, и при этом описание одного типа может быть получено из другого и наоборот.

Варакин описал алгоритм построения оптимальных в вышеприведенном смысле систем p-1 ППРЧ-сигналов длины $n=p-1$, где p – простое число.

1. Для заданного $p=n+1$ найти значение первообразного корня γ, и с помощью него получить линейную рекуррентную последовательность максимальной длины (МЛРП):

$$M = \{\gamma^i (mod\, p)\}, i = (0, p-2)$$

2. Сформировать кодовую матрицу, каждая строка которой является циклическим сдвигом МЛРП

$$Q = \begin{bmatrix} L^0 M \\ L^1 M \\ \cdots \\ L^{p-2} M \end{bmatrix},$$

где L^c – оператор циклического сдвига на c элементов.

3. По полученной кодовой матрице Q построить ЧВМ, для каждого из сигналов системы, рассматривая каждую строку матрицы Q как ВКП.

Однако подобный алгоритм можно применить и для мультипликативных групп в конечных расширенных полях.

Пусть α – примитивный элемент в поле $GF(p^n)$. Тогда

$$M = \alpha, \alpha^2, \ldots, \alpha^k, \ldots, \alpha^{p-1}$$

Здесь операции производятся в конечном поле по модулю неприводимого многочлена. Как видно, последовательность M представляет из себя мультипликативную группу поля $GF(p^n)$, перечисленную в последовательности, которую производит генератор поля.

Рассмотрим конкретный пример – расширенное поле $GF(2^4)$ по модулю неприводимого многочлена $p(x)=x^4+x+1$. Пусть α – примитивный элемент поля $GF(2^4)$ по $p(x)=x^4+x+1$, тогда согласно [6]:

$M(0) = \alpha^0 = 1 = (0001)$,
$M(1) = \alpha = (0010)$,
$M(2) = \alpha^2 = (0100)$,
$M(3) = \alpha^3 = (1000)$,
$M(4) = \alpha^4 = \alpha + 1 = (0011)$,
$M(5) = \alpha^5 = \alpha^2 + \alpha = (0110)$,
$M(6) = \alpha^6 = \alpha^3 + \alpha^2 = (1100)$,
$M(7) = \alpha^7 = \alpha^3 + \alpha + 1 = (1011)$,
$M(8) = \alpha^8 = \alpha^2 + 1 = (0101)$,
$M(9) = \alpha^9 = \alpha^3 + \alpha = (1010)$,
$M(10) = \alpha^{10} = \alpha^2 + \alpha + 1 = (0111)$,
$M(11) = \alpha^{11} = \alpha^3 + \alpha^2 + \alpha = (1110)$,
$M(12) = \alpha^{12} = \alpha^3 + \alpha^2 + \alpha + 1 = (1111)$,
$M(13) = \alpha^{13} = \alpha^3 + \alpha^2 + 1 = (1101)$,
$M(14) = \alpha^{14} = \alpha^3 + 1 = (1001)$.

В *таблице 1* приведены несколько строк матрицы Q, вычисленной для рассчитанной M нашего примера. Видно, что ее строки являются циклическими сдвигами последовательности M.

Согласно оцененному размеру ЧВМ можно также оценить и сложность системы сигналов, построенных по данному принципу. Известно, что линейный рекуррентный генератор полностью определяется порождающим многочленом и любым его предыдущим состоянием, отсюда слож-

Таблица 1

Пример формирования оптимальных ППРЧ-сигналов, представленных в форме ВКП ЧВМ

j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Q(0)	**0001**	**0010**	**0100**	**1000**	**0011**	**0110**	**1100**	**1011**	**0101**	**1010**	**0111**	**1110**	**1111**	**1101**	**1001**
Q(1)	0010	0100	1000	0011	0110	1100	1011	0101	1010	0111	1110	1111	1101	1001	0001
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
Q(14)	1001	0001	0010	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…

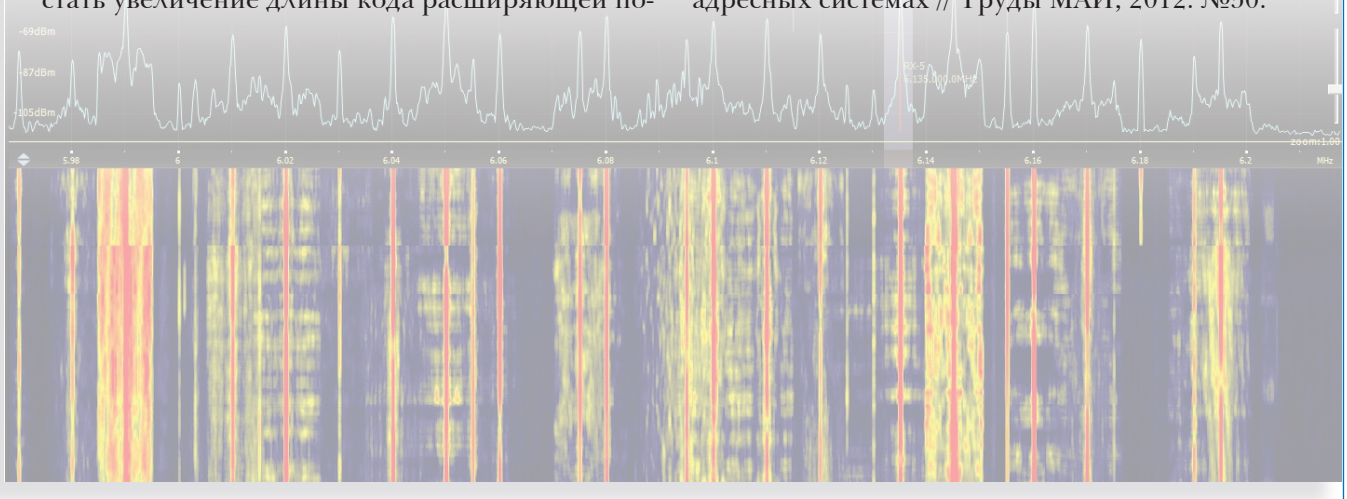
ность $\theta \approx 2p \approx 60$. Это очень низкая сложность, т.е. такое количество комбинаций параметров противник может перебрать быстро. Сложные поля открывают перспективы использования хорошо известного аппарата вычислений в полях Галуа и возможности эффективной схемотехнической реализации этих вычислений [7].

Заключение

На сегодняшний день создание приемников с большим числом корреляторов перестало быть проблемой с технической точки зрения. Известные приемники имеют сотни тысяч параллельных корреляторов. Это дает основания предположить, что вполне возможно создание специализированных микросхем, обеспечивающих возможность входа приемника в синхронизм с предсказуемым кодом за 2-20 мкс. Тогда дополнительные расходы времени, связанные с передачей сигнала на постановщики помех, формирование помех и распространение сигнала от излучателя помехи до цели, приводят к тому, что минимально возможный период излучения предсказуемого сигнала, позволяющий успешно поставить имитационную помеху составляет единицы миллисекунд. Это дает возможность реализовать формирование такого сигнала в уже существующей аппаратуре программным способом, т.к. на сегодня создание таких устройств с периодом до единиц микросекунд и менее не является технической проблемой. Решением проблемы быстрого входа противником в синхронизм за малое время может стать увеличение длины кода расширяющей последовательности. Однако сложность известных кодов большой длины недостаточна. Решением может стать уменьшение времени использования («перескока») расширяющей последовательности конкретной структуры. Единственным ограничением этого времени снизу является быстродействие алгоритма смены расширяющей последовательности. Для эффективной схемотехнической реализации таких алгоритмов хорошо подходит известный аппарат вычислений в полях Галуа.

Литература

1. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. М.: Техносфера, 2007. 486 с.
2. Системы широкополосного радиодоступа 4 поколения: выбор сигнально-кодовых конструкций / В.Николаев, А.Гармонов, Ю.Лебедев // Первая миля, 2010. №5-6.
3. Варакин Л. Е. Теория сложных сигналов. М.: Сов. радио, 1970. 376 с.
4. Moose P.H. A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction/P. H. Moose // IEEE Trans. Commun, 1994. V.42. No10. Pp. 2908-2914.
5. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
6. Михайлов В.Ю. Теория и практика кодирования. М.: МАИ-ПРИНТ, 2010. 308 с.
7. Михайлов В.Ю. Теоретико-числовая модель аналитического оценивания и выбора ансамблей сигналов в телекоммуникационных асинхронно-адресных системах // Труды МАИ, 2012. №50.



УДК 621.396

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ПЕРСОНАЛЬНОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ НА БАЗЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ-РЕТРАНСЛЯТОРОВ

MAIN FEATURES OF PERSONAL MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS BASED ON PROSPECTIVE GEOSTATIONARY REPEATERS SATELLITES

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

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

Геннадий Валентинович Чечин
кандидат технических наук
доцент кафедры
«Радиосистемы и комплексы управления,
передачи информации и
информационная безопасность»
ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Аннотация

Проведен сравнительный анализ систем персональной подвижной спутниковой связи (СППСС) с использованием геостационарных спутников-ретрансляторов и низкоорбитальной сети связи: при заданной геометрии области обслуживания определены зависимости требований к энергетике абонентской радиолинии от высоты размещения ретранслятора. Показано, что увеличение высоты орбиты не только не сопровождается энергетическим проигрышем, но и обеспечивает незначительный выигрыш, величина которого растет по мере увеличения высоты орбиты и размеров зон обслуживания. Организация СППСС на основе геостационарных ретрансляторов возможна при реализации принципиально новых ключевых технологических элементов: многолучевых бортовых антенн с количеством лучей, схем эффективно перераспределяющих выходную мощность между передающими лучами, а также бортовых процессоров, осуществляющих обработку сигналов и коммутацию пакетов на борту.

Ключевые слова: подвижная спутниковая связь, спутник-ретранслятор, геостационарная орбита, низкоорбитальная сеть связи, угловой размер зоны обслуживания, многолучевая приемопередающая антенна, энергетический проигрыш.

Summary

A comparative analysis of personal mobile satellite communication systems (SPSS) using geostationary satellite transponders and a low-orbit communication network is carried out: for a given geometry of the service area, the dependences of the requirements for the energy of the subscriber radio line on the height of the relay are determined. It is shown that an increase in the orbit altitude is not only not accompanied by energy loss, but also provides an insignificant gain, the value of which increases with increasing orbit height and the size of service areas. The organization of SPPSS based on geostationary repeaters is possible with the implementation of fundamentally new key technological elements: multi-beam on-board antennas with the number of beams, circuits that effectively redistribute the output power between transmitting beams, as well as on-board processors that process signals and switch packets on board.

Keywords: mobile satellite communications, relay satellite, geostationary orbit, low-orbit communication network, angular size of the service area, multi-beam transceiver antenna, energy loss.

Реализовать систему персональной подвижной спутниковой связи (СППСС) можно с использованием как геостационарных спутников-ретрансляторов (ГСР), так и на базе негеостационарных спутников-ретрансляторов (на высокоэллиптичеких или низких круговых орбитах). Один из основных аргументов, выдвигаемых при анализе возможностей организации СППСС, против геостационарных ретрансляторов в пользу низкоорбитальных заключается в том,

что для связи через ГСР необходимы значительные энергоресурсы абонентских терминалов, которые не позволяют реализовать их в виде легкой и малогабаритной конструкции. Существует достаточно распространенное мнение [1], что поскольку потери энергии при распространении сигналов в свободном пространстве пропорциональны квадрату расстояния от передатчика до приемника, то по этой причине в системах связи, использующих ГСР, абонентские терминалы необходимо оснащать параболическими антеннами, диаметром не менее 1,5 метра и передатчиками, имеющими подчас мощность десятки ватт. А снижение высоты расположения спутника-ретранслятора, например, до 1000 км дает энергетический выигрыш в $(40000/1000)^2=1600$ раз. Этот выигрыш можно использовать для замены крупногабаритной остронаправленной параболической антенны абонентской станции на малую всенаправленную, для уменьшения веса и габаритов станции, перехода в удобный диапазон частот и снижения мощности передатчика. В этом особенность и преимущество низкоорбитальных систем связи.

Это утверждение абсолютно справедливо лишь в предположении, что при изменении дальности связи параметры приемопередающего тракта остаются постоянными. Реальна же следующая постановка задачи: при заданной геометрии области обслуживания необходимо определить зависимость требований к энергетике абонентской радиолинии от высоты размещения ретранслятора.

Оценим влияние высоты орбиты СР на требования к энергетическим характеристикам абонентских терминалов и ретрансляторов. Рассмотрим *рисунок 1*. Зафиксируем угловой размер зоны обслуживания α – угол обзора зоны из центра Земли. Пусть ретранслятор неподвижен относительно зоны обслуживания и его подспутниковая точка совпадает с центром зоны. Тогда с использованием соотношений элементарной тригонометрии можно получить:

● угол обзора зоны обслуживания со спутника:

$$\beta = 180^0 - \frac{\alpha}{2} - 2arctg\left(\frac{h}{(2r_з + h)tg(\alpha/4)}\right), \quad (1)$$

где h – высота орбиты ретранслятора,

● максимальная дальность связи:

$$r = r_з \frac{\sin(\alpha/2)}{\sin(\beta/2)}$$

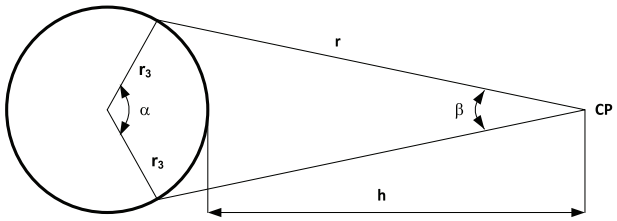


Рис. 1. Геометрические соотношения при оценке энергетических затрат

Рассмотрим две орбиты с высотами h_1 и h_2 $(h_1>h_2)$ с соответствующими параметрами r_1,β_1 и r_2,β_2 Относительный энергетический проигрыш более высокой орбиты за счет увеличения дальности связи составит $(r_2/r_1)^2$. С другой стороны, при увеличении высоты орбиты уменьшается угол обзора зоны обслуживания со спутника, что приводит к необходимости использования антенн с лучшими характеристиками направленности. Поскольку эффективная площадь приемных антенн и коэффициент усиления передающих обратно пропорциональны квадрату ширины диаграммы направленности, то величина относительного выигрыша равна $(\beta_1/\beta_2)^2$, а результирующий проигрыш составит:

$$\left(\frac{r_2\beta_2}{r_1\beta_1}\right)^2.$$

При достаточно малых угловых размерах зон обслуживания, используя разложения:

$$sin(x)\approx tg(x)\approx x \text{ при } x<<1;$$

$$arctg(x) \cong \frac{\pi}{2} - \frac{1}{x} \text{ при } x>1;$$

получим:

$$\beta \approx \frac{\alpha}{h} r_ç, \quad r \approx h, r\beta \approx \alpha\, r_ç = const \quad (2)$$

Результаты расчетов по приведенным соотношениям для двух значений углового размера зоны обслуживания $\alpha=20º$ и $4º$ приведены в *таблице 1*.

Таблица 1

Сравнительные характеристики различных ОГ

Тип орбиты		Низкая			Средняя			ГЕО
Высота орбиты [км]		700	1100	1500	5000	10000	15000	35875
Угол обзора зоны обслуживания со спутника [град]	α=200	109	85,6	69,5	24,5	12,5	8,4	3,5
	α=40	35	22,8	16,8	5,1	2,55	1,7	0,71
Максимальная дальность связи [км]	α=200	1360	1630	1943	5220	10173	15122	36267
	α=40	740.2	1126	1524	5003	10003,5	15005	35925
Энергетический проигрыш [раз/дБ]	α=200	1/0	0,886/ -0,53	0,83/ -0,81	0,744/ -1,28	0,736/ -1,33	0,734/ -1,34	0,733/ -1,35
	α=40	1/0	0,982/ -0,08	0,977/ -0,1	0,97/ -0,13	0,969/ -0,14	0,969/ -0,14	0,969/ -0,14

Приведенные в *таблице* значения энергетического проигрыша абонентских линий рассчитаны относительно орбиты минимальной высоты и оказываются меньше единицы. Таким образом, при сделанных допущениях, увеличение высоты орбиты не только не сопровождается энергетическим проигрышем, но и обеспечивает незначительный выигрыш, величина которого растет по мере увеличения высоты орбиты и размеров зон обслуживания. Рост потерь сигнала в свободном пространстве при увеличении дальности связи компенсируется тем, что при этом уменьшается угол обзора области обслуживания из точки размещения спутника-ретранслятора, что приводит к необходимости использования антенн с лучшими характеристиками направленности и соответственно большей эффективной площади. Все сказанное в полной мере относится и к абонентским линиям «ретранслятор-пользователь».

Поэтому вопрос о выборе высоты орбиты должен быть вынесен из сферы энергетики и сводится к выбору в соответствии с техническими, экономическими или другими (например, задержке передачи информации) критериями одного из двух альтернативных вариантов (*рисунок 2*):

1. Использование m одинаковых низкоорбитальных ретрансляторов, объединенных в сеть при помощи межспутниковых каналов связи или наземных базовых (шлюзовых) станций (gateway) и соответствующих фидерных линий. Каждый ретранслятор обеспечивает информационные услуги в одной из m зон области обслуживания. Для этого он оборудован приемопередающей антенной с шириной луча θ_H и передатчиком с выходной мощностью P.

2. Использование одного геостационарного ретранслятора, работающего со всеми абонентами, расположенными в пределах области обслуживания и оборудованного для этих целей m-лучевой приемопередающей антенной с шириной луча θ_L и передатчиками суммарной выходной мощностью mP.

Отметим, что использование ГСР дополнительно дает возможность централизованного и коллективного использования ресурсов космического сегмента, что обеспечивает следующие преимущества ГСР перед негеостационарными группировками:

1. Поскольку связные ресурсы космической части сети сосредоточены на борту ГСР в одном месте, имеется возможность гибкого перераспределения пропускной способности сети между лучами (зонами обслуживания). Это позволяет при прочих равных условиях повысить пропускную способность, благодаря адаптации к текущему трафику в сети, например, почасовым колебаниям трафика в разных зонах в течение суток. Практически подобная адаптация может быть осуществлена перераспределением выходной мощности передатчика ретранслятора между передающими лучами.

2. Централизация связных ресурсов на борту ГСР исключает необходимость использования для связи между зонами обслуживания межспутниковых каналов или фидерных линий базовых станций. При этом при прочих равных условиях появляется возможность повышения пропускной способности абонентских линий и сети в целом.

3. Концентрация диаграммообразующих схем в одном месте и неподвижность ГСР относительно земной поверхности позволяют формировать результирующие диаграммы направленности бортовых антенн, наиболее точно покрывающие требуемую область обслуживания, что позволяет экономно расходовать бортовые энергоресурсы, снизить уровень межсистемных помех и, в конечном итоге, повысить пропускную способность сети.

4. СР в независимости от выбора высоты орбиты должен быть укомплектован системами, поддерживающими выполнение целевой функции полезной нагрузки ретранслятора: системами энергообеспечения, коррекции орбиты, ориентации, терморегулирования, командно-измерительной. Эти системы вносят свой вклад в массогабаритные и стоимостные характеристики космического сегмента и сети в целом. Можно ожидать, что уменьшение общего количества поддерживающих систем, несмотря на соответствующий рост их сложности для обеспечения возможности коллективного использования ресурсов, приведет к уменьшению стоимости сети.

5. Использование ГСР позволяет избирательно покрывать земную поверхность в тех зонах, где существует реальный высокий спрос на услуги персональной подвижной связи, а проводить маркетинговые исследования и прогнозировать такой спрос намного проще и эффективнее, чем для глобальных сетей.

Основные недостатки СППСС, использующих геостационарные ретрансляторы, проявляются в следующем:

1. Сравнительно большие задержки распространения сигналов, что негативно сказывается на качестве диалоговых информационных услуг. Тем не менее, хотя вопрос о задержках при передаче через ГСР дебатируется уже в течение многих лет, спутниковая телефония через ГСР находит широкое практическое применение и пользуется спросом уже в течение полувека. Единственно, что исключается с точки зрения задержек, это двухскачковый режим работы, что требует использования полной бортовой обработки радиосигналов, коммутации и маршрутизации информационных потоков.

2. В СППСС на базе ГСР, в отличие от низкоорбитальных сетей, отсутствуют возможно-

сти пространственного разнесения маршрутов передачи. Это обстоятельство обуславливает необходимость работы при достаточно больших углах возвышения ретранслятора над линией горизонта (не менее 30^0), что обеспечивает небольшую вероятность прерывания соединений из-за затенения терминалов предметами окружающей обстановки. Угол возвышения ГСР над горизонтом для точки земной поверхности, расположенной на долготе подспутниковой точки ретранслятора и широте ψ, определяется соотношением:

$$\gamma = \arccos(\sin\psi / \sqrt{1{,}023 - 0{,}3\cos\psi}),$$

из которого следует, что услуги персональной подвижной связи при помощи ГСР возможны лишь в приэкваториальном поясе шириной $\psi \approx +/-50^0$. Этот пояс достаточно широкий, его протяженность в меридианальном направлении составляет примерно 11000 км, а площадь равна более 70% площади поверхности Земли. «Обделенными» услугами качественной персональной подвижной связи через геостационарные ретрансляторы оказываются в основном Канада, станы Северной Европы и Россия. Заметим, что область обслуживания может быть расширена до широт $+/-70^0$, но в диапазоне 50^0-70^0 качество и удобство услуг персональной подвижной связи гарантировано быть не может (возможно, для установления связи придется подыскивать место прямой видимости ретранслятора). Но для других подвижных служб препятствий к использованию нет.

3. СППСС на базе ГСР могут быть реализованы лишь с использованием бортовых многолучевых приемопередающих антенн с весьма

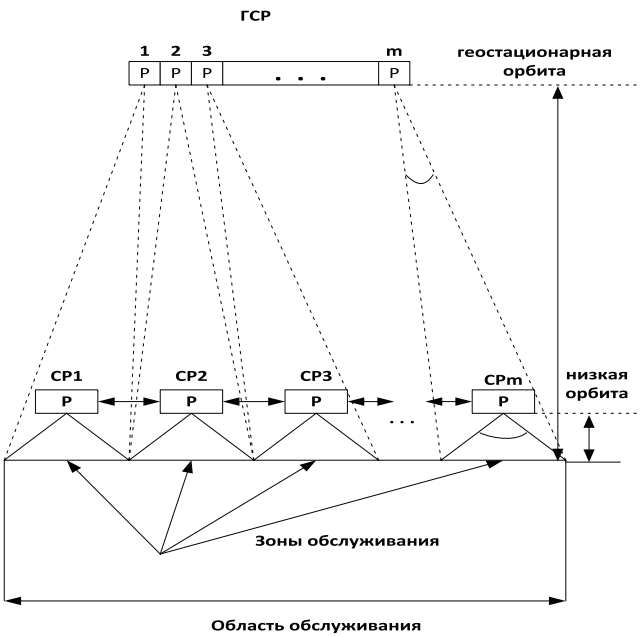


Рис. 2. Выбор высоты орбиты ретрансляторов

узкими лучами. При фиксированной энергетике и пропускной способности абонентских линий связи (фиксированном размере зон обслуживания) ширина луча $\theta_Г$ антенны ГСР должна быть примерно в $h_Г/h_Н$ раз меньше, чем у низкоорбитального ретранслятора на высоте $h_Г$.

Рассмотрим требования к бортовым антеннам ГСР.

Достаточно хорошо известны соотношения, которые используются для расчета следующих энергетических характеристик радиолиний [2]:

● эффективная площадь антенной системы:

$$S_{эф} = K_и \frac{\pi D^2}{4},$$

● максимальный коэффициент усиления антенны в зависимости от ширины диаграммы направленности:

$$G = \frac{35530 K_и}{\theta^2},$$

● мощность полезного сигнала на входе приемника:

$$P_c = \frac{P_п G_п S_{эф}}{4\pi r^2 L} = \frac{P_п G_п G_{пр} \lambda^2}{(4\pi r)^2 L},$$

где $P_п$ и $G_п$ – соответственно, мощность передатчика и коэффициент усиления передающей антенны;

$S_{эф}$ – эффективная площадь приемной антенны;

r – дальность связи;

L – суммарные потери мощности полезного сигнала на трассе распространения;

$G_{пр}$ – коэффициент усиления приемной антенны;

λ – рабочая длина волны.

С использованием этих соотношений можно выразить угловой размер зоны обслуживания через параметры абонентских линий связи:

$$\alpha \approx \frac{4650}{f} \sqrt{\frac{P_п G_п}{h_п^2 LTC}}, \qquad (3)$$

где f [ГГц] – рабочая частота;

$P_п$ [Вт] и $G_п$.– соответственно мощность передатчика и коэффициент усиления передающей антенны пользовательских терминалов;

$h_п^2$ – пороговое отношение сигнал/шум;

L – результирующие потери полезного сигнала на трассе распространения;

$T[^0K]$– шумовая температура приемной системы ретранслятора;

C [кбит/с] – пропускная способность абонентской линии.

Из (3) следует:

$$\alpha = \frac{147}{f} \sqrt{\frac{P_Т G_Т}{h_п^2 L T_р R_Т}}, \qquad (4)$$

где $\alpha[град]$ – угловой размер зоны обслуживания;

$f[ГГц]$ – рабочая частота абонентской радиолинии;

$P_Т[мВт]$ – выходная мощность пользовательского портативного терминала;

$G_Т$ – коэффициент усиления антенны терминала;

R_T*[кбит/с]* – скорость передачи в абонентской линии;
T_p*[ºK]* – шумовая температура приемной системы ретранслятора;
$h^2_П$ – пороговое отношение сигнал/шум;
L – потери (коэффициент запаса) в абонентской радиолинии.

Задавшись типовыми исходными данными: P_T=350 мВт, G_T=3 дБ (или 2 раза), T_P=350^0 K, $h^2_П$=7 дБ (при использовании сверточного кода со скоростью ½ и двукратной ФМ вероятность ошибки на символ не более 10^{-5}) и энергетического запаса на условия связи L =13 дБ (или 20 раз) получим, что при скорости передачи 4,8 кбит/с и рабочей частоте радиолинии «пользователь-ретранслятор» 1,6 ГГц угловой размер зоны обслуживания составляет α=6,4^0, что соответствует диаметру зоны обслуживания D≈700 км.

Ширина приемного луча бортовой антенны может быть найдена из соотношения (1):

$$\theta = 180^0 - \frac{\alpha}{2} - 2arctg\left(\frac{0{,}7377}{tg(\alpha/4)}\right) \approx 1{,}1 \quad [град]$$

С другой стороны, ширина диаграммы направленности антенны определяется по хорошо известному соотношению:

$$\theta = 2\arcsin\left(\frac{1{,}61}{\pi}\frac{\lambda}{D}\right),$$

при малых значениях x функция $arcsin(x)\approx x$ функциях и при $x<0{,}7$ относительная погрешность приближения не превышает 10%. Поэтому при $D/\lambda>0{,}7$ можно пользоваться соотношением:

$$\theta \approx 1{,}02\frac{\lambda}{D}\ [\text{рад}] \quad \approx 60\frac{\lambda}{D} = \frac{18}{D[м]*\ f[ГГц]}\ [\text{град}]$$

В результате получим, что на частоте 1,6 ГГц столь узкий луч может быть получен с использованием антенны диаметром:

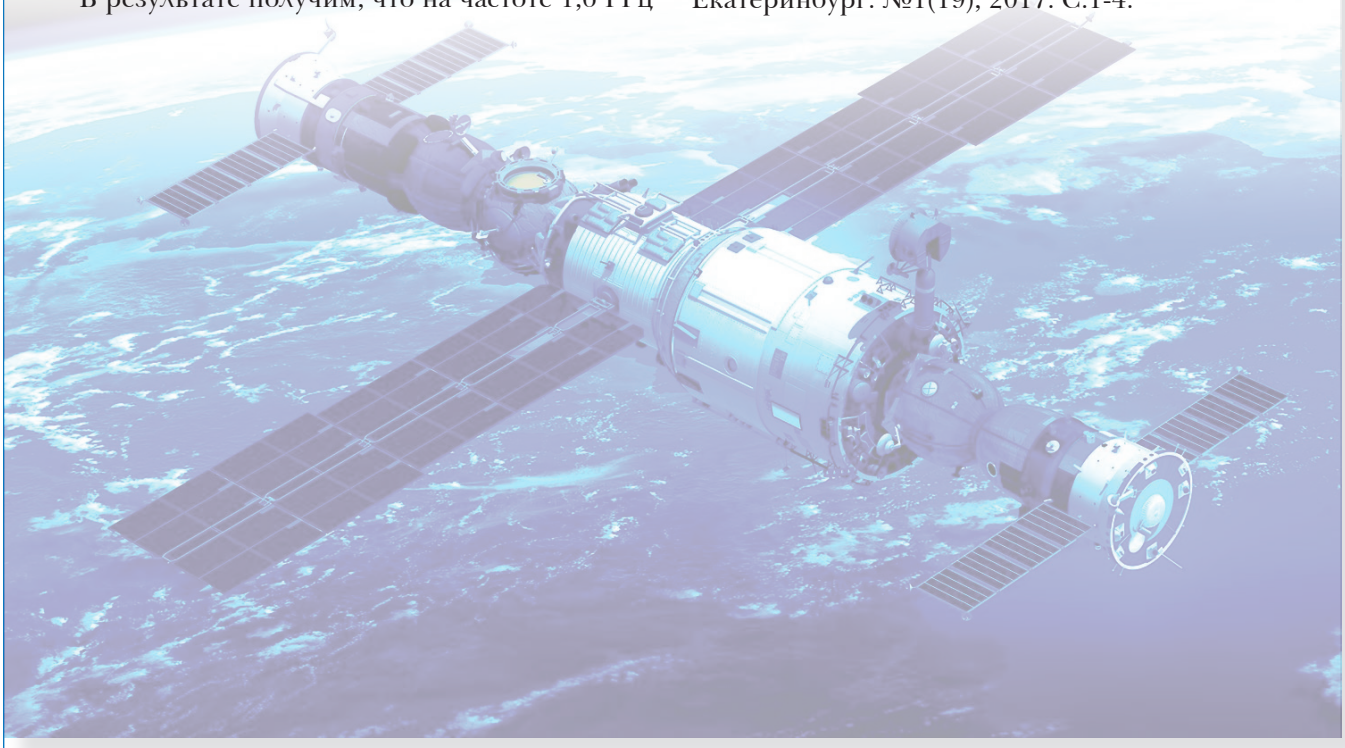
$$D \approx \frac{18}{f\theta} = 10{,}2 \quad [\text{м}]$$

А количество лучей m, необходимых для сплошного покрытия области обслуживания, равно (11000/700)2=240.

Таким образом, организация персональной подвижной службы на основе геостационарных ретрансляторов возможна при реализации принципиально новых ключевых технологических элементов: многолучевых бортовых антенн с количеством лучей, достигающем нескольких сотен и шириной каждого луча порядка единиц и долей градуса, схем эффективно перераспределяющих выходную мощность между передающими лучами, а также бортовых процессоров, осуществляющих демодуляцию/модуляцию сигналов, их декодирование/кодирование и коммутацию пакетов на видеочастоте с использованием коммутаторов/маршрутизаторов с числом входов/выходов, достигающим нескольких сотен [3].

Литература

1. Гриценко А.А. Высокоскоростные спутниковые системы LEO/MEO/HEO-HTS – текущее состояние и перспективы развития. Форум CSTB. Telecom & Media, Москва, 8 февраля 2017г.
2. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи. М.: Военный парад, 2010. 635с.
3. Тестоедов Н.А., Кузовников А.В. Перспективы и приоритеты развития спутниковых информационных систем. РКТ, АО «НПО Автоматики им. Н.А. Семихатова», Екатеринбург: №1(19), 2017. С.1-4.



УДК 621. 394

ТАКТОВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ С КОДОВЫМ ОРТОГОНАЛЬНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ ДАННЫХ

CLOCK SYNCHRONIZATION IN TRANSMISSION SYSTEMS WITH CODE ORTHOGONAL DATA COMPRESSION

Владимир Владимирович Зеленевский
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (905) 548-48-54
E-mail: Zelenevsky.Vladimir@gmail.com

Антон Викторович Ржаных
кандидат технических наук
преподаватель
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (905) 791-43-10
E-mail: toxa21.85@mail.ru.

Анатолий Владимирович Зеленевский
кандидат технических наук
заместитель начальника отдела
ЗАО «Фирма НТЦ «КАМИ»
Адрес: 119361, Москва, ул. Большая Очаковская, д. 47а, стр. 1
Тел.: 8 (926) 150-83-76

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

Аннотация
В статье обосновано применение отдельного канала для тактовой синхронизации генераторов передатчика и приемника, предложены структурные схемы синхронизированных передающего и приемного радиотрактов.
Ключевые слова: кодовое ортогональное уплотнение данных, тактовая синхронизация, функция взаимной корреляции, корреляционный интеграл, меандровая последовательность, временной сдвиг, управляемый генератор тактовых импульсов.

Summary
The article substantiates the use of a separate channel for clock synchronization of transmitter and receiver generators, structural schemes of synchronized transmitting and receiving radio paths.
Keywords: code orthogonal data multiplexing, clock synchronization, cross-correlation function, correlation integral, meander sequence, time shift, controlled clock generator.

Известно [2, 3], что тактовая синхронизация является необходимым условием работы радиоприемника цифровых сигналов независимо от его функциональной схемы. Представленная в работе [1] структурная схема системы передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных не содержит технических устройств, обеспечивающих решение задачи тактовой синхронизации. А это необходимо для определения момента начала и конца интегрирования при корреляционном декодировании данных. Система тактовой синхронизации должна компенсировать разность частот тактовых генераторов передатчика и приемника (согласовать временной интервал корреляционного декодирования с длительностью принимаемой последовательности Уолша-Адамара) и неопределенность времени распространения радиосигнала от передатчика до приемника (согласовать абсолютное время начала и конца обработки принимаемых последовательностей Уолша-Адамара).

Синхронизация по тактовой частоте передатчика в системе передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных эффективно и непрерывно может осуществляться по отдельному выделенному каналу [2]. Для этой цели целесообразно использовать меандровую комбинацию Уолша-Адамара (импульсы прямоугольной фор-

мы со скважностью 1 – длительность единичного импульса равна длительности нулевого). При этом информационные и частотно-энергетические параметры системы передачи практически не изменятся, если длина кодовой комбинации Уолша-Адамара $n \geq 16$. Структурная схема передающего тракта будет иметь вид (*рисунок 1*).

На *рисунке 1* обозначены:

- регистр сдвига (RG), обеспечивающий преобразование последовательного двоичного кода поступающего трафика данных в параллельный;
- сумматоры по модулю два (=1) выполняют роль канальных кодеров (при поступлении на первые входы единичных символов последовательности Уолша-Адамара $Wal_i(t)$ инвертируются);
- последовательность $Wal_S(t)$ является синхронизирующей, имеет форму меандра и не совпадает с информационными $Wal_1(t),\ldots, Wal_{n-1}(t)$;
- генератор тактовых импульсов (ГТИ) формирует сигнал тактовой частоты f_T, который управляет работой генератора функций Уолша-Адамара (генератор функций Уолша-Адамара должен в нашем случае формировать n-1 информационных последовательностей $Wal_1(t),\ldots,Wal_{n-1}(t)$ и одну синхропоследовательность $Wal_S(t)$);
- формирователи полярного кода (ФПК), которые преобразуют символы {1,0} в символы {1,-1};
- сумматор (Σ), который осуществляет линейное суммирование входных сигналов в полярном коде и на выходе формирует многоуровневый групповой сигнал [1];
- модулятор (М) осуществляет перенос спектра низкочастотного сигнала в область несущей частоты ω_0.

Пример выходных сигналов $Wal\,(t)$ генератора функций Уолша-Адамара для n=8, где n – длина последовательностей $Wal(t)$, представлен в виде униполярного и полярного кодов:

униполярный код											полярный код							
1	1	1	1	1	1	1	1	→	$Wal_1(t)$	→	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	0	1	0	1	0	→	$Wal_5(t)$	→	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
1	1	0	0	1	1	0	0	→	$Wal_2(t)$	→	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
1	0	0	1	1	0	0	1	→	$Wal_3(t)$	→	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	1	1	1	0	0	0	0	→	$Wal_4(t)$	→	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
1	0	1	0	0	1	0	1	→	$Wal_5(t)$	→	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
1	1	0	0	0	0	1	1	→	$Wal_6(t)$	→	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	0	0	1	0	1	1	0	→	$Wal_7(t)$	→	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1

Очевидно, групповой сигнал в такой системе передачи содержит n-1 информационных символов, а скорость кодирования $C = \frac{n-1}{n}$ т.е. при $n \geq 16$ значение C близко к единице.

Например, пусть с выхода RG поступает 7-разрядная нулевая последовательность. На выходе сумматора Σ получим групповой сигнал в виде (*рисунок 2*).

Такой сигнал с длительным пробелом не позволяет выделить тактовую частоту и осуществить эффективную тактовую синхронизацию приемника.

Решим задачу синхронизации частоты тактового генератора приемника с тактовой частотой f_T передатчика, принимаемой в приемнике непрерывно или периодически и когерентной с тактовой частотой цифрового модулирующего сигнала передатчика. Схема тактовой синхронизации должна обеспечивать совпадение тактовых частот с точностью до фазы в условиях неопределенного времени появления сигналов тактовой частоты.

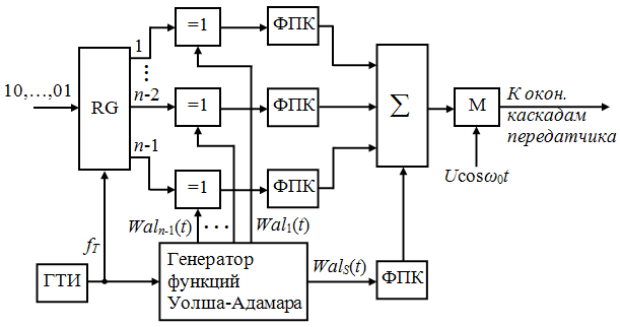


Рис. 1. Структурная схема передающего тракта

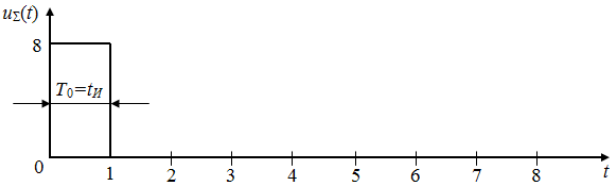


Рис. 2. Групповой сигнал при 7-разрядной нулевой информационной последовательности

Математическая формулировка этого требования заключается в максимуме функции взаимной корреляции

$$\rho(\tau) = \int_0^{T_0} u_\Sigma^*(t) \cdot Wal_S(t,\tau)dt,$$

где T_0 – длительность процесса синхронизации;

$u_\Sigma^*(t)$ – принимаемый сигнал на выходе демодулятора приемника, содержащий тактовую частоту передатчика;

$Wal_S(t,\tau)$ – копия синхропоследовательности

Уолша-Адамара, содержащая тактовую частоту собственного тактового генератора приемника; τ – случайный временной сдвиг между f_T передатчика и приемника.

Принимаемый сигнал $u_\Sigma^*(t)$ и меандровый сигнал $Wal_S(t)$ имеют строго определенные временные формы (прямоугольные импульсы) и линейчатый спектр, состоящий из набора дискретных частот. При произвольном временном сдвиге τ функция взаимной корреляции достигает максимума при условии равенства нулю производной по τ:

$$\frac{d\rho(\tau)}{d\tau}=\frac{d}{d\tau}\left[\int_0^{T_0}u_\Sigma^*(t)\cdot Wal_S(t,\tau)dt\right]=\int_0^{T_0}u_\Sigma^*(t)\cdot\frac{dWal_S(t,\tau)}{d\tau}dt=0.$$

Таким образом, для оптимальной тактовой синхронизации необходимо в течение времени синхронизации $T_0=t_И$, где $t_И$ – длительность импульса, вычислить корреляционный интеграл от поступающего группового сигнала $u_\Sigma^*(t)$ и производной по времени от меандровой синхропоследовательности Уолша-Адамара $Wal_S(t)$ и поддерживать нулевое значение корреляционного интеграла $\rho(\tau)$ путем изменения производной по времени сдвига τ от сигнала $Wal_S(t)$.

Аппаратная реализация максимума функции взаимной корреляции как корреляционная схема тактовой синхронизации представлена на *рисунке 3*.

На *рисунке 3* обозначены:

- смеситель (См), выполняющий перемножение выходного группового сигнала демодулятора $u_\Sigma^*(t)$ и дифференцированного синхросигнала $Wal_S(t)$;
- интегратор $\int_0^{T_0}(\bullet)dt$, выполняющий функцию фильтра нижних частот;
- управляющий элемент (УЭ), в качестве которого используются варикапы (преобразуют напряжение с выхода интегратора $\rho(\tau)$ в изменение емкости варикапа, которая изменяет частоту управляемого генератора тактовых импульсов (УГТИ) и обеспечивает равенство нулю $\frac{d\rho(\tau)}{d\tau}=0$).

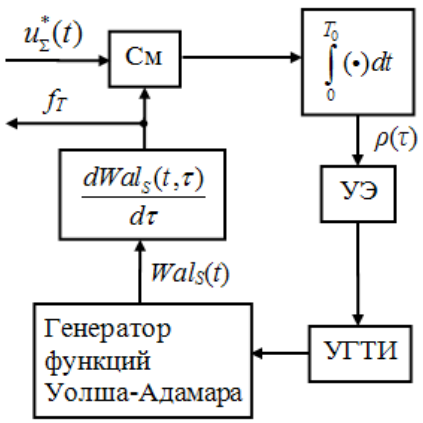


Рис. 3. Корреляционная схема тактовой синхронизации

Основу схемы составляет контур фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), на вход которой поступает сигнал $u_\Sigma^*(t)$, который, как и сигнал $Wal_S(t)$, содержит в своем спектре тактовую частоту в явном виде. Только в этом случае значение корреляционного интеграла $\rho(\tau)$ как сигнала ошибки (рассогласования по фазе) на произвольном интервале T_0 полностью определяется разностью фаз подынтегральных функций $u_\Sigma^*(t)$ и $Wal_S(t)$. Сигналами, которые формируют $\rho(\tau)$, являются $u_\Sigma^*(t)$, $Wal_S(t)$ и производная от $Wal_S(t)$. Для случая, когда сигнал $Wal_S(t)$ является последовательностью прямоугольных импульсов, производная

$$\frac{dWal_S(t,\tau)}{d\tau}$$

представляет собой последовательность знакопеременных коротких импульсов, расстояние между которыми равно длительности символа $t_И$, а знак производной определяется фронтом (по переднему фронту «+», по заднему – «–») сигнала $Wal_S(t)$, формируемого генератором функций Уолша-Адамара. При наличии фазового сдвига между $Wal_S(t)$ и $u_\Sigma^*(t)$ тактовые импульсы f_T с выхода схемы дифференцирования умножаются на ненулевое значение импульса $u_\Sigma^*(t)$, в результате происходит накопление положительного (или отрицательного) сигнала ошибки $\rho(\tau)$, который через УЭ изменяет частоту сигнала $Wal_S(t)$ и других сигналов $Wal_1(t),\ldots,Wal_{n-1}(t)$. В установившемся режиме короткие синхроимпульсы f_T совпадают во времени с переходом через нуль импульсов и суммарная величина сигнала ошибки на выходе интегратора близка к нулю. Таким образом, корреляционная схема тактовой синхронизации (*рисунок 3*) обеспечивает подстройку частоты и фазы сигнала $Wal_S(t)$ в соответствии с принимаемой тактовой частотой сигнала $u_\Sigma^*(t)$ при произвольном времени поступления импульсов тактовой частоты передатчика. Полученные на выходе импульсы тактовой частоты f_T используются в корреляционных декодерах (КД) приемника [1]

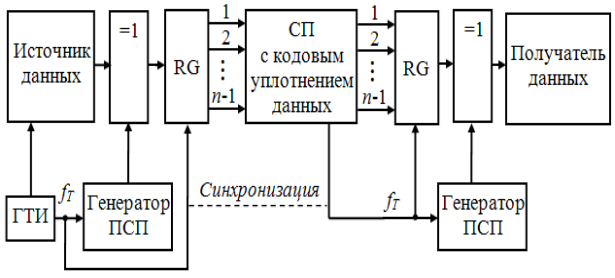


Рис. 4. Структурное построение системы передачи (СП) с кодовым уплотнением данных

для определения временных границ комбинации n-разрядного цифрового сигнала.

Для исключения нежелательных пробелов (*рисунок 2*), когда существует один импульс сигнала $u_{\Sigma}^{*}(t)$, а остальные имеют нулевые амплитуды, на передающей стороне применяют скремблирование поступающего потока данных (*рисунок 4*), а на приемной стороне – обратное преобразование.

Скремблирование потока данных на передающей и приемной сторонах осуществляется суммированием входных данных в сумматоре по модулю два с псевдослучайными последовательностями (в нашем примере блок двоичных символов $n=7$ должен суммироваться с ПСП с той же длиной). Понятно, что генераторы ПСП передающей и приемной сторон должны работать синхронно и синфазно [3].

Достоверность приема двоичных символов в системе передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных (*рисунок 5*) достигается при использовании демодулятора (ДМ), который не вносит межсимвольных искажений и дополнительных шумов. Назначением демодулятора в такой системе передачи является перенос спектра модулированного сигнала из высокочастотной области частотного спектра в диапазон нижних частот. Далее в схеме системы передачи оптимальный корреляционный декодер (КД) идентифицирует принятый групповой сигнал $u_{\Sigma}^{*}(t)$ с одним из опорных сигналов Уолша-Адамара $Wal_i(t)$ и принимает решение по значению коэффициента взаимной корреляции о наличии «нулевого» или «единичного» символа [1]. Во временном представлении в такой системе передачи демодуляция является процессом, обратным модуляции, и заключается в восстановлении огибающей (или многоуровневого модулирующего сигнала) из модулированного ВЧ-сигнала.

Известно [2], что идеальная демодуляция ВЧ-колебания без внесения межсимвольных искажений возможна только в том случае, когда фазовый сдвиг ψ между несущей частотой модулированного колебания ω_0 и частотой опорного гармонического колебания гетеродина приемника $\omega_Г$ является строго постоянной величиной. Это обеспечивается синхронизацией несущей частоты принимаемого сигнала ω_0 с частотой гетеродина радиоприемника.

На *рисунке 5* эту задачу решают блоки [2]:

- полосовой фильтр (ПФ), который выделяет несущую частоту ω_0 из принятого сигнала (либо принимает как пилотный сигнал);
- фазовая автоподстройка частоты гетеродина (ФАПЧ), в составе которой имеются смеситель

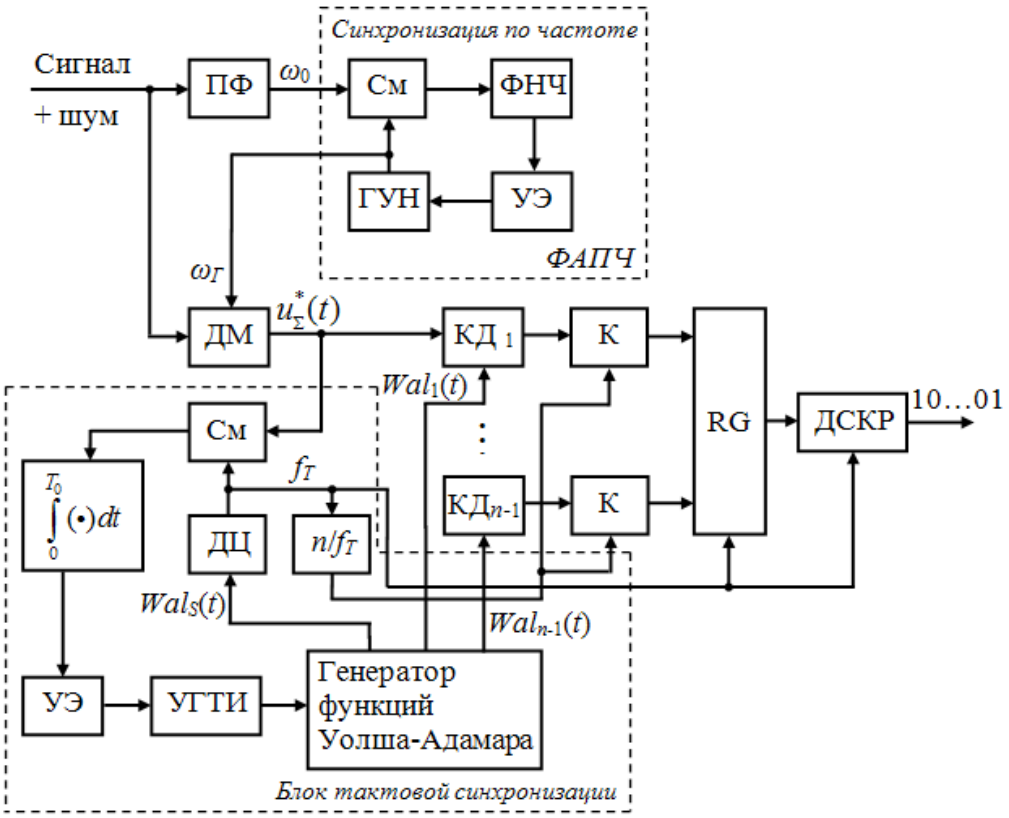


Рис. 5. Структурная схема радиоприемника системы передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных

(См), фильтр нижних частот (ФНЧ), управляющий элемент (УЭ) – варикап, генератор управляемый напряжением (ГУН), выходной сигнал которого в установившемся режиме является напряжением гетеродина с частотой $\omega_Г = \omega_0$.

Тактовая синхронизация обеспечивается ранее описанными элементами: смеситель, интегратор, управляющий элемент, УГТИ, который управляет временным положением функций (последовательностей) Уолша-Адамара, дифференцирующей цепи (ДЦ). Для стробирования ключевых элементов К, обеспечивающих отсчет значений коэффициентов взаимной корреляции КД (значений двоичных символов после декодирования) в строго определенные временные границы, используется элемент временной задержки ($n/f_Т = n \cdot t_И$).

Дескремблер (ДСКР) восстанавливает исходную последовательность данных.

Выводы

- тактовая синхронизация в системе передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных может быть обеспечена только по отдельному каналу синхронизации;
- в качестве синхропоследовательности целесообразно использовать меандровую кодовую комбинацию $Wal_S(t)$;
- число передаваемых информационных символов уменьшается на единицу, что при $n \geq 16$ не оказывает практического влияния на частотные и энергетические параметры системы передачи (скорость кодирования равна $\frac{n-1}{n}$);
- для непрерывной и эффективной тактовой синхронизации генераторов передатчика и приемника целесообразно использовать скремблирование входного информационного потока;
- предложенные структурные схемы передающего и приемного трактов, содержащие блоки тактовой синхронизации, реализуются на известных функциональных элементах, работа которых апробирована в действующих системах передачи.

Литература

1. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Зеленевский Ю.В., Дурнов А.С. Статистические характеристики системы передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных при воздействии гауссова шума // Электросвязь, 2018. №7. С.42-45.
2. Галкин В.А. Цифровая мобильная связь. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 432 с.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е изд., испр. / Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.

УДК 621.391

ОПЕРАТОРНЫЙ МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОТОКОЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИМ КАНАЛОМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

OPERATIVE METHOD OF MATHEMATICAL MODELING OF LOGIC DATA TRANSFER CONTROL PROTOCOLS

Сергей Евгеньевич Потапов
кандидат технических наук
старший преподаватель
филиал ВА РВСН имени Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (4967) 72-19-11
E-mail: 41kaf_rabota@mail.ru

Аннотация
В статье проведен анализ основных методов математического моделирования процесса доведения сообщений по низкоскоростным каналам связи с протоколами, поддерживающими процедуру «скользящее окно». На основе выявленных закономерностей процессов передачи информации сформирован обобщенный подход к определению вероятностно-временных характеристик информационного обмена по каналам сети радиосвязи между смежными узлами коммутации.
Ключевые слова: вероятностно-временные характеристики, сеть радиосвязи, производящие функции, многопакетные сообщения.

Summary
In article the analysis of the main methods of mathematical modeling of process of finishing messages on low-speed communication channels with the protocols supporting the «sliding window» procedure is carried out. On the basis of the revealed regularities of processes of information transfer the generalized approach to definition of probabilistic and time characteristics of information exchange on channels of network of a radio communication between adjacent knots of switching is created.
Keywords: probabilistic-temporal characteristics, radio communication network, generating functions, multi-packet messages.

При развертывании радиосетей сетей передачи данных с подвижными объектами в труднодоступных районах с неразвитой сетевой инфраструктурой существует задача выбора частотного диапазона формирования радиоканалов и сетей на их основе, а также оптимизации архитектуры таких сетей для обеспечения максимальной их производительности. Как правило, при значительном рассредоточении корреспондирующих объектов друг от друга (порядка сотен километров) и отсутствии возможности организации между ними тропосферных, радиорелейных или спутниковых каналов связи (КС) связь между ними организуется на базе низкоскоростных каналов в диапазоне дека- и гектометровых волн. При этом относительно низкие скорости передачи информации обусловлены применением помехоустойчивых кодовых конструкций с большой избыточностью, а также квитированием передаваемых пакетов данных для компенсирования негативных особенностей распространения радиоволн этих диапазонов [1].

Формирование логического соединения типа «точка – точка» в системах передачи данных (СПД), реализованных на низкоскоростных каналах с относительно высокой вероятностью битовой ошибки, как правило, осуществляется с помощью протокола с решающей обратной связи (РОС) [2,3], обеспечивающей требуемую достоверность доведения сообщений.

Характерным представителем семейства таких протоколов является протокол HDLC, который сравнительно давно стандартизирован и

широко применяется на практике. Особенностью этого протокола является использование на уровне управления логическим соединением процедуры «скользящее окно», заключающейся в квитировании одного или нескольких принятых пакетов и повторной передаче недоведенных [2,4-6]. Количество передаваемых без подтверждения пакетов сообщения определяется размером «скользящего окна» [2,4] и в частном случае может составлять один пакет.

Вопросам оценки характеристик вероятности доставки однопакетных сообщений по протоколу с РОС уделено достаточное внимание в различных работах [2,5-8]. Однако вопросы оценки своевременности и оперативности передачи многопакетных сообщений (МПС) в данном протоколе рассмотрены недостаточно полно.

При анализе передачи МПС по протоколу с РОС возникает задача корректного описания данного процесса в виде адекватной математической модели с целью определения ВВХ оперативности доставки МПС.

В работах В.А. Цимбала и его научной школы для получения соответствующих моделей обосновано применение математического аппарата теории поглощающих конечных марковских цепей (ПКМЦ) [5-9]. При этом одной из наиболее важных характеристик конечных марковских цепей (КМЦ) является поведение (изменение во времени) вероятностей всех или некоторых состояний цепи. Такое изменение описывается известным уравнением Колмогорова-Чепмена (УКЧ) [10,11].

Во многих приложениях теории КМЦ необходимо знать, какова динамика вероятности того или иного состояния процесса в реальном масштабе времени, при этом, если длина шага переходов для всей цепи одинакова и равна $\tau_ш$ то реальное время за k шагов будет равно $t_k=k\tau_ш$. Также важной временной характеристикой КМЦ является среднее время и дисперсия времени перехода процесса из одного состояния в другое. Данные характеристики можно определить по так называемым фундаментальной и дисперсионной матрицам [5-10].

Однако многие реальные процессы, описываемые КМЦ, имеют разные шаги переходов из одного состояния в другое. В СПД это обусловлено, например, разной длиной пакетов ($l_п$) и квитанций ($l_ка$) и временем тайм-аута [2,3]. Следует отметить, что такой процесс является простейшим случаем полумарковского процесса [12], наиболее близким к марковскому. В этом случае переход к реальному времени при нахождении ВВХ предлагается осуществлять по среднему шагу переходов [9], который получается при усреднении всех шагов по всей КМЦ.

Исследования [13] показывают, что усреднение времени перехода процесса на каждом шаге, а также комплексирование вероятностей различных путей попадания процесса в поглощающее состояние в одну величину на каждом шаге моделирования при использовании аппарата УКЧ вносит определенные методические погрешности. Причем данные погрешности расчета ВВХ тем сильнее, чем больше разница времени передачи пакетов и квитанций ($\tau_п$-$\tau_ка$).

Получить точные ВВХ процесса с различными значениями времен перехода можно с помощью метода введения фиктивных состояний, подробно изложенного в [9]. Однако, данный подход, приводит к значительному увеличению размера графа состояний и, соответственно матрицы переходных вероятностей и шагов переходов (МПВ и МШП).

Наиболее точный метод анализа временных характеристик неоднородной ПКМЦ с непостоянными по длительности шагами переходов предложен в работе [7]. Однако данный метод расчета среднего времени и дисперсии времени попадания процесса в поглощающее состояние, во-первых, не позволяет построить ВВХ процесса доведения МПС и, во-вторых, как и названные выше методы исследования, не позволяет учесть случай наличия в исследуемом процессе переходов с функциями распределения времени общего вида [12].

Получить точные ВВХ процесса доведения сообщений и при этом не прибегать к изменению структуры графа состояний и переходов можно с помощью операторного метода анализа полумарковских процессов с дискретным детерминированным временем, сущность которого заключается в следующем.

Применим к МПВ и МШП размерности $n \times n$ следующее преобразование

$$\boldsymbol{G}(s)=\Theta(\boldsymbol{P},\boldsymbol{T}):\ g_{ij}=p_{ij}e^{stij},$$

где s – произвольная переменная.

Такое преобразование назовем ***производящей функцией константы***, а получаемую при этом матрицу назовем матрицей производящих функций константы или – ***производящей матрицей*** [12].

Для нахождения вероятностей попадания исследуемого процесса из начального состояния C_i в состояние C_j за конечное число шагов k введем векторы **A** и **B** размерности n, элементы которых определяются по правилам:

$$a_m=0\,|\,m\neq i,\ b_m=0\,|\,m\neq j,\ m=[1,n],$$

тогда искомые вероятности будут содержаться в элементе

$$h=\mathbf{A}\mathrm{x}\mathbf{G}^k(s)\cdot\mathbf{B}^{\mathrm{T}}=g_{ij}(s)\ [13].$$

Следовательно, для получения ВВХ доведения МПС необходимо получить вероятности перехода процесса из состояния C_1 в состояние C_n. Тогда после возведения матрицы $\mathbf{G}(s)$ в степень k элемент g_{1n} матрицы $\mathbf{G}^k(s)$ будет состоять из суммы вида:

$$g_{1n} = P_1 e^{st_1} + P_2 e^{st_2} + ... + P_l e^{st_l} + ... + P_L e^{st_L} = \sum_{l=1}^{L} P_l e^{st_l} = \sum_{l=1}^{L} g_{1n}^{(l)}(s), \quad (1)$$

где $P_l = g_{1n}^{(l)}(0)$ – вероятность попадания из C_1 в C_n за время

$$t_l = (1/P_l) \cdot \left. \frac{d\left(g_{1n}^{(l)}(s)\right)}{ds} \right|_{s=0}$$

за число шагов процесса меньшее или равное k. Таким образом, получается ряд распределения вероятностей доведения сообщения вида

$$P_{дов} = f(t = t_l),$$

из которого находится искомая вероятность доведения за время, не превышающее заданное:

$$P_{дов}(t \le t_{зад}) = F(t_{зад}) = \Sigma P_{дов} \,|\, t \le t_{зад}.$$

При этом k необходимо выбирать с тем расчетом, чтобы искомое заданное время

$$t_{зад} \le \max\{t_l\}.$$

Это можно обеспечить, выбирая

$$k = \left\lceil t_{çàä} / \min(\tau_{ij}) \right\rceil,$$

где $\lceil \cdot \rceil$ – оператор округления до целого в большую сторону.

Более общее решение можно получить, применяя к элементам МПВ и МШП оператор дискретного преобразования Фурье [14]. Тогда элементы получаемой таким образом производящей матрицы $\mathbf{G}(s)$ будут иметь следующий вид:

$$g_{ij}(s) = p_{ij} e^{jst_{ij}},$$

где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

Такая форма записи есть аналог ***характеристической функции константы*** [12]. В этом случае вероятность доведения сообщения $P_{дов}(t = t_i)$ определяется с помощью обратного преобразования Фурье (ОПФ) [14]:

$$P(t_i) = (1/2\pi) \int_{-\pi}^{\pi} g_{1n}(s) \cdot e^{-jst_i} ds, \quad (2)$$

а вероятность доведения за время, не превышающее заданное, определяется выражением:

$$P_{äîâ}(t \le t_{çàä}) = \sum_{i=1}^{t_{çàä}} P(i) \quad (3)$$

Данный метод определения ВВХ обладает большей вычислительной трудоемкостью и применим только в случае целочисленного значения всех времен переходов [14]. В процессах с нецелочисленными временами переходов необходимо в начале умножить все элементы МШП и $t_{зад}$ на 10^r, где r – наибольшее число знаков после запятой среди всех времен переходов МШП, а после выполнения ОПФ – разделить времена доведения на то же самое число. В отдельных случаях можно воспользоваться округлением значений времен переходов в пределах заданной точности моделирования.

На практике исследования процессов доведения сообщений зачастую приходится сталкиваться со случаями, когда доведение очередного повтора передаваемого пакета отличается по вероятности от доведения предыдущего повтора. Кроме того, зачастую в СПД допускается передача ограниченного числа повторов одного и того же пакета. Поэтому моделирование таких процессов некорректно осуществлять с помощью цепей Маркова, содержащих возвратные состояния [10].

Одним из известных способов математического моделирования таких процессов является применение ситуационных двудольных графов (СДГ) с фиктивными состояниями, [6]. При этом размерность получаемой МПВ увеличивается пропорционально числу возможных повторов передаваемых пакетов сообщения.

Рассмотрим процесс моделирования доставки 1 пакета с 1 повтором указанным способом. СДГ и МПВ такого процесса будет иметь вид (см. *рисунок 1*).

Процесс доставки пакета и квитанции в логическом соединении передачи данных является случайным, и его вероятности определяются выражениями [9-11]:

$$p_{12} = p_n;\ p_{25} = p_{кв};\ p_{13} = 1 - p_n;\ p_{24} = 1 - p_{кв};\ p_{34} = p_{44} = p_{55} = 1.$$

При этом вероятность доведения однопакетного сообщения за один повтор достигается за $k = 2$ шага моделирования и определяется как

$$P_{дов} = P_5 = p_{12} \cdot p_{25} = p_n \cdot p_{кв},$$

а вероятность недоведения пакета, соответственно

$$Q_{дов} = P_4 = p_{13} \cdot p_{34} + p_{12} \cdot p_{24} = q_n + p_n \cdot p_{кв} = 1 - P_{дов}.$$

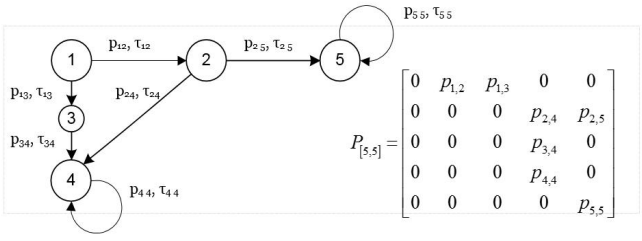


Рис. 1. СДГ и МПВ процесса доставки 1 пакета с 1 повтором

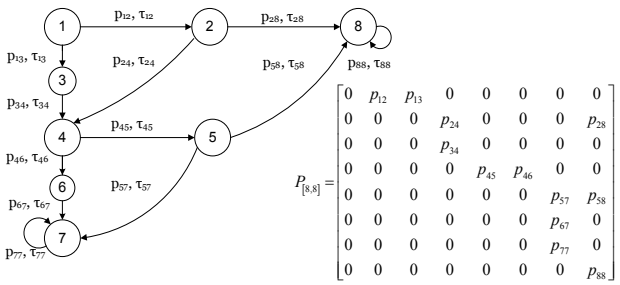


Рис. 2. СДГ и МПВ процесса доставки 1 пакета с 2 повторами

При увеличении числа повторов передаваемого пакета до двух, изменится и ГСП ПКМЦ, который имеет следующий вид (*рисунок 2*).

Элементы МПВ также, как и для случая передачи 1-го пакета с 1 повтором соответствуют передаче пакета и квитанции и равны:

$$p_{12}=p_{45}=p_n;$$
$$p_{28}=p_{58}=p_{кв};$$
$$p_{13}=p_{46}=q_n=1-p_n;$$
$$p_{24}=p_{57}=q_{кв}=1-p_{кв};$$
$$p_{34}=p_{67}=p_{77}=p_{88}=1.$$

Тогда искомые вероятности доведения и недоведения однопакетного сообщения за два повтора достигаются за $k=4$ шага моделирования и определяются так

$$P_{дов}=P_8=p_{1,2}\cdot p_{2,8}+p_{1,2}\cdot p_{2,4}\cdot p_{4,5}\cdot p_{5,8}+p_{1,3}\cdot p_{3,4}\cdot p_{4,5}\cdot p_{5,8}=$$
$$=p_n\cdot p_{кв}+p_n^2\cdot p_{кв}\cdot q_{кв}+p_n\cdot q_n\cdot p_{кв}. \quad (4)$$

$$Q_{дов}=P_7=p_{1,3}\cdot p_{3,4}\cdot p_{4,6}\cdot p_{6,7}+p_{1,2}\cdot p_{2,4}\cdot p_{4,6}\cdot p_{6,7}+$$
$$+p_{1,3}\cdot p_{3,4}\cdot p_{4,5}\cdot p_{5,7}+p_{1,2}\cdot p_{2,4}\cdot p_{4,5}\cdot p_{5,7}= \quad (5)$$
$$=q_n^2+2p_n\cdot q_{кв}\cdot q_n+p_n^2+q_{кв}^2=1-P_{дов}.$$

С другой стороны, если вероятности доведения (недоведения) пакета и квитанции не зависят от номера повтора передачи, то процесс доведения сообщения можно представить более простым графом и соответствующей ему МПВ (*рисунок 3*), где вероятности переходов будут определяться выражениями

$$p_{12}=p_n\cdot p_{кв};\ p_{11}=p_n\cdot p_{кв}+q_n;\ p_{22}=1.$$

Справедливость указанных выражений очевидна, т.к. сумма элементов в строках МПВ равна «1»

$(p_{11}+p_{12}=p_n\cdot q_{кв}+q_n+p_n\cdot p_{кв}=p_n(q_{кв}+p_{кв})+q_n=p_n+q_n=1)$,

а вероятности доведения сообщения с одного повтора

$$(P_{дов}{}^1=P_2{}^1=p_{12}=p_n\cdot p_{кв})$$

и с 2-х повторов

$(P_{дов}{}^2=P_2{}^2=p_{12}+p_{11}\cdot p_{12}=p_n\cdot p_{кв}+(p_n\cdot p_{кв}+q_{кв})p_n\cdot p_{кв}=p_n\cdot p_{кв}+p^2{}_n\cdot q_{кв}\cdot p_{кв}+q_n\cdot p_n\cdot p_{кв})$,

совпадают с выражениями (4-5). В общем случае, вероятность доведения сообщения с n повторов равна

$$P_{дов}=P_2=(p_{11})^{n-1}\cdot p_{12}.$$

Для случая, когда время передачи пакета отличается от времени передачи квитанции, необходимо воспользоваться операторным методом определения ВВХ. Тогда время перехода из состояния (С) C_1 в C_1 с вероятностью $p_n\cdot p_{кв}$ будет равно $\tau_{11}=(\tau_n+\tau_{кв})$, а с вероятностью q_n будет равно τ_n, что можно выразить как

$$g_{11}(s)=p_n\cdot p_{кв}\cdot e^{s(\tau n+\tau кв)}+p_n\cdot e^{s\tau n}.$$

Время перехода из C_1 в C_2 будет равно $\tau_{12}=\tau_n$, следовательно

$$g_{12}(s)=p_n\cdot e^{s\tau n}.$$

Действуя по приведенному выше алгоритму определения ВВХ, получим точное распределение вероятностей времени доведения однопакетного сообщения за интересующее число повторов передачи.

Из анализа процедуры моделирования доведения сообщений при разной длительности времени передачи пакетов и квитанций следует, что операторный метод определения ВВХ применим для более широкого круга процессов доведения сообщений. В частности, когда время передачи сообщений и квитанции является дискретной случайной величиной с известным рядом распределения вероятностей $P(t=\tau_i)=\{p_i,\tau_i\}$ или даже непрерывной величиной с известной плотностью распределения вероятностей времени $P(t=\tau)=f(\tau)$.

В последнем случае целесообразно использовать оператор преобразования для характеристической функции, так как производящая функция существует только при наличии моментов распределения [15].

Применение аппарата производящих (характеристических) функций позволяет производить определение ВВХ процессов доведения сообщений и в более общем случае, когда некоторые времена переходов процесса заданы величинами с непрерывным распределением, а другие с дискретным или константой. При этом произведение элементов $G(s)$: $g_{kl}(s)$ – с дискретным распределением вида $\sum_{i=1}^{n} p_i e^{js\tau_i}$ и $g_{lz}(s)$ – с непрерывной плотностью вероятности вида

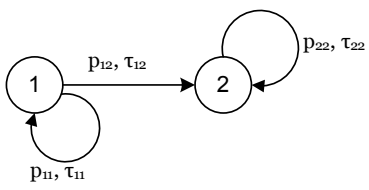
$$\int_0^{+\infty} f(\tau)\cdot e^{js\tau}d\tau$$

получается в виде:

$$g_{kl}(s)\cdot g_{lz}(s)=\sum_{i=1}^{n} p_i e^{js\tau_i}\cdot\int_0^{+\infty} f(\tau)\cdot e^{js\tau}d\tau=\sum_{i=1}^{n} p_i\int_0^{+\infty} f(\tau)\cdot e^{js(\tau_i+\tau)}d\tau. \quad (6)$$

Для примера, пусть некоторый шаг перехода имеет время, заданное рядом распределения вероятностей $P(\tau_{kl})=\langle p_i,\tau_i\rangle$; а другой шаг имеет непрерывное показательное распределение вероятностей времени с плотностью $f(\tau_{lz})=\lambda\cdot e^{-\lambda\cdot\tau}$. Тогда распределение суммы времени перехода из k в z через l можно выразить через их производящие функции:

$$g_{kz}(s)=g_{kl}(s)\cdot g_{lz}(s)=\sum_{i=1}^{n} p_i\int_0^{+\infty}\lambda\cdot e^{-\lambda\cdot\tau}\cdot e^{s(\tau_i+\tau)}d\tau=$$
$$=\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{p_i\cdot\lambda}{\lambda-s}\cdot e^{s\tau_i}\cdot\int_0^{+\infty} e^{-\tau(\lambda-s)}d\tau\right)=\frac{\lambda}{\lambda-s}\sum_{i=1}^{n} p_i\cdot e^{s\tau_i}, \quad (7)$$



$$P_{[2,2]}=\begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ 0 & p_{22} \end{bmatrix}$$

Рис. 3. Граф процесса доставки 1 пакета с n повторами

где сомножитель $\lambda/(\lambda-s)$ есть не что иное как производящая функция показательного закона с параметром λ. При этом

$$P_{kz}(\tau_l)=\langle p_l,\tau_l\rangle,$$

где $P(\tau_l)=g^l_{kz}(s=0)=\frac{\lambda}{\lambda-s}p_l\cdot e^{s\tau_l}\Big|_{s=0}=p_l$,

а $\tau_l=\frac{1}{p_l}\cdot\frac{dg^l_{kz}(s)}{ds}\Big|_{s=0}=\frac{1}{\lambda}+\tau_l$.

Аналогично можно показать справедливость (7) для других классических законов распределения случайной величины.

Рассмотрим моделирование процесса передачи двухпакетного сообщения по каналу связи с протоколом HDLC и величиной «скользящего окна» равной единице с применением СДГ.

Граф состояний и переходов для этого случая будет иметь следующий вид (*рисунок 4*).

Состояния C_1–C_8 соответствуют процессу доставки первого пакета. Их смысловая нагрузка аналогична графу на *рисунке 1*. Состояния C_8–C_{14} соответствуют процессу доставки второго пакета. При этом вероятности и времена переходов в первом подграфе (C_1 – C_8) такие же, как и во втором (C_7 – C_{14}).

Общими для обоих подграфов являются состояния C_7 и C_8. Поэтому, не нарушая интерпретацию физики процесса, можно преобразовать исходный граф состояний и переходов к следующему виду (*рисунок 5*).

Здесь переходы C_1 – C_2 и C_2 – C_4 соответствуют успешной передаче, соответственно, первого и второго пакетов не более, чем за два повтора каждый; переходы C_1 – C_3 и C_2 – C_3 соответствуют недоставке, соответственно, первого и второго пакета за два повтора. Таким образом, вероятность доставки двух пакетов будет определяться произведением $P_{дов}=P_4=p_{12}p_{24}$ за время $T_{дов}=\tau_{12}+\tau_{24}$.

Учитывая, что

$$p_{12}=p_{24}=p_n\cdot p_{кв}+p_n^2\cdot q_{кв}\cdot p_{кв}+q_n\cdot p_n\cdot p_{кв}$$

и каждому члену этой суммы соответствует свое время доставки пакета

$$\tau_{12}=\tau_{24}=[(\tau_n+\tau_{кв});\ (2\tau_n+2\tau_{кв});\ (2\tau_n+\tau_{кв})],$$

то определить общие ВВХ доведения двухпакетного сообщения можно, прибегнув к использованию производящей функции доведения одного пакета вида:

$$g(s)_{12}=g(s)_{24}=p_n\cdot p_{кв}\cdot e^{s\tau n+s\tau кв}+p_n^2\cdot q_{кв}\cdot p_{кв}\cdot e^{2s\tau n+2s\tau кв}+q_n\cdot p_n\cdot p_{кв}\cdot e^{2s\tau n+s\tau кв}.$$

То есть

$$g(s)_{13}=g(s)_{12}\cdot g(s)_{24}=(g^{1n}(s))^2,$$

а вероятность доведения за время, не превышающее заданное, определяется по приведенному выше алгоритму.

Таким образом, при заданном максимальном количестве повторов при передаче пакета можно произвести математическое моделирование доставки n-пакетного сообщения, не прибегая к увеличению размеров исходного графа состояний и переходов с требуемой точностью.

Для примера построим ВВХ доставки 1-но, 3-х, 5-ти и 10-ти пакетного сообщения по одному и тому же каналу связи при следующих характеристиках процесса передачи (*таблица 1*).

Графики ВВХ процесса доведения для 1-но, 3-х, 5-ти и 10-ти пакетного сообщения представлены соответственно на *рисунках 6-9*.

Определим средневзвешенное значение и разброс времени передачи пакета по КС как матожидание и дисперсию выборки значений из *таблицы 1* $m(t)=23{,}7$с; $D(t)=107{,}8$с^2.

Из анализа графиков на *рисунках 6-9* следует, что с увеличением количества передаваемых по КС пакетов сообщения, распределение времени его доведения стремится к нормальному с параметрами

$$m_{\Sigma t}(t)=\Sigma m_t;\ D_{\Sigma t}(t)=\Sigma D_t.$$

Так, распределение вероятности времени доставки 15-ти пакетов (*рисунок 10*) с точностью R=0,9944 аппроксимируется функцией вида:

$$f(t)=0.0248\cdot e^{\frac{-(t-357.2)^2}{3254}}, \qquad (8)$$

которая соответствует плотности нормального закона распределения [15] $f_N(t)$ с моментами:

$$m_t(T)=357{,}2\text{с}\approx 15m_t(t);$$
$$D_t(T)=1627\text{с}^2\approx 15\cdot D_t(t).$$

Отсюда следует, что для анализа ВВХ доставки n-пакетного ($n>15$) сообщения по КС можно воспользоваться плотностью нормального закона распределения случайной величины с моментами $m_t(T)=n\cdot m_t(t)$ и $D_t(T)=n\cdot D_t(t)$.

Таким образом, получить ВВХ передачи МПС абонентов, содержащих произвольное количество пакетов, по КС с РОС можно, зная ВВХ передачи одного пакета по этому КС при условии, что величина «скользящего окна» процедуры управления логическим соединением равна единице.

Выводы

1. Из анализа существующих методов математического моделирования процесса передачи МПС по КС с РОС следует, что в настоящее время не один из существующих методов не позволяет получить полное распределение вероятностей времени завершения процесса передачи, не прибегая к лавинообразному увеличению размерности МПВ с увеличением количества пакетов МПС и разницы времен шагов процесса.

2. Применение операторного метода математического моделирования протоколов управления логическим каналом передачи данных

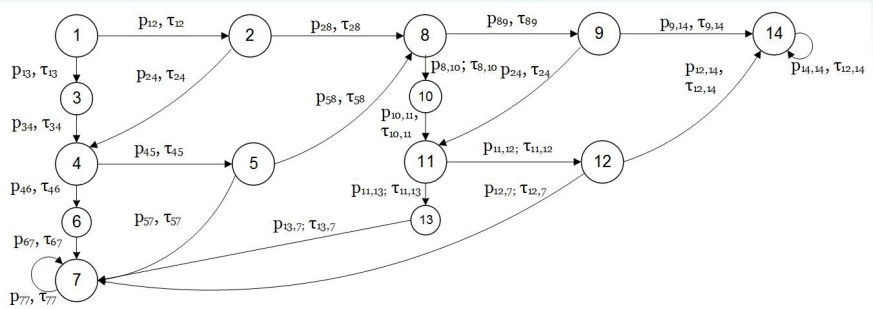


Рис. 4. ИГ процесса доставки 2 пакетов с 2-мя повторами

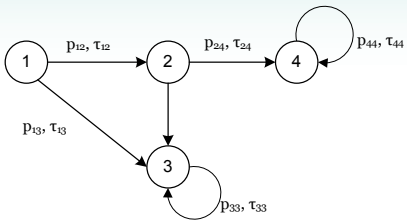


Рис. 5. Упрощенный граф процесса доставки 2 пакетов

Таблица 1

Пример ряда распределения вероятности времени доставки однопакетного сообщения по КС

τ_i (с)	15	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
p_i	0,44	0,238	0,0397	0,04	0,088	0,0214	0,0252	0,0398	0,0116	0,0099	0,0163	0,0059	0,0047	0,0064

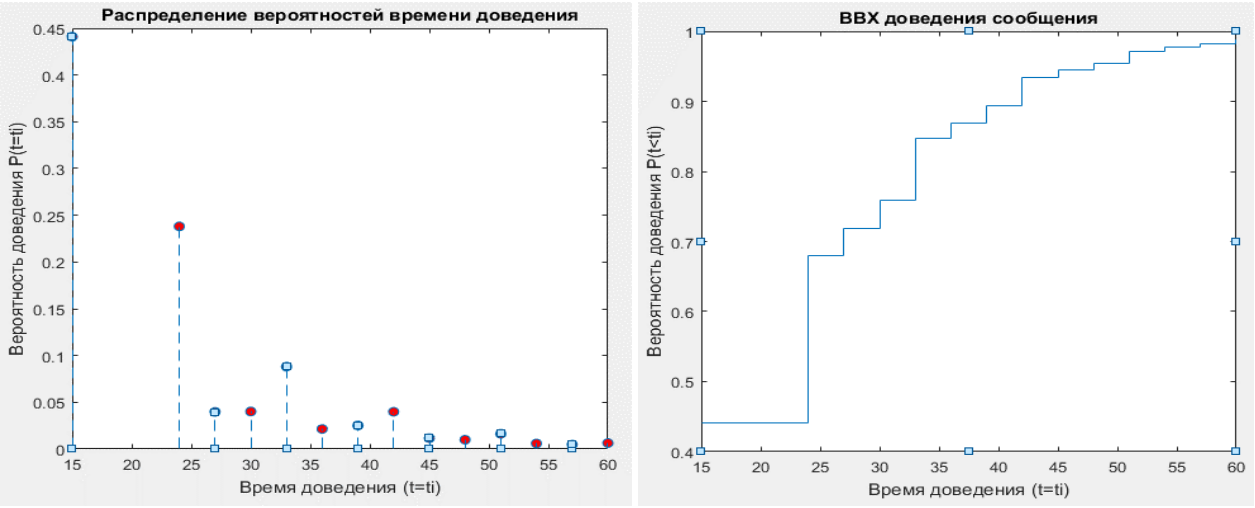


Рис. 6. Графики ВВХ процесса доставки 1-но пакетного сообщения

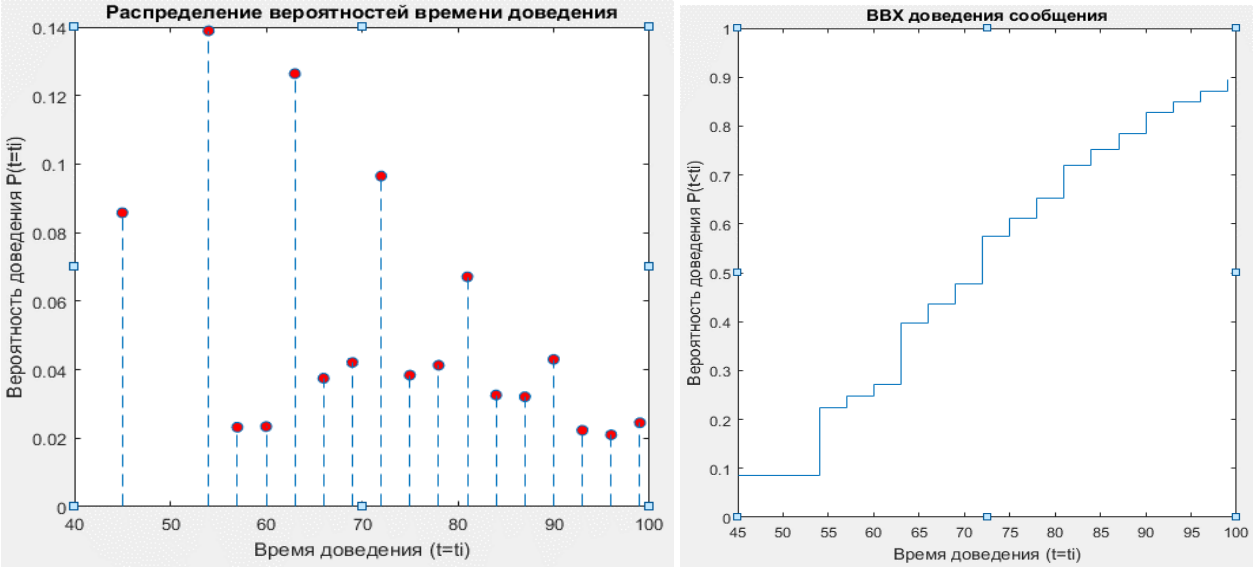


Рис. 7. Графики ВВХ процесса доставки 3-х пакетного сообщения

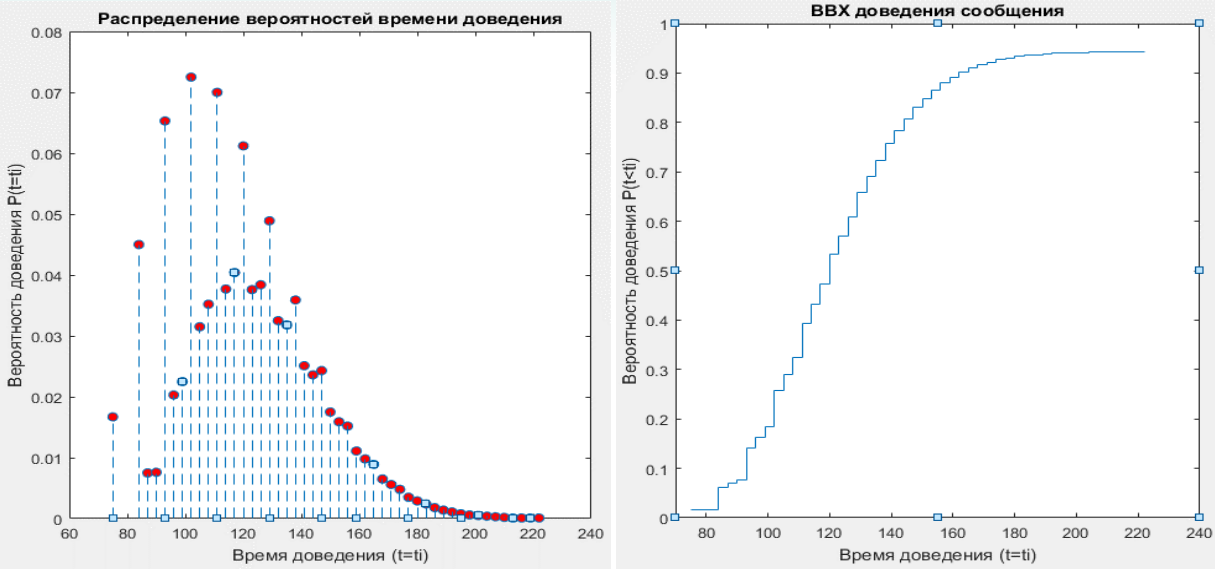


Рис. 8. Графики ВВХ процесса доставки 5-ти пакетного сообщения

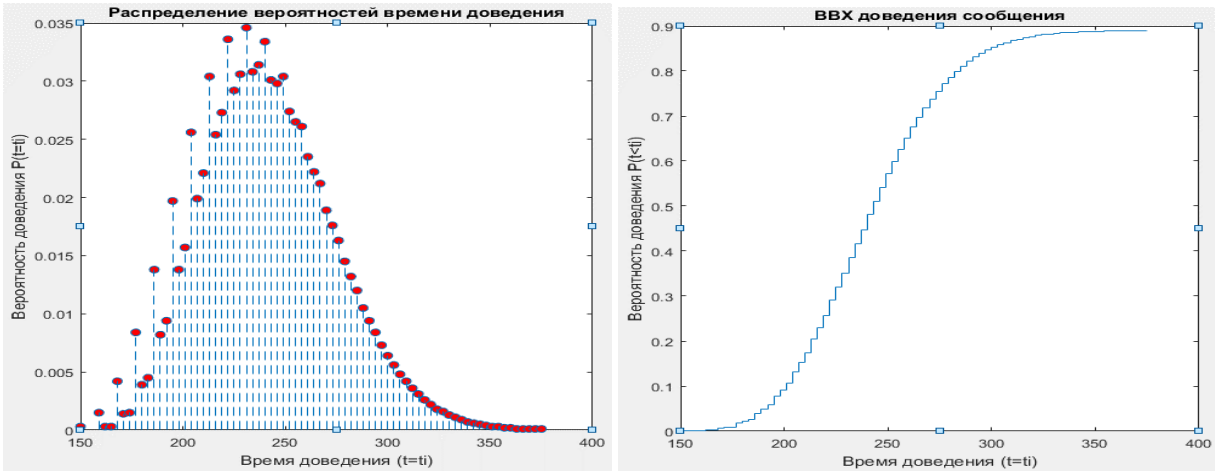


Рис. 9. Графики ВВХ процесса доставки 10-ти пакетного сообщения

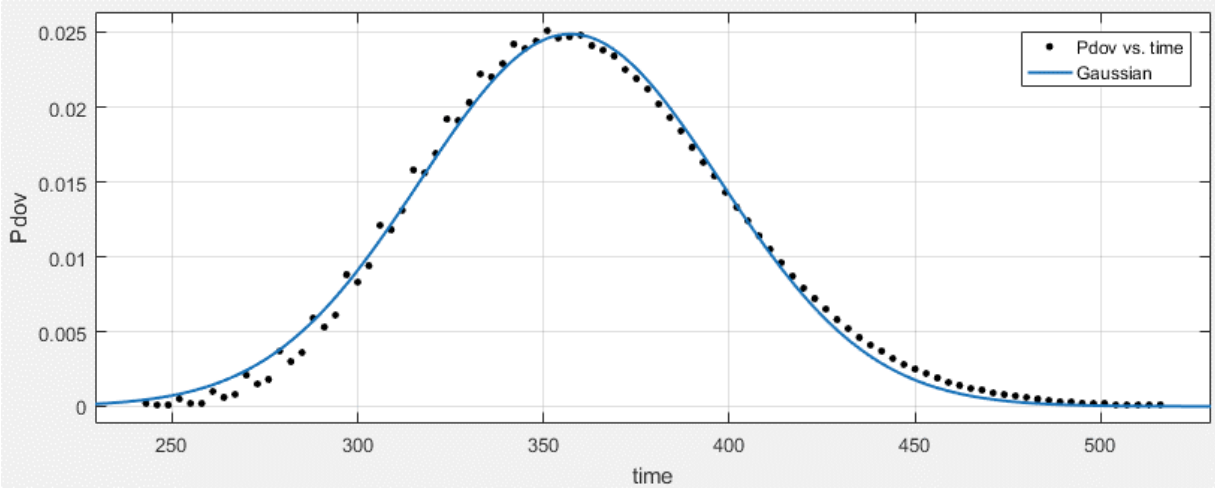


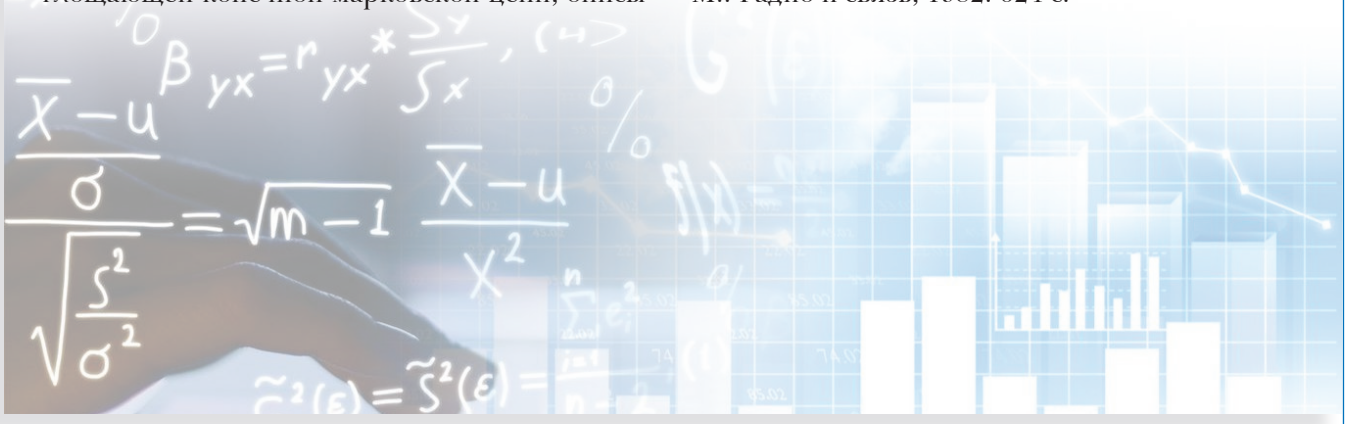
Рис. 10. Графики ВВХ процесса доставки 15-ти пакетного сообщения и функции f(t) аппроксимирующей зависимости

позволяет получить ВВХ процесса доведения МПС с шагами переходов, заданными функциями распределения вероятностей времени общего вида, а также использовать результат расчета ВВХ для моделирования процессов передачи МПС по составным ВМ сети радиосвязи, которые обладают свойством последействия.

3. В результате применения предлагаемого в работе операторного метода к моделированию процессов передачи МПС различного объема установлено, что с увеличением количества пакетов МПС распределение вероятности времени завершения процесса стремится к Нормальному закону с параметрами, кратными матожиданию и дисперсии времени передачи одного пакета по тому же КС с кратностью, равной количеству пакетов МПС.

Литература

1. Березовский В.А., Дулькейт И.В., Савицкий О.К. Современная декаметровая радиосвязь: оборудование, системы и комплексы / Под ред. В.А. Березовского. М.: Радиотехника, 2011. 444 с.: ил.
2. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. СПб., 2012. 944 с.
3. Протоколы информационно-вычислительных сетей: Справочник / С.А. Аничкин С.А. Белов, А.В. Бернштейн и др.; под общ. ред. И.А. Мизина, А.П. Кулешова. М.: Радио и связь, 1990. 504 с.: ил.
4. Деарт В.Ю. Мультисервисные сети связи. Транспортные сети и сети доступа. М.: Инсвязьиздат, 2007. 166 с., илл.
5. Цимбал В.А. Автоматизированный синтез конечных марковских цепей описывающих процесс доведения многопакетного сообщения в VPN MPLS / Цимбал В.А., Косарева Л.Н., Потапов С.Е., Тоискин В.Е. // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы, 2014. Т.4. №2. С.112-115.
6. Цимбал В.А. Автоматизированный синтез поглощающей конечной марковской цепи, описывающей доведение многопакетного сообщения в соединении «точка-точка» системы передачи данных и исследование его оперативности / Цимбал В.А., Тоискин В.Е., Потапов С.Е., Сорокин ОМ, Лягин М.А., БережнойА.А., Крючков Н.В., Хоптар В.В. // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2016. №4(24). С.59-65.
7. Орехов С.Е. Метод анализа временных характеристик неоднородной поглощающей конечной марковской цепи с непостоянными по длительности шагами переходов // Теория и техника радиосвязи, 2014. №3. С.49-57.
8. Цимбал В.А. Нахождение границ применимости протокола типа X.25 с кумулятивной квитанцией в асимметричном радиотракте передачи данных при требуемой достоверности и оперативности доставки многопакетного сообщения / Цимбал В.А., Тоискин В.Е., Лягин М.А. // Фундаментальные исследования, 2017. №12-1. С.143-148.
9. Цимбал В.А. Информационный обмен в сетях передачи данных. Марковский подход: монография. М.: Вузовская книга, 2014. 144 с.
10. Казаков В.А. Введение в теорию марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи. М.: Сов. радио, 1973. 232 с.
11. Кемени Джон Дж., Снелл Дж. Ларк. Конечные цепи Маркова /Пер. с англ. М.: Наука, 1970. 272 с.
12. Тихонов В.И. Марковские процессы / В.И. Тихонов, М. А. Миронов. М.: Сов. радио, 1977. 488 с. с ил.
13. Потапов С.Е. Исследование процесса передачи информации по виртуальным маршрутам в радиосети системы связи с подвижными объектами // Теория и техника радиосвязи: Воронеж: АО «Концерн «Созвездие», 2019. Вып.3. С.11-23.
14. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.
15. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.



УДК 510.8

КОЛЛЕГИАЛЬНЫЕ МЕТАГРАММАТИКИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОГРАММ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧНО ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ОБСТАНОВКИ

COLLEGIAL METAGRAMS AND FEATURES OF THEIR USE IN THE FORMATION OF PROGRAMS FOR CREATING INFORMATION SECURITY SYSTEMS IN A DYNAMICALLY CHANGING ENVIRONMENT

Игорь Леонидович Борисенков
кандидат технических наук, доцент
председатель СПП РАН
Адрес: 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3
Тел.: +7 (499) 135-05-40

Ярослав Дмитриевич Смирнов
начальник отдела МОУ ИИФ
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93

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

Аннотация
В статье для решения комплексной проблемы формирования программ создания систем информационной безопасности в условиях динамично изменяющейся обстановки предложен новый класс метаграмматик – коллегиальные метаграмматики. Представлен вариант классификации коллегиальных метаграмматик, рассмотрены их основные особенности и особенности применения для решения рассматриваемой проблемы и различных задач.
Ключевые слова: коллегиальные метаграмматики, информационная безопасность, организационно-технические системы, мониторинг, классификация.

Summary
In order to solve the complex problem of creating programs for creating information security systems in a dynamically changing environment, the article proposes a new class of metagrammatic – collegiate metagrammatic. A classification option for collegiate metagramms is presented, their main features and application features for solving the problem under consideration and various tasks are considered.
Keywords: collegiate metagramms, information security, organizational and technical systems, monitoring, classification.

Современный этап развития организационно-технических систем обеспечения информационной безопасности (ИБ) характеризуется существенным повышением уровня требований к полноте, оперативности и достоверности контроля современных сложноструктурированных и распределенных информационно-коммуникационных систем при решении основных классов существующих и перспективных задач ИБ в условиях динамично изменяющейся обстановки (динамичного появления новых классов угроз, динамичного изменения информационно-коммуникационных технологий и инфраструктур, развития средств информационного противоборства и т.п.) [1-3].

Выполнение комплекса противоречивых требований к системам и средствам ИБ в этих условиях может быть достигнуто путем наращивания и оптимизации структуры и состава используемых автоматизированных средств мониторинга

и управления ИБ, расширения выполняемых функций, повышения быстродействия и уровня их адаптации к условиям эксплуатации, внедрения в используемые автоматизированные системы (АС) ИБ новых информационно-коммуникационных технологий, основанных в первую очередь на применении перспективных методов и средств мониторинга, в том числе структурно-лингвистических и нейросетевых методов, методов создания и использования ложных сетевых объектов, интеллектуализированных распределенных систем поддержки принятия решений и многих других [1].

При создании подобных систем на единой методологической основе системного подхода должны быть обеспечены разработка, создание, модернизация и интеграция большого числа распределенных организационно- технических подсистем и средств, осуществляющих мониторинг и решение широкого спектра существующих и ряда новых задач обеспечения ИБ оперативно приемлемое время и в конкретных зонах ответственности.

В условиях динамично изменяющейся обстановки при наличии жестких ресурсных ограничений на развитие подсистем ИБ, актуализируется комплексная проблема формирования перспективных программ создания АС обеспечения информационной безопасности для различных условий применения.

Современный этап решения данной проблемы характеризуется следующими основными особенностями:

- в рамках реализации концепции создания многофункциональных, адаптируемых, распределенных, с расширяемой архитектурой АС ИБ для государственных и крупных корпоративных систем происходит существенное усложнение структуры и состава подсистем специальных технических средств (СТС) ИБ, планируемых к разработке в рамках отдельных государственных и корпоративных программ (ГКП), ужесточение сроков их разработки и создания;
- при формировании разделов подобных программ в условиях динамично изменяющейся обстановки предъявляется ряд новых требований, в том числе по оперативности разработки и модификации подразделов ГКП, уровню автоматизации процесса формирования и интеграции разнородных исходных данных, унификации электронных форм разрабатываемых и выходных документов, расширению структуры подразделов ГКП за счет включения новых средств для решения внезапно возникающих задач обеспечения ИБ;
- в практику решения задач формирования программ рассматриваемого класса в РФ и за рубежом все более широко начинает внедряться широкий спектр перспективных аналитических, имитационных, логических, игровых, статистических, нейросетевых, структурно-алгебраических моделей и основанных на них методов и технологий, являющихся ядром создания перспективных автоматизированных систем мониторинга и интеллектуальных систем для решения рассматриваемой комплексной проблемы;
- пока в неполной мере созданы методические, алгоритмические и реализационные основы решения задач формирования сложноструктурированных программ создания АС ИБ в условиях динамично меняющейся обстановки, являющихся базисом решения большого числа типовых и новых задач формирования программ реального уровня сложности и позволяющих в полной мере обеспечить выполнение современных требований, предъявляемых к специальным системам ИБ.

В частности, проведенный анализ известных подходов к формированию программ создания АС ИБ, в том числе при формировании ГПВ [1,4,5] и программ создания и модернизации сложных организационно-технических систем ИБ ведущих стран мира показал, что в рамках большинства подходов сложно создать компактные, достаточно просто модифицируемые модели, отражающие одновременно структурные, статистические и алгебраические (параметрические) особенности данного класса динамично реконфигурируемых структурно-сложных программ. В рамках большинства подходов затруднено явное описание правил расширения архитектуры подобных программ при динамичном изменении условий применения АС ИБ и других факторов [1-3].

В то же время определенные предпосылки для решения рассматриваемых задач созданы в последние годы в рамках структурно-алгебраического подхода на основе атрибутных метаграмматик, предложенного и развитого в работах, ориентированных на описание и анализ сложных информационно-технических систем и отдельных подпрограмм их создания [1-3, 6-22].

В рамках данного подхода возможно создание компактных, легко модифицируемых единых продукционно-алгебраических описаний разрабатываемых и модифицируемых программ, автоматическая генерация и структурная модификация вариантов их построения по заданной системе правил. В то же время в прямой постановке для решения рассматриваемой комплексной проблемы задач данный подход не использовался, в его рамках пока рассмотрен только ряд формальных моделей на основе отдельных подклассов

метаграмматик для задач описания сложных технических комплексов и описания ситуаций. Применение данного подхода для решения рассматриваемой проблемы определяет необходимость дальнейшего развития общего теоретического аппарата метаграмматик и разработки нового их класса, учитывающего особенности рассмотренной комплексной проблемы.

В статье в качестве продукционного ядра решения рассматриваемой комплексной проблемы предложен новый теоретический аппарат коллегиальных метаграмматик (КМГ) – как основы эталонного структурно-алгебраического описания (моделирования) сложноструктурированных подразделов формируемых программ создания АС ИБ в условиях динамично изменяющейся обстановки.

КМГ как новый класс метаграмматик определен как формальная система определенным образом связанных коллегиальных грамматик:

$$G_k = \langle \{G_{ki}\}, W_k \rangle,$$

где $\{G_{ki}\}$ – множество коллегиальных графовых грамматик,

W_k – коллегиальный граф (схема метаграмматики), определяющий набор коллегиальных правил согласования (определенного рода коллегиальных отображений) между грамматиками (элементами грамматик) множества $\{G_{ki}\}$.

В данном случае, в отличие от обычных грамматик коллегиальные грамматики описывают правила формирования коллегиально-иерархических графов [2,7], соответствующих структурам динамично формируемых подпрограмм создания подсистем АС ИБ. Это позволяет моделировать в компактной форме множества вариантов структур программ создания подсистем АС ИБ, а также изменения в их структуре, происходящие при наращивании возможностей в рамках реализации концепции создания систем ИБ с адаптивной расширяемой архитектурой.

Аналогично коллегиально-иерархическая схема КМГ позволяет описывать пучки траекторий структурного развития (модификации) ГКП.

При этом, как показано в [2,7], могут быть преодолены сложности использования обычных графовых грамматик при переходе к использованию последних достижений при создании аппарата продукционной графодинамики, в частности, более полного использования в грамматиках функций подчинения графов (П-функций) и коллегиально-иерархических графов (КИГ).

Рассмотрим их особенности.

В данном случае пусть задано произвольное конечное множество X различных элементов подпрограмм $x \in X$ (для создания (модернизации) элементов и/или подсистем АС ИБ) и произвольная функция $\varphi(x) \in X$, отображающая множество X в себя. Аналогично [7] функции φ и множеству X может быть поставлен в соответствие ориентированный граф Γ_φ, определенный следующим образом: $y=\varphi(x)$, $x, y \in X$, если граф Γ_φ содержит смежные вершины с метками x и y, а дуга xy ориентирована из x в y. Поскольку множество X конечно и отображается в себя, каждая компонента связности графа Γ_φ содержит цикл (в частном случае цикл длины 1, т.е. вершину, охваченную петлей). В силу однозначности функции φ ни одна компонента связности графа Γ_φ не может содержать более одного цикла. Поэтому к каждой вершине цикла может быть подвешен только граф без циклов, т.е. дерево.

В общем случае граф Γ_φ может представлять собой произвольный набор компонент связности, в частности: ориентированный цикл с деревьями, корнями которых являются вершины цикла [2], а также его три частных случая – обычное дерево с корнем, охваченным петлей, изолированный цикл, изолированная вершина, охваченная петлей.

Обычно полагают [7], что множество X счетно, а подмножество $X^1_\varphi \subseteq X$ элементов x из X, для которых $\varphi(x) \neq x$, конечно. Обозначим через X_φ множество $X^1_\varphi \cup \varphi(X^1_\varphi)$, где $\varphi(X^1_\varphi)$ обозначает множество $\{\varphi(x) | x \subseteq X^1_\varphi\}$. Очевидно, что множество X_φ конечно и функция φ отображает множество X_φ в себя. Следовательно, на этом множестве функции $\varphi(x)$ соответствует конечный граф с описанными выше компонентами связности, кроме компоненты типа изолированной вершины с петлей.

Функция $\varphi(x)$ с указанными выше свойствами называется функцией подчинения или П-функцией [7]. Подмножество X_φ, такое, что $\varphi(x) \subseteq X_\varphi$, называется X_φ-множеством, соответствующим $\varphi(x)$. Ориентированные графы с помеченными вершинами, соответствующие Π-функциям, называются КИГ.

В целом, Π-функция со снятыми ограничениями относительно функций подчинения, рассмотренными в [7], определяет конечный КИГ на множестве вершин X_φ. Всем другим элементам $x \in X \setminus X_\varphi$ (их может быть бесконечное число) П-функции ставят в соответствие изолированные вершины, замкнутые петлей, которые будем считать находящимися вне структуры.

Пусть некоторой П-функции $\varphi(x)$ соответствует X_φ – множество, которое может быть представлено в виде разбиения на k минимальных подмножеств X^1_φ

$$X_\varphi = \bigcup_i X^i_\phi$$

(для $i \neq j$ $X^i_\varphi \cap X^j_\varphi = \emptyset$), $i=1(1)k$, отображаемых в себя, т.е. таких, что $\varphi(X^i_\varphi) \subseteq X^i_\varphi$.

Тогда каждое такое подмножество выделяет подмножество вершин i-й компоненты связности КИГ. Подобные подмножества аналогично [2] будем называть компонентными подмножествами КИГ.

Из однозначности П-функции следует, что подмножеству $X^{*i}_{\psi} \subset X^{i}_{\psi}$, такому, что $\psi(X^{*i}_{\psi})=X^{*i}_{\psi}$, в графе Г соответствует единственный цикл, содержащийся в i-й компоненте связности. Если же существует элемент $x_n \in X^{*i}_{\psi}$, такой, что $\psi(x_n)=x_n$, то $X^{*i}_{\psi}=x_n$ и других элементов, удовлетворяющих этому равенству, компонентное подмножество X^{i}_{ψ} не содержит. Такому компонентному подмножеству соответствует в графе Γ_{ψ} дерево, корнем которого является вершина xn с петлей.

Аналогично [7] X^{*i}_{ψ} называется коллегиальным циклом (циклом) i-го компонентного подмножества X^{i}_{ψ}, а элементы $x \in X_{\psi}$, коллегиальным циклам- коллегиальными элементами графа Γ_{ψ}. В случае $X^{*i}_{\psi}=\{x_k\}$ коллегиальный цикл j-й компоненты есть элемент x_k, замкнутый петлей, являющийся корнем соответствующего дерева.

Объединение всех коллегиальных циклов графа Γ_{ψ} является коллегиальным подмножеством

$$X^{*}_{\varphi}=\bigcup_{i} X^{*i}_{\phi}, i=1(1)k.$$

Структура КИГ установлена, если по заданной П-функции найдено его коллегиальное подмножество X^{*}_{ψ}, получено разбиение этого подмножества на циклы X^{*i}_{ψ} и выяснено, какие из них являются изолированными.

Чтобы найти коллегиальное подмножество X^{*}_{ψ}, достаточно рассмотреть последовательность множеств

$$X_o, X_1, X_2, \ldots, X_k, \ldots,$$

где $X_o=X_{\psi}$, $X_{i+1}=\psi(X_i)$, $i=1,2,\ldots$

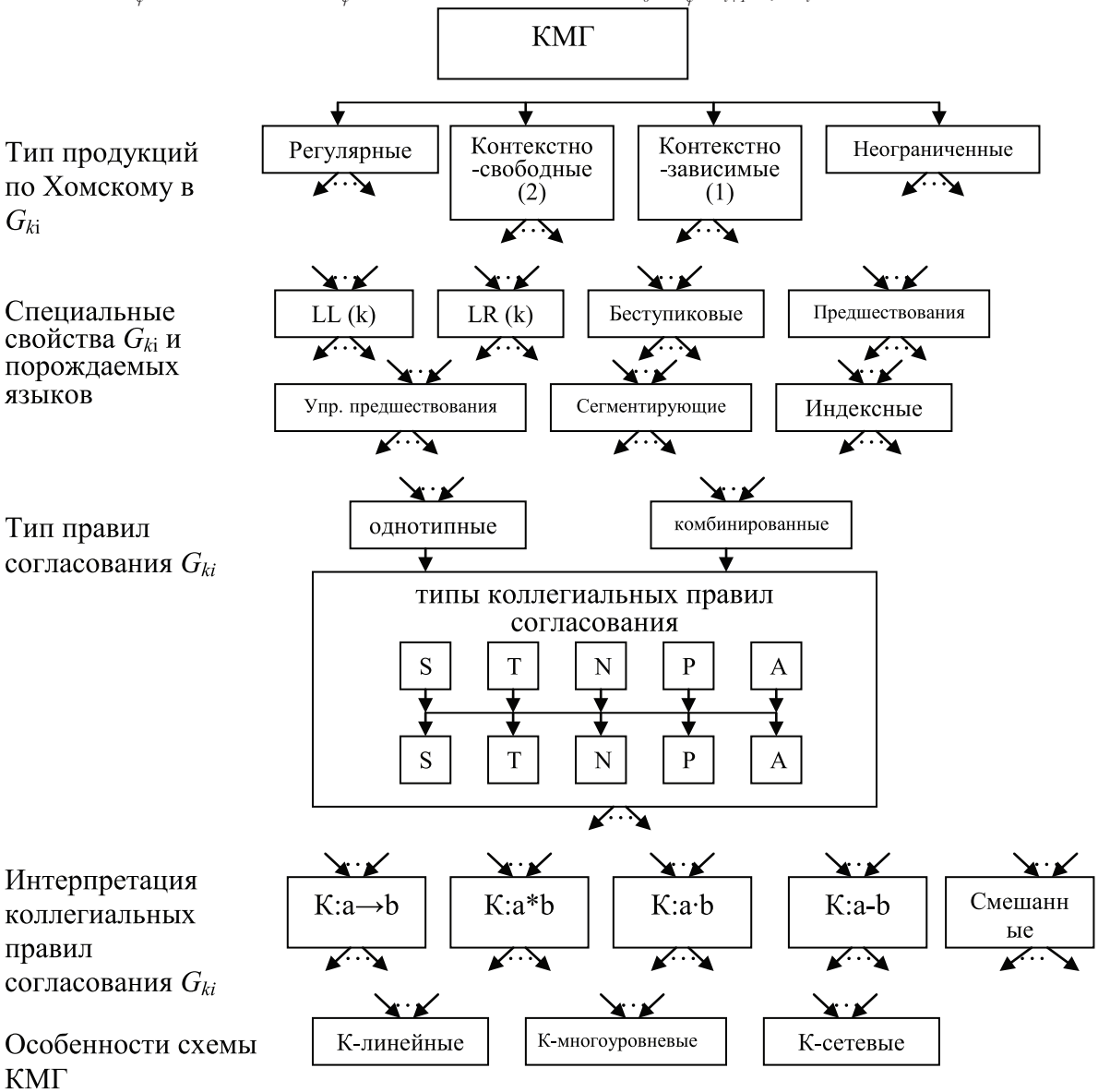


Рис. 1. Основные классы КМГ

Коллегиальное подмножество X^*_φ есть такое множество X_k, что $\varphi(X_k)=X_k$. Если КИГ содержит максимальную цепочку длины k, у которой нет общих дуг ни с одним из его коллегиальных циклов, то $X^*_k=X^*_\varphi$ и $X^*_\varphi \subset X_\varphi$.

Выделение всех циклов X^{*i}_φ коллегиального подмножества X^*_φ, т.е. нахождение разбиения множества X^*_φ на минимальные подмножества, такие, что $\varphi(X^{*i}_k)=X^{*i}_k$, возможно с использованием процедур тотального перебора всех подмножеств или сокращенного перебора, предложенной в [2].

С учетом специфики аппарата метаграмматик, для КМГ также может быть проведена классификация в соответствии с особенностями множеств $\{G_{ki}\}$ и W_k.

Фрагмент классификации КМГ представлен на *рисунке 1*.

В целом, проведенный анализ свойств основных классов КМГ показал, что КМГ не накладывают жестких ограничений на допустимое множество используемых разновидностей коллегиальных грамматик и коллегиальных правил согласования. В то же время для них проявляются важные системообразующие особенности, выводящие за рамки классов сложности входящих в них отдельных грамматик (своеобразная «эмерджентность» КМГ).

В частности, проведенный анализ показал, что:

- предложенный теоретический аппарат КМГ включает большое число разновидностей метаграмматик, которые могут быть применены для структурно-параметрического описания сложных автоматизированных комплексов и подсистем СТС ИБ и программ их создания и модернизации (развития);
- все подклассы КМГ замкнуты относительно основных алгебраических операций, что позволяет использовать модификации известных процедур синтаксического анализа в качестве процедурной основы методик формирования программ создания СТС ИБ;
- КМГ с дополнительными правилами согласования позволяют синтезировать более сложные варианты программ создания АС ИБ, чем входящие в них грамматики.

Также показано, что для решения проблемы формирования перспективных ГКП АС ИБ достаточно использовать регулярные и контекстно-свободные КМГ с комбинированными правилами согласования (KTS, KTP).

Данные классы МГ, при некоторой модификации, допускают применение достаточно эффективных процедур грамматического разбора анализа регулярных и контекстно-свободных МГ в качестве процедурной основы формирования программ создания специальной техники. Это создает основу для создания эффективных продукционных методов формирования ГКП создания АС ИБ в условиях динамичного изменения обстановки.

В целом, рассмотрение особенностей применения КМГ для решения комплексной проблемы формирования перспективных программ создания АС обеспечения информационной безопасности в условиях динамичного изменения обстановки показал, что они позволяют:

- существенно облегчить модификацию правил формирования перспективных программ создания АС ИБ, причем при локальных изменениях системы в КМГ изменяются лишь некоторые элементы грамматик или правил согласования;
- обеспечить наглядность и соответствие формального представления структуре формируемой программы создания АС ИБ;
- в явном виде задавать законы изменения структуры программ создания АС ИБ в условиях динамичного изменения обстановки.

Литература

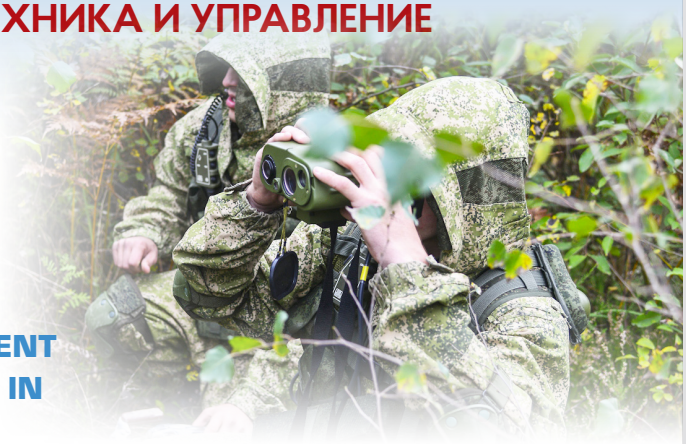
1. Рахманов А.А, Буренок В.М., Мельников И.Д. Государственная программа вооружения – этапы и принципы формирования // Военная мысль, 2000. № 1. С.17-21.
2. Буренок В.М., Журавлев А.В., Карпачев И.А. Становление и развитие методолгии обоснования системы вооружения ВС и программы вооружения государства // Военная мысль, 2002. №6. С.69-76.
3. Цвиркун А.Д. Структура сложных систем. М.: Сов.радио, 1975. 199 с.
4. Исследования по теории структур: Сб. научн. тр. АН СССР. М., 1988. 202 с.
5. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. М.: Наука, 1982. 200 с.
6. Городецкий В.И., Дрожжин В.В., Зверюков Б.В., Новожилкин А.В., Полищук Г.М., Юсупов Р.М. Многоуровневые структуры атрибутных грамматик для моделирования сложных организационных систем и их применение в задачах принятия решений // Научно-технический сборник (труды), 1983. Вып. 599. С.1-20.
7. Атакищев О.И., Царьков А.Н., Смирнов Д.В. Особенности применения метаграмматических сетей в задачах моделирования ситуаций при управлении системами информационной безопасности // Сборник трудов участников I Межведомственной научно-практической конференции «Телекоммуникации и кибербезопасность:

специальные системы и технологии». Серпухов: МОУ «ИИФ», 2019. Т.2. С.259-263.
8. Атакищев О.И., Гнедин Р.В. Модели на основе КИ графов для описания вариантов построения автоматизированных комплексов информационной безопасности // Сборник трудов участников I Межведомственной научно-практической конференции «Телекоммуникации и кибербезопасность: специальные системы и технологии». Серпухов: МОУ «ИИФ», 2019. Т.2. С.253-256.
9. Грибунин В.Г., Атакищев О.И., Атакищева И.В., Стародубцев П.Е. Основные особенности применения метаграмматик для формального описания вариантов сложноструктурированных стратегий запутывания злоумышленника в динамических ложных информационных системах // Сборник трудов участников I Межведомственной научно-практической конференции «Телекоммуникации и кибербезопасность: специальные системы и технологии». Серпухов: МОУ «ИИФ», 2019. Т.2. С.282-286.
10. Атакищев О.И., Добросердов О.Г. Особенности применения метаграмматик для формального описания структуры сложных организационно-технических систем // Сборник научных статей «Методы и средства систем обработки информации», Мин. общ. и проф. образ. РФ. Курск: КГТУ, 1997. С.5-14.
11. Аджемов С.С., Емельянов С.Г., Атакищев О.И., Макаренков С.А. Формальные грамматики, метаграмматики, грамматические сети и их применение при решении задач поддержки принятия решений. М.: МТУСИ. 2010.
12. Атакищев О.И., Козин Ю.Д. Метаграмматики как средство формального описания протоколов // Автоматика и вычислительная техника, 1989. №5. С.11-16.
13. Атакищев О.И., Козин Ю.Д., Фомин Я.А. Применение метаграмматик в задачах распознавания сложноструктурированных образов // Всероссийская конференция «Математические методы распознавания образов–6»: Тезисы докладов. М.: РАН, 1993.
14. Атакищев О.И., Козин Ю.Д., Фомин Я.А. Применение метаграмматик для формальной спецификации протоколов цифровой документальной связи // VI Всероссийская научно-техническая конференция «Однородные вычислительные системы, структуры и среды»: Тезисы докладов. М.: РНТОРЭС им А.С. Попова, 1993.
15. Городецкий В.И., Дрожжин В.В., Юсупов Р.М. Многоуровневые атрибутные грамматики для моделирования сложных структурно-динамических систем // Техническая кибернетика, 1986. №1. С.165.
16. Глушков В.А. Основы безбумажной информатики. М: Наука, 1987. 552 с.
17. Фу К.Структурные методы в распознавании образов. М.: Мир, 1978. 320 с.
18. Атакищев О.И. Свойства многоуровневых грамматик // Научно-технический сборник в/ч 45807-Р/II, 1988. №4(87).
19. Атакищев О.И. и др. Теория метаграммтик и ее применение при создании перспективных средств документальной связи // Симпозиум «Информационные процессы и технологии» в рамках международного форума «Информатизация-94»: Тезисы пленарного доклада. Курск, 1994.
20. Атакищев О.И., Емельянов С.Г., Николаев В.Н., Шиленков М.В. Моделирование процессов создания и управления распределенными коллективными геоинформационными системами / ТНТ, Старый Оскол, 2009.
21. Атакищев О.И., Козин Ю.Д. Метаграмматики как средство формального описания протоколов // Автоматика и вычислительная техника, 1989. № 5. С.11.
22. Атакищев О.И. Метаграмматики и особенности их применения для формального описания сигналов и протоколов документальных служб связи и передачи данных. Ч.1,2 // Телекоммуникации, 2001. №10, №12.

УДК 623.41

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ИНТЕРЕСАХ СУХОПУТНЫХ ВОЙСК

THE MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF ADVANCED AUTOMATED SYSTEMS IN THE INTERESTS OF THE LAND FORCES



Ольга Юрьевна Каширина
кандидат технических наук
профессор АВН
помощник вице-президента
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93

Елена Ивановна Каширина
кандидат исторических наук
член-корреспондент АВН
доцент кафедры компьютерных технологий
и информационной безопасности КубГТУ
Адрес: 350072, г. Краснодар,
ул. Московская, д. 2
Тел.: 8 (612) 255-84-01

Владимир Владимирович Кулаков
доктор исторических наук, профессор
действительный член АВН
профессор
Военный учебный центр
ФУ при Правительстве РФ
Адрес: 125993, Москва,
Ленинградский проспект, д. 49
Тел.: 8 (499) 943-98-55

Владимир Анатольевич Шаманов
Герой Российской Федерации
доктор технических наук
кандидат социологических наук
Председатель Комитета по обороне
Государственной Думы
Федерального Собрания РФ
Адрес: 103265, Москва, ул. Охотный ряд, д. 1
Тел.: 8 (495) 692-62-66

Аннотация

В статье приведены примеры существующих и перспективных российских автоматизированных комплексов и технических средств воздушной и радиолокационной разведки Сухопутных войск, основные направления их модернизации и эффективной эксплуатации.

Ключевые слова: робототехнические комплексы, роботизированные системы, беспилотный летательный аппарат, воздушная разведка, радиолокационное подавление, корректирование огня, разведывательно-ударные системы, радиолокационный комплекс, радиолокационная станция.

Summary

The article gives examples of existing and prospective Russian automated complexes and technical aerial and radar reconnaissance of the ground forces, the basic directions of their modernization and efficient operation.

Keywords: robotic systems robotic systems, unmanned aerial vehicle, reconnaissance radar suppression, correcting fire, reconnaissance radar complex, System shock, radiolocation station.

Одно из важных направлений совершенствования современных систем вооружения – значительное снижение роли человека и последующее отстранение его от непосредственного участия в боевых соприкосновениях. В современном бою (операции) будет превалировать применение беспилотных летательных и автономных морских аппаратов, информационно-управляющих систем, лазерное, электромагнитное, высокоточное оружие и боеприпасы, роботизированные комплексы (системы) и образцы вооружения и военной техники.

Во всех армиях мира используются роботизированные системы. Они применяются в интересах инженерно-саперных войск, частей и подразделений Ракетных войск и артиллерии, разведки, Военно-морских сил. Данные системы и комплексы, как правило, служат вспомогательными автономными объектами, однако, сопрягаясь со средствами управления и обеспечения различного уровня, они могут составлять и комплексные боевые роботизированные системы.

Широкое применение получили различные средства беспилотного транспорта. Беспилотные вертолеты оперативно доставляют боеприпасы и вооружение в боевые армейские подразделения. Данную беспилотную систему можно адаптировать на полное взаимодействие с любыми робо-

тизированными армейскими подразделениями, и полностью исключить присутствие человека на поле боя. Разрабатываются и принимаются на вооружение надводные и подводные морские суда, патрулирующие у границ акваторий, беспилотные самолеты и вертолеты, осуществляющие разведку противника, корректировку огня артиллерии и ударов ракетных комплексов оперативно-тактического назначения.

Сегодня более 100 типов беспилотных летательных аппаратов состоят на вооружении 50 стран, а 32 из них сами производят и предлагают для продажи БЛА различных классов [1].

Обращаясь к опыту войн и военных конфликтов конца XX – начала XXI веков, необходимо отметить, что современные боевые действия, характеризуются возрастанием роли информационного противоборства, использованием новых принципов и форм ведения боевых действий, повышением точности огня и ударов, сокращением времени выполнения боевых задач, широким применением современных систем разведки и управления, компьютерным моделированием боевых действий и обеспечением войск и сил флота. Поэтому общими направлениями вооружения является: интеллектуализация, уменьшение размеров и веса объектов, увеличение их полезной нагрузки, снижение энергопотребления, многофункциональность, автономность [2].

Одними из наиболее перспективных видов вооружения и военной техники, объединяющими в себе все перечисленные направления, в ближайшей перспективе станут робототехнические комплексы военного назначения. Их применение изменит способы ведения операций и технический облик перспективных систем вооружения, повысит эффективность выполнения боевых задач и значительно сократит боевые потери в личном составе [2].

В 2030 г. доля беспилотных средств составит 52% от количества экипажных боевых машин и 30% от общего состава боевых машин. При этом, по оценкам западных военных специалистов, боевые возможности подразделений возрастут в 2-2,5 раза [2].

Разработка робототехнических комплексов военного назначения требует существенного изучения основ наиболее важных технологий, обновления элементной базы для создания линейки перспективных робототехнических средств. Требованиями к современному роботу будут являться [3]:

1. базовый носитель – шасси, корпус или платформа любой конфигурации, предназначенные для применения в различных средах;

2. специализированное навесное (встраиваемое) оборудование в виде набора съемных модулей полезной (целевой) нагрузки;

3. средства обеспечения и обслуживания, используемые при подготовке к применению и технической эксплуатации робота.

Состав специализированного оборудования устанавливается исходя из основного назначения робота и может включать [2]:

- средства разведки;
- средства поражения;
- навигационное оборудование;
- специальное технологическое оборудование;
- средства телекоммуникации;
- специализированные вычислители с программно-алгоритмическим обеспечением;
- средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ);
- защитные средства.

Робототехника требует обеспечения и обслуживания, для этого в состав комплекса могут входить [3]:

- центр (пункт) управления, контроля и обработки информации;
- средства доставки, транспортировки и запуска;
- средства снаряжения, заправки и зарядки;
- средства подготовки специалистов;

Беспилотная техника уже несколько десятков лет используется для выполнения боевых задач. В настоящее время, в интересах Вооруженных сил комплексы с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) предполагается использовать для решения разнохарактерных задач в условиях, когда применение пилотируемой авиации невозможно или нецелесообразно. Это сильное противодействие средств ПВО противника, радиационное, химическое или бактериологическое заражение воздуха и местности в районе боевых действий, осуществление длительного наблюдения за противником и т.д.

Исходя из вышесказанного, современные комплексы с БПЛА должны выполнять разведывательные задачи [2]:

- ведение воздушной разведки;
- корректировка огня артиллерии;
- целеуказание высокоточному оружию (подсветка целей или наведение по радиочастоте);
- оценка результатов нанесения ударов;
- длительное воздушное патрулирование заданных районов;
- определение границ и масштабов радиационного, химического, бактериологического загрязнения территорий (акваторий);

Важнейшей функцией комплексов должна стать задача поражения противника различными средствами.

Кроме того, большое значение будет придаваться решению специальных задач. Как то: радиолокационное подавление объектов противника, ретрансляция управляющих сигналов и команд, создание ложных целей для осложнения воздушной обстановки [2].

Анализ опыта применения БПЛА в современных военных конфликтах позволяет сделать вывод, что наличие полной, оперативной и достоверной информации о противнике является необходимым условием успешного ведения боевых действий.

Как видно, приоритетным направлением развития БПЛА является создание разведывательных и разведывательно-ударных комплексов (систем, контуров) на их основе [2]. Новые комплексы с БПЛА различных классов и назначений должны образовывать единую систему беспилотных средств, с высокой степенью унификации на основе общих принципов построения.

Поражение объектов (целей) должно происходить на дальних рубежах в минимально короткие сроки из-за высокой маневренности противника. Ударные и огневые подразделения сухопутных войск современных армий обладают высокоманевренными средствами, способными в короткое время и с высокой точностью выполнить боевую задачу. В этой связи и противодействие данным средствам должно быть соответствующим.

Все это заставляет корректировать сложившуюся практику организации управления войсками, ведения разведки и планирования боевых действий. Новые разведывательно-ударные и огневые комплексы должны обладать соответствующими техническими характеристиками. Необходимо увеличить глубину проникновения на территорию противника и дальность разведки, с высокой точностью определять координаты объектов поражения, сократить время обмена информацией и позволить получать достоверные данные о противнике без доразведки объектов [4].

Говоря об имеющихся на вооружении российской армии технических средствах артиллерийской разведки (оптико-электронные и радиолокационные средства), следует заметить, что в условиях ведения современного общевойскового боя (операции) они не в полной мере соответствуют вышеуказанным требованиям к разведывательным комплексам. Их модернизация и модификации должна обеспечить увеличение дальности разведки. По мнению специалистов, к настоящему времени она не позволяет вскрывать и корректировать достаточное количество первоочередных объектов поражения противника (35-40%), особенно на дальних подступах [5].

Одновременно следует повысить точность определения координат объектов с целью выполнения боевых задач минимальным расходом боеприпасов. При этом круговое вероятное отклонение боеприпасов от цели не должно превышать 30 метров для минометов и полевой артиллерии и до 60 метров для реактивных систем залпового огня [4].

Необходимо сократить время цикла «разведка - передача данных - поражение» как минимум в 2 раза. Для развертывания в боевой порядок подразделения ствольной и реактивной артиллерии необходимо до 3 – 5 минут. Ракетный комплекс тактических (ТР) и оперативно-тактических ракет (ОТР) занимает позиционный район и готовится к пуску 4 – 16 минут. Время на выполнение огневой задачи (удара) в среднем составляет от 0,5 до 10 минут для артиллерийских подразделений и от 1 до 5 минут для ТР и ОТР. Однако уничтожить эти цели требуется именно во время занятия боевого порядка, чтобы они не успели воздействовать на наши войска.

В связи с вышеизложенным становится очевидным, что для разведки объектов поражения наиболее целесообразно использовать комплексы БПЛА [5].

С этой задачей могут справиться имеющиеся в Российской армии БЛА Орлан-10, Гранат-2, Гранат-4 и комплекс воздушной разведки «Типчак».

В модифицированных комплексах с беспилотными летательными аппаратами «Типчак» продолжительность полета увеличена до восьми часов, высота полета с 200 - 3000 м увеличилась до 4500 м, БПЛА стал более тихим – снижены производимые шумы, дальность его действия увеличилась с 40 до 70 километров.

Комплекс «Типчак» предназначен для ведения разведки в любое время суток, определения координат объектов в режиме реального времени. «Типчак» укомплектован дистанционно пилотируемыми летательными аппаратами ДПЛА многоразового применения. Они запускаются с транспортно-пусковой машины (КАМАЗ). В комплекс входит шесть беспилотных аппаратов (БЛА). Кроме того, в состав комплекса входят:

- антенная машина;
- операторская машина,
- транспортно-пусковая машина,
- машина технического обеспечения,
- шесть БЛА.

Тактико-технические характеристики комплекса «Типчак»:

- максимальная дальность полета – до 70 км,
- вес БПЛА- 25 кг,

- взлетный вес – до 35 кг,
- максимальная скорость – 190 кг,
- максимальная высота полета – 4500 м.

В Сирийской Арабской Республике (САР) они обеспечивали поиск, обнаружение, распознавание и определение координат объектов с высокой точностью в требуемых районах и на определенных маршрутах на глубину 20-30 км в любое время суток.

Опыт их применения показал необходимость введения комплексов БПЛА в штаты соединения (дивизии, бригады). При этом ликвидируются промежуточные звенья передачи информации и управления оружием, что в целом значительно повысит боевую результативность разведывательно-огневых комплексов (систем).

На уровне общевойскового соединения и объединения перспективным направлением является разработка радиолокационных станций (РЛС) артиллерийской разведки. В настоящее время в артиллерии ВС РФ имеются радиолокационные станции разведки движущихся целей, радиолокационные комплексы (РЛК) и автоматизированные звукометрические (тепловизионные) комплексы (АЗК) разведки стреляющих батарей. Разрабатываются и новые комплексы разведки (1Л261).

Однако укомплектованность данными средствами разведки и доля новых средств разведки пока незначительная, а их технические характеристики не позволяют в полной мере выполнять поставленные задачи.

Новый артиллерийский радиолокационный комплекс 1Л261 предназначен для разведки огневых позиций минометов, артиллерии, реактивных систем залпового огня и стартовых позиций тактических ракет противника по выстрелу, а также для корректирования стрельбы (пусков) своих средств поражения противника (артиллерии, минометов, РСЗО, ТР).

Для батальонного звена разработана многофункциональная РЛС разведки минометов и движущихся наземных целей 1Л271. Она определяет координаты стреляющих минометных батарей или точки разрыва мины (при корректировке стрельбы своей артиллерии). РЛС перевозится на бронеавтомобиле (Тигр, Тайфун) ее расчет состоит из трех человек. Для оперативной смены позиции станция поблоково переносится в специальных укупорках-вьюках.

Другая перспективная разработка – малоразмерная переносная РЛС разведки наземных целей (изделие 1Л277). Это РЛС разведки наземных целей малой дальности с фазированной антенной решеткой. Она предназначена для обнаружения движущихся одиночных и групповых

Таблица 1.
Укомплектованность средствами разведки [6]

Средства разведки	Укомплектованность ср-вами разведки	Доля новых ср-в разведки
средства оптической разведки	41%	25%
средства звуковой разведки	84%	0%
средства радиолокационной разведки огневых позиций	80%	3%
средства радиолокационной разведки движущихся целей	78%	0%

Таблица 2. Сравнительная оценка с зарубежными аналогами по относительному коэффициенту соизмеримости основных ТТХ [6]

Образцы средств технической разведки Ракетных войск и артиллерии / коэффициент соизмеримости основных ТТХ			
ПРП-4 (РФ) / 1,0	АЗК-7 (РФ) / 1,0	АРК «Зоопарк» / 1,0	СНАР-10 (РФ)/ 1,0
FISTV (США) / 1,7	SMA085 (США) / 1,8	AN/TPQ-37 (США)	RATAK (Франция) / 1,4

наземных, надводных, неподвижных наземных и надводных целей, а также для корректировки стрельбы артиллерии и минометов. Кроме того, она способна обнаружить низколетящие беспилотные летательные аппараты и позволяет наряду с подвижными целями и разрывами артиллерийских снарядов разведывать неподвижные малоразмерные цели.

РЛС 1Л277 обеспечивает автоматическое сопровождение до 20 целей с одновременной разведкой в указанном секторе, распознает цели (человек-технический объект) и определяет их координаты. Для скрытности работы в станции предусмотрен режим быстрой перестройки частоты, усложняющий противнику ведение радиотехнической разведки и препятствующий постановку прицельной активной помехи.

Анализ представленных образцов РЛС нового типа показывает, что совершенствование технических средств разведки уже на уровне соединения позволит повысить площадь ведения разведки к площади зоны ответственности соединения до 50 %, что, в свою очередь, обеспечит ОПП на избранном направлении.

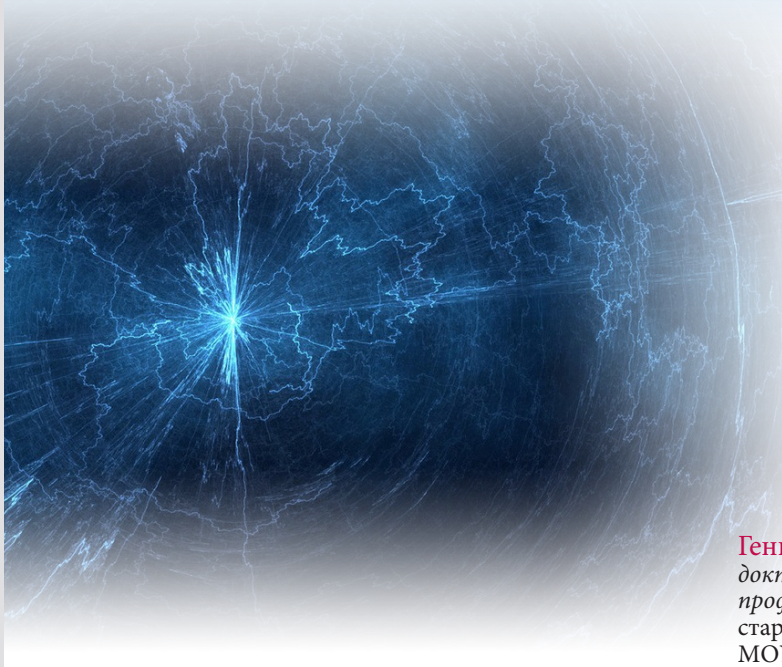
Таким образом, беспилотные и роботизированные комплексы наземной разведки в интересах Сухопутных войск становятся инновационным инструментом повышения боевых возможностей Вооруженных сил всех стран. Благодаря заботе руководства Российской Федерации отечественные разведывательно-ударные системы не отстают по своим характеристикам от западных аналогов. Несмотря на высокую стоимость

и технические риски многих проектов и исследований, существует настоятельная необходимость проводить дальнейшую разработку перспективных роботизированных и беспилотных средств вооруженной борьбы.

Введение в практику разведывательно-огневых и разведывательно-ударных комплексов требует передачи в штаты общевойсковых соединений и объединений имеющихся средств разведки и управления (БПЛА, роботизированных систем, РЛС, РЛК). Это сократит время процесса «разведка – поражение» и потери в личном составе наших подразделений.

Литература

1. Половинкин В.Н. Состояние и перспективы развития боевых роботизированных систем // Экспертный союз. [Электронный ресурс]. №5. 26. 09. 2012.
2. Буренок В. М., Ивлев А. А., Корчак В. Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы планирование, реализация. – Тверь: Издательство ООО «КУПОЛ», 2009. 624 с.
3. Попов С. А. Робот стреляет первым // Военное обозрение [Электронный ресурс]. 28.02.2016. – URL: https://topwar.ru/91499-robot-strelyaetpervym.html
4. Матвеевский М.М., Сафонов М.А. Организация и ведение разведки в интересах боевого применения Ракетных войск и артиллерии в современных операциях // Военная мысль, 2017. №10.
5. Литвиненко В.И. Союз земли и воздуха // Армейский сборник, 2018. № 2.
6. Состояние и перспективы развития ракетных войск и артиллерии. Начальник разведки штаба РВиА округа. По материалам презентации. [Электронный ресурс]. URL: https://present5.com/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-razvedki-v-interesax-raketnyx/



УДК 539.182

СИММЕТРИЙНО-ГРУППОВЫЕ РАСШИРЕНИЯ АКСИОМ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ В ДИНАМИКЕ КВАНТОВЫХ СПИНОВЫХ СИСТЕМ

THE SYMMETRY-GROUP EXPANSION OF THE QUANTUM PHYSICS AXIOMS IN THE QUANTUM SPIN SYSTEM DYNAMICS

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

Илья Юрьевич Капитонов
студент
Филиал «Протвино»
Государственного университета «Дубна»
Адрес: 142281, Московская обл.,
г. Протвино, Северный проезд, д. 9
E-mail: kapitonov091291@gmail.com

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

Обсуждаются вопросы расширения основ квантовой физики и квантовой информации за счет обобщения Гильбертовых пространств над полями n(n=3,4,…)-арных комплексных чисел. В таких подходах вновь сформулированные понятия Эрмитового сопряжения и n-арной унитарности открывают новые симметрийные алгебры и группы, которые могут быть существенными в динамике многокубитовых и кутритовых квантовых состояний, которые определены в сложных для анализа и восприятия многомерных пространствах. Многомерная геометрия таких квантовых состояний представляет в целом общие трудности как для квантовой теории, так и для теории квантовой информации. В статье рассмотрена структура не Абелевой тернарной алгебры с соответствующей группой симметрией, которая могла бы быть использована при описании как геометрии кутритовых состояний, так и для открытия новых возможностей квантового запутывания и новых физических явлений за пределами обычной квантовой физики.

Ключевые слова: квантовая физика, квантовая информация, алгебры, группы, кубиты, кутриты.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Summary
The problems of expanding the foundations of quantum physics and quantum information due to the generalization of Hilbert spaces over fields n(n=3,4,...)-ary complex numbers are discussed. In such approaches, the newly formulated concepts of Hermite conjugation and n-ary unitarity open new symmetry algebras and groups, which can be significant in the dynamics of multi-qubit and qutrit quantum states, which are defined in multidimensional spaces that are difficult for analysis and perception. The multidimensional geometry of such quantum states in general presents general difficulties for both quantum theory and the theory of quantum information. The article discusses the structure of non-Abelian ternary algebra with a corresponding symmetry group, which could be used to describe both the geometry of qutrit states, and to discover new possibilities of quantum entanglement and new physical phenomena outside of ordinary quantum physics.
Keywords: quantum physics, quantum information, algebras, groups, qubits, qutrits.

Создание квантовой физики явилось одним из самых выдающихся творений на пути познания человеком мироздания в 20 веке. Оно основывалось на передовых исследованиях в период Европейского Ренессанса явлений света, электричества, магнетизма и структуры атомов, и, соответственно, на мощном прогрессе в постижении глубоко абстрактных вопросов математики и геометрии, доступное исключительному абстрагированному уму и интеллектуальной интуиции. Эпохальными вехами, значимыми для открытия начала квантовой физики можно считать 1925-1927 г.г., когда появились революционные работы Гейзенберга, Шредингера, Дирака и др. [1-4], которые положили начало большим спорам и дискуссиям среди физического сообщества того периода (Сольвеевский конгресс 1927 года). Мало сказать, что большинство физиков встретило буквально в штыки абсолютно необычный язык квантовой физики, пришедшей на смену всем понятного языка классической механики. Для многих физиков рождение квантовой механики стало драмой на всю жизнь, так как понять или просто принять ее, было необычайно трудно для сознания исторически воспитанного на интуитивно естественных законах классической физики.

Но остановить победное шествие этой необычной науки уже было невозможно. На ее базисе появились атомная физика, затем и ядерная физика, которые обозначили огромный успех нерелятивистской квантовой механики с областью применения при скоростях рассматриваемых объектов много меньше скорости света $v<<c$. Теория относительности Галилея с соответствующей группой симметрии (группа Галилея), включающей группу вращения SO(3), с абсолютизмом времени вошла в нее как составляющая часть. При больших скоростях $v\sim c$ фундамент релятивистской квантовой механики стоит на расширении группы SO(3), до группы Лоренца SO(1,3), в которой уже скорость света становится абсолютизированным параметром, характеристикой электромагнитного вакуума, что приводит к расширению понятия теории относительности Галилея до специальной теории относительности. Знаменательным событием, связанным с появлением "релятивизма", стало открытие античастиц. Дальнейший прогресс в развитии релятивистской квантовой механики воплотился уже в конце 40-х и начале 50-х годов в создании теории квантовых полей [5], революционное начало которого зиждилось на вторичном квантовании изучаемого в микромире объекта (электрон описывается уже не волновой функцией, а оператором). Все эти три теории – нерелятивистская и релятивистская механики вместе с теорией квантовых полей имеют современную аббревиатуру как квантовая физика, область применения которой в микромире простирается от $\sim 10^{-8}$см – квантовая информация [6-12] до $\sim 10^{-17}$см (?) – физика сверхвысоких энергий (см. например [13]).

Переход от квантовой механики к квантовой теории поля на деле означал переход от атомной и ядерной физики к физике кварков и лептонов.

Геометрические основы современной квантовой физики кварков и лептонов Стандартной модели могут быть представлены в виде пространства-времени D=(3+1)-четырехмерного континуума. Свойства симметрии этого континуума основаны на пространственно-временной симметрии группы Лоренца-Пуанкаре, а соответствующая квантовая теория построена на основе групп внутренних симметрий

$$SU(3^c)\times SU(2)_I\times U(1)_Y,$$

отвечающих за описание сильных – $SU(3^c)$ и электрослабых взаимодействий – $SU(2)_I\times U(1)_Y$, нарушающихся на масштабах $r\sim 1/M_H\sim 10^{-15}$ *см* ($M_H\approx 125 ГэВ$ – масса бозона Хиггса) до Абелевой калибровочной симметрии электромагнитных взаимодействий:

$$SU(2)_I\times U(1)_Y --> U(1)_{EM}.$$

В настоящее время один из главных теоретических вопросов к Стандартной модели касается ее геометризации [13-18]. Под геометризацией мы понимаем выявление определенных связей между геометрией пространства-времени с законами движения в ней, описываемыми глобальными и локальными внешними сим-

метриями, и фундаментальными компонентами материи и излучения, перемещающихся в геометрии этого пространства-времени, квантовыми свойствами и взаимодействием материальных объектов, описываемых локальными и глобальными симметриями, уже называемыми внутренними симметриями. В рамках геометризации Стандартной модели можно понять такие квантовые числа кварк-лептонной материи, как изотопический спин, цвет кварков, число кварк-лептонных поколений и соответствующие им внутренние симметрии. В нашем понимании геометризация СМ может означать решение такой важной проблемы, как взаимосвязь между внутренними и внешними ключевыми симметриями, которая могла бы объединить указанные внутренние квантовые свойства материи с геометрическими особенностями или структурой пространства-времени.

На наш взгляд, вопросы расширения основ квантовой физики могут возникнуть на пути протонно-нейтронного и даже электронного квантования, поиска геометрического начала 3-цветовой природы кварков и трех поколений кварков-лептонов, уникальных свойств нейтрино и необычной квантовой природы темной материи. Квантование протон-нейтрона можно сравнить с драматической историей квантования атома водорода в 1925-27 гг., когда мы стали свидетелями создания нового языка для описания невидимых в то время явлений микромира. Установление взаимосвязи между особенностями симметрии геометрии пространства-времени и квантовыми свойствами фундаментальной материи, выраженными внутренними симметриями, могут дать полную картину строения видимой Вселенной.

Идеологически, естественно, можно изучать Вселенную либо с точки зрения геометрии пространства-времени и, прежде всего, поиска новых дополнительных размерностей $D=3s+1t+(\ldots)>4$, либо из детального изучения квантовых свойств уже известных частиц и поиска новых частиц с еще неизвестной пока сигнатурой их проявления. Невидимые дополнительные размерности могут иметь совершенно новые топологические свойства, размеры и различные сигнатуры

$$D=m\cdot s + n\cdot t + k\cdot t',$$

а скрытые симметрии могут проявляться в новых квантовых свойствах частиц и в новых пространственно-временных волновых движениях. Открытие необычного нового явления подразумевает рассмотрение расширения принципов специальной теории относительности, которая сформулирована на таком важном свойстве вакуума, как абсолютизм скорости света, то есть теории, связанной с электромагнитно заряженным веществом, описываемым Абелевой группой $U(1)_{EM}$ и спиновым веществом, соответствующим неприводимым представлениям группы $SU(2)$ $(SL(2,C))$.

Некоторые физические свойства такого вещества могли бы подсказать нам, как объяснить исключительные свойства трех нейтрино или проблему конфаймента (запирания) "цвета" внутри адрона. Нейтрино, из-за универсального $(V–A)$-механизма слабых взаимодействий, могут быть связующим звеном между мирами темной и видимой материи. Основываясь на таких свойствах, мы предложили $D=6$ размерную модель трех нейтрино, в которой все три нейтрино объединены в единый волновой 6-мерный спинор [14-17]. При таком подходе нейтрино каждого сорта имеет свой собственный тернарный заряд, который может быть связан с Абелевой локальной калибровочной группой, которая рождает «невидимый свет» Вселенной. В такой картине нейтрино имеет дополнительные возможности пространственно-временных волновых свойств, что можно проверить в экспериментах с дальними нейтрино. С другой стороны, дальние нейтрино могли бы быть использована для дальней телепортации как летающие кутриты. Многомерное обобщение группы Лоренца может подразумевать существование еще одного буста связанного с излучением нейтринного света который так же могла бы излучать и темная материя живущая в этом пространстве. Принцип максимальности скорости света будет действителен только для заряженного вакуума, то есть для частиц с электромагнитным зарядом. Темная материя и/или стерильная праматерия могут распространяться с гораздо большей скоростью [13-18]. Эта праматерия сама по себе могла бы излучать невидимый свет и быть источником образования темной материи [19], структурным базисом которой могла являться праматерия.

В современный период, несмотря на значительные экспериментальные достижения в физике сверхвысоких энергий, которые подтвердили ряд важнейших предсказаний теоретических воззрений 60-х годов (векторные промежуточные массивные бозоны $W^{\pm}$, Z^0, осуществляющие слабые взаимодействия между адронами (мезоны и нуклоны) и лептонами в рамках электрослабой модели, Хиггсовский бозон, кварковая спектроскопия мезонов и нуклонов, существование новых кварк-лептонных семейств (наряду с нейтрино-"электронным" (ν_e) – нейтрино "мюонное" (ν_μ), наряду со "странным" s-кварком

– "очарованный" *c*-кварк), возникли и новые теоретические проблемы, которые в течение довольно длиельного промежутка времени так и не нашли своего решения. Так в связи с неоткрытием свободных кварков возникла проблема запирания цветных состояний (и кварков в том числе) в адронах. Проблема появления трех кварк-лептонных поколений и связь с нарушением CP-четности (гипотетические горизонтальные взаимодействия с калибровочной группой $SU(3H)\times U(1H)$). Теории великого объединения и распад протона. Теория 3-х нейтрино. Все это множество теоретически непонятых проблем привело к множеству свободных параметров в так называемой Стандартной Модели всех элементарных состояний- кварков и лептонов во всей динамической картине их взаимодействий – сильных, электромагнитных и слабых.

Главным для нас является то обстоятельство, что перед физиками, исследующими явления и процессы как в области нанометрии $10^{-9}-10^{-12}$ м, так и в фермиметрии $10^{-15}-10^{-18}$ м, ряд возникших проблем носят общий характер. Более того, скрытые симметрии и геометрические концепции малых и больших размерностей возникли и в классической, и в квантовой механике, и в теории квантовых полей. Но и будущее квантовой информации, ресурсы которой заложены в квантовой запутанности, оказались связаны с многомерными пространствами, описывающими квантовые состояния n-кубитов (кубит = двухуровневая квантовая система) (n=2,3,…,1000,…) и/или m=1,2,3...-кутритов (трехуровневые квантовые системы), на которые в конечном итоге действуют алгоритмы. Понимание симметрийно-геометрических свойств таких пространств важны для объяснения природы запутанных состояний, явления, полностью отсутствующего в любой неквантовой геометрической структуре. Геометрические аспекты традиционной квантовой теории и квантовых вычислений привели к детальному изучению квантовой геометрии и ее связи с запутанностью. Появилась обширная картина геометрии обычных квантовых вычислений, показывающая, что сложные проективные пространства $CP^{(2^n-1)}$ точно воплощают неприводимые состояния кубитового элемента квантовой цепи и, кроме того, позволяют явное изучение реальных путей в неприводимое пространство состояний, соответствующее идеализированным квантовым операциям.

Интересующий нас вопрос о геометрии кутритов – 3-х уровневых квантовых систем (кукарты, куквинты и выше) и их свойствах представляет исключительный интерес как во всей протяженной области традиционной квантовой физики, так и в квантовой информации. Так, чтобы управлять кутритом, прежде всего, надо знать его геометрический образ и симметрии, которые стоят за этим образом.

Исходя из устоявшихся базисных аксиом квантовой теории и нашего понимания ее возможного расширения, "темная" материя могла бы иметь другие спиновые свойства, отличные от неприводимых представлений спиновой $SU(2)$-группы, и которые могли быть связаны с существованием экзотических симметрий и геометрий [20-24,26,27]. Так, в тернарной модели нейтрино появляется возможность открытия новых спинорных структур, которые мы связываем со специфическими спинорными свойствами праматерии или темной материи [14].

В качестве иллюстрации мы приведем пример как может измениться интерпретация нейтринного кутрита – 3-х нейтринных состояний – из предположения, что пространственно-временные свойства 3-х нейтрино отличны от свойств заряженных кварков и заряженных лептонов, и 3-нейтринное состояние (вместе с темной материей) принадлежит $D=6$-мерному пространству. Так, мы можем рассматривать три нейтрино как единое поле в пространстве размерности $D=6$, т.е. с двумя, тремя дополнительными некомпактными измерениями, и, в соответствии с тернарной комплексностью, можно представить осуществление (реализацию) нейтрино как 3-спинор, описывающий систему трех нейтринных состояний: ν_e – нейтрино-электронное, ν_μ – нейтрино-мюонное, ν_τ – нейтрино-тау, со следующими тремя операциями «зарядового сопряжения» (новый нейтринный свет): частица-античастица-антиантичастица (тернарная модель 3-х нейтринных состояний по аналогии с 4-мерной дираковской теорией электрона и позитрона). Мы ввели операции тернарного сопряжения. Такое представление трех нейтринных состояний в $D=6$-мерии предполагает существование новой Абелевой калибровочной тернарной группы, обуславливающей динамику излучения темного «света» [13-18].

От теории чисел к новым симметриям в квантовой физике и за ее пределами

Аппарат $4D$-мерной квантовой теории поля, созданный в 50-х годах, и успешно применяющийся в физике частиц и космологии, требует интенсивной разработки геометрических путей решения, ассоциированных с нетривиальным расширением $D=3+1$ пространства-времени Минковского. В течение последних лет мы связывали это с поиском новых тензорных структур в многомерных пространствах $D\geq 5$ на основе те-

орий новых гипер-чисел, новых алгебр и новых симметрий. Естественно, этот путь приводит к расширению аксиом квантовой физики [20-27]. Мы имеем в виду теорию чисел – теорию рефлексивных чисел, а затем и циклических комплексных чисел C_n. Большой набор несимметричных пространств определяется группами голономии, которые непосредственно связаны с известными бинарно-нормированными дивизионными алгебрами, т.е. R, C, H, O. Примечательно, что бесконечный набор компактных комплексных пространств с $SU(n)$-голомонией ($n=1,2,3,\ldots$) связаны с теорией рефлексивных чисел. Для более подробного изучения алгебраической структуры полиномиальных уравнений типа Калаби-Яу CY^n обратимся к теории C_n – циклических комплексных чисел, что является более естественным продолжением C – комплексных чисел, чем современная теория нескольких комплексных переменных. Основываясь на циклической C_n – комплексификации евклидовых R^n пространств мы строим бесконечный ряд n-мерных гиперповерхностей с $n=2,3,\ldots$ Мы определяем Абелевы транзитивные групповые симметрии таких пространств и некоторые топологические свойства для любого измерения. Представлен гиперкомплексный анализ для циклически-голоморфных функций в M C^n-пространствах, позволяющий получить гипер-уравнения Коши-Римана / гипер-Лапласа для «циклически-голоморических / циклически-гармонических» функций и Абелевы ($n-1$) размерности инвариантные уравнения для n-мерных спиноров. Мы можем проиллюстрировать расширение теоремы Пифагора для любого n-мерного симплекса в R^n-евклидовом пространстве. Вопросы о существовании трех цветовых кварковых симметрий и трех кварклептонных поколений могут иметь природу, связанную с новыми экзотическими симметриями за пределами алгебр / групп Картана-Киллинга-Ли. Наш длительный поиск этих симметрий начался с классификации пространств Калаби-Яу на основе n-мерных алгебр рефлексивных проективных чисел и привел нас к построению комплексных и гиперкомплексных чисел, в рамках которых мы строим новые Абелевы и НеАбелевы симметрии [24-27]. Мы построили бесконечную цепочку таких групп $U_1(a_1,\ldots,a_{n-1})$ со свойствами, обобщающими свойства комплексных чисел, в том числе важнейшее направление их развития – голоморфный анализ, который привел нас к обобщению квадратичных уравнений Лапласа для двоичных $n=2$ гармонических функций. Соответствующее обобщение уравнения Лапласа для n-мерного голоморфного анализа дает нам однородные дифференциальные уравнения порядка n для гармонических функций, инвариантных по отношению к этим Абелевым n-мерным группам $U^{(n-1)}$ и обладающими новыми пространственными свойствами.

Геометрическую природу этих Абелевых групп симметрии возможно искать в теории Абелевых n-арных комплексных чисел. В поисках новых геометрических многообразий и связанных с ними групп (как внешних, так и внутренних) симметрий и их представлений в рамках расширения хорошо изученной теории бинарных $n=2$ комплексных и гиперкомплексных чисел по теории n-арных комплексных (Абелевых) и гиперкомплексных (НеАбелевых) чисел с $n>2$.

Согласно Абелевой C_n-циклической групповой комплексификации евклидовых R^n-пространств, следуя этому методу, мы, последовательно, построили ряд – $n=3,4,5,6,12$ из n-мерного (n-1) параметра Абелевых групп-гиперповерхностей с $n=2,3,\ldots$ Мы определяем Абелевы группы симметрий для таких пространств. N-арные комплексные числа приводят к двум изоморфным, n-арным «унитарным» и «ортогональным», Абелевым (n-1)-параметрическим группам симметрии, которые могут быть основой для описания невидимого света вселенной. Особенностью нашего подхода является появление некомпактных групп Абелевой симметрии [21-27].

Теория Абелевых комплексных чисел основана на комплексификации евклидова R^n-пространства

$$z=x_0q^0+x_1q^1+\ldots+x_{(n-1)}q^{(n-1)},$$

использующей $C_n=q_0,q,\ldots,q^{(n-1)}$: $q^n=\pm q_0$, q_0 – единица группы их n-одномерных неприводимых представлений для операций сопряжения

$$\tilde{q}=q^{\{1\}}=jq,\ \tilde{\tilde{q}}=q^2=j^2q,\ldots,q^{\{n-1\}}=j^{\{n-1\}}q;$$
$$q^{\{n\}}=q;\ j=e^{(2ni/n)},$$

которые позволяют определить норму $|z|^n=z\cdot z^{\{1\}}\cdot\ldots\cdot z^{\{n-1\}}$, с композитными свойствами группы $||z_1\cdot z_2||^n=||z_1||^n\ ||z_2||^n$, что позволяет для n-арных комплексных чисел с единой нормой определять ($n-1$)- параметрические Абелевы группы. Следуя Абелевой C_n- комплексификации евклидовых пространств R^n, мы последовательно строим ряд Абелевых ($n-1$)- инвариантно-параметрических гиперповерхностей

$$|z|^n=F_0(x_0,\ldots,x_{(n-1)})=1$$
$$для\ n=3,4,5,6,\ldots,12(n-1)$$

(дальнейшее расширение очевидно), мы изучаем процесс, выводим формулы Эйлера как основу для вывода n-арных унитарных Абелевых групп в $(n\times n)$-матричном представлении. Для иллюстрации приведем выражения алгебраических уравнений для гиперповерхностей, определенных при помощи C_n только для $n\leq 6$ в

обоих случаях, A) $q^n=q_0$, B) $q^n=-q_0$ соответственно (эти случаи могут быть связаны расширенным поворотом Вика).

Получены обобщения n-мерной тригонометрии и теоремы Пифагора для n-мерных симплексов в каждом n-арном случае, например, пусть $n=3$:

$$e^{(q\alpha+\beta q^2)}=c_0(\alpha,\beta)q_0+s_0(\alpha,\beta)q+t_0(\alpha,\beta)q^2,$$

где $c_0^3+s_0^3+t_0^3-3c_0s_0t_0=1$.

Двухпараметрическая Абелева тернарная «унитарность» имеет вид:

$$U=e^{(q\alpha+\beta q^2)},$$
$$U^+=e^{(jq\alpha+j^2\beta q^2)},$$
$$U^{++}=e^{(j^2q\alpha+j\beta q^2)}:$$
$$UU^+U^{++}=\hat{1}$$

Или в матричной форме

$$U=\begin{pmatrix} a & qb & q^2c \\ cq^2 & a & qb \\ qb & cq^2 & a \end{pmatrix},$$

$$U^+=\begin{pmatrix} a & jqb & j^2q^2c \\ j^2cq^2 & a & jqb \\ jqb & j^2cq^2 & a \end{pmatrix},$$

$$U^{++}=\begin{pmatrix} a & j^2qb & j^2q^2c \\ jcq^2 & a & j^2qb \\ j^2qb & jcq^2 & a \end{pmatrix},$$

$$UU^+U^{++}=detU=(a^3+b^3+c^3-3abc)\cdot\hat{1}=\hat{1}.$$

Последующее рассмотрение в CN^n n-арном комплексном C^n-евклидовом пространстве путей голоморфизма (и полиморфизма) для функций:

$$F(z,z^{\{1\}},\ldots,z^{\{n-1\}})=F_0(x_0,\ldots,x_{n-1})q_0+F_1(x_0,\ldots,x_{n-1})q+\ldots+F_{(n-1)}(x_0,\ldots,x_{n-1})q^{\{n-1\}}$$

($z^{\{p\}}$-$p=1,2,\ldots,(n-1)$ есть число операций сопряжения n-арного комплексного числа z) позволяет вывести n-мерные волновые уравнения (типа Лапласа / Дирака) для гармонических функций $F_a(x_0,\ldots,x_{n-1})$ и соответствующих им n-спиноров, инвариантных относительно соответствующих $(n-1)$-параметрических Абелевых групп симметрии. Основным выводом наших расчетов является то, что Абелевы свойства циклических групп C_n приводят к факторизации всех соответствующих групп $(n-1)$- мерных гиперповерхностей с определением Абелевой группы $U^{(n-1)}$. При помощи анализа $U^{(n-1)}$ мы получаем инвариантные дифференциальные уравнения Лапласа для гармонических функций n переменных $F_i(x_0,\ldots,x_{n-1})$, $i=0,\ldots,n-1$, где гармонические функции определяются через разложение голоморфной функции [25-27].

Мы естественным образом расширили конструкции изучаемых Абелевых n-арных комплексных чисел до построения НеАбелевых n-арных гиперкомплексных чисел, начиная с двух вводимых гиперкомплексных чисел, дающих (n^2-1) (для $tsu(3)$-8) генераторов:

$$Z=x_0Q_0+x_1Q_1+\ldots+x_{(n\hat{}2-1)}Q_{(n^2-1)}:$$
$$(Q_k)^n=\pm Q_{(n^2-1)};\ k=1,\ldots,n^2-1.$$

Дифференциальные уравнения Лапласа можно найти из уравнений Коши-Римана порядка $deg=n$. Следуя процедуре Дирака, можно получить из дифференциальных уравнений для n-арных гармонических функций линейные дифференциально-инвариантные уравнения для n-спиноров:

$$\hat{F}(\partial x_0,\ldots,\partial x_{n-1})\psi=0,\ \psi=\begin{pmatrix}\eta\\ \ldots\\ \eta_{n-1}\end{pmatrix}$$

Мы идентифицировали и исследовали все Абелевы симметрии для этих случаев ($n=3,\ldots12$) которые могли бы послужить возможностью для рассмотрения Абелевых теорий невидимого света Вселенной, взаимодействующих с некоторой невидимой материей-материей с экзотическими n-спинорными фермионами. В качестве примера приведем соотношения коммутаций для $tsu(3)$-алгебры:

$[Q_1,Q_2]=(j^2-j)Q_6$; $[Q_2,Q_3]=(j^2-j)Q_4$; $[Q_3,Q_1]=(j^2-j)Q_5$;
$[Q_1,Q_5]=(j^2-j)Q_3$; $[Q_5,Q_6]=(j^2-j)Q_1$; $[Q_6,Q_4]=(j^2-j)Q_2$;

$[Q_1,Q_4]=0$; $[Q_2,Q_4]=(j^2-j)Q_8$; $[Q_3,Q_4]=(j-j^2)Q_7$;
$[Q_1,Q_5]=(j-j^2)Q_7$; $[Q_2,Q_5]=0$; $[Q_3,Q_5]=(j^2-j)Q_8$;
$[Q_1,Q_6]=(j^2-j)Q_8$; $[Q_2,Q_6]=(j-j^2)Q_7$; $[Q_3,Q_6]=0$;

$[Q_1,Q_7]=(j-j^2)Q_3$; $[Q_1,Q_8]=(j^2-j)Q_2$; $[Q_2,Q_7]=(j-j^2)Q_1$;
$[Q_2,Q_8]=(j^2-j)Q_3$; $[Q_3,Q_7]=(j-j^2)Q_2$; $[Q_3,Q_8]=(j^2-j)Q_1$;

$[Q_4,Q_7]=(j^2-j)Q_5$; $[Q_4,Q_8]=(j-j^2)Q_6$; $[Q_5,Q_7]=(j^2-j)Q_6$;
$[Q_5,Q_8]=(j-j^2)Q_4$; $[Q_6,Q_7]=(j^2-j)Q_4$; $[Q_6,Q_8]=(j-j^2)Q_5$;

Единичные тернарно-гиперкомплексные числа порождают НеАбелеву тернарно-унитарную $SU(3)$-группу Ли. Используя необычные правила коммутации, мы построили гиперповерхность, определенную тернарной единицей

$$z=(x_0q_0+x_7q+x_8q^2)+(x_1q_0+x_2q+x_3q^2)q_1+(x_4q_0+x_5q+x_6q^2)q_1^2$$

8 мнимых единиц $\{Q_k|q,q^2,q_1,qq_1,q^2q_1,q_1^2,qq_1^2,q_1^2q|Q_k^3=q_0\}$ порождают $tsu(3)$. Тернарные гиперкомплексные единицы $|z\cdot\tilde{z}\cdot\tilde{\tilde{z}}|=1$ порождают соответственно тернарную неАбелеву TSU(3) группу Ли. Соответствующая $TSU(3)$-инвариантная гиперповерхность $|z\cdot\tilde{z}\cdot\tilde{\tilde{z}}|=1$ принимает следующий вид [18,24-27]:

$$F(x_0,\ldots,x_8)=|z_0|^3+|z_1|^3+|z_2|^3-\left(z_0\tilde{z}_1\tilde{\tilde{z}}_2\right)-\left(\tilde{z}_0\tilde{\tilde{z}}_1z_2\right)-\left(\tilde{\tilde{z}}_0z_1\tilde{z}_2\right)=1,$$

где

$$z_0=x_0q_0+x_7q+x_8q^2z_1=x_1q_0+x_2q+x_3q^2z_2=x_4q_0+x_5q+x_6q^2$$

или

$$F(x_0,\ldots,x_8)=x_0^3+x_7^3+x_8^3+x_1^3+x_2^3+x_3^3+x_4^3+x_5^3+x_6^3-3x_0x_7x_8-3x_1x_2x_3-3x_4x_5x_6-3x_0(x_1x_4+x_2x_5+x_3x_6)-3x_7(x_1x_5+x_2x_6+x_3x_4)-3x_8(x_1x_6+x_2x_4+x_3x_5)=1$$

Отметим исчезновение всех вкладов V_k в разложение

$$V=(x_0,\ldots,x_8)Q_0+V_1(x_0,\ldots,x_8)Q_1+\ldots+V_8(x_0,\ldots,x_8)Q_8,$$

то есть из возможных 729 членов только 45 остались ненулевыми! Таким образом, построенные генераторы Q_a; $a=1,\ldots$, имеют более сложные, чем бинарные кватернионы, коммутационные соотношения

$$Q_aQ_b=j^kQ_bQ_a;\ j=e^{2\pi i/3},$$

где значение $k=0,1,2$ зависит от выбора подгруппы генераторов (есть три $\{Q_1Q_2Q_3\}$, $\{Q_1Q_5Q_6\}$, $\{Q_7Q_8\}$ и они образуют алгебру $tsu(3)$).

Сама гиперповерхность является групповым многообразием, определяемым тернарной группой $TSU(3)$. Эта группа и ее алгебра принципиально отличаются от группы Картана-Ли группы $SU(3)$ и ее алгебры $su(3)$, определяемой 8 генераторами Гелл-Манна.

Соответствующая кубическая Мааркри-гиперповерхность принимает в пространстве R^8 следующий вид [18,24,25,26,28]:

$$U=\begin{pmatrix} z_0 & qz_1 & q^2z_2 \\ q^2\tilde{z}_2 & \tilde{z}_0 & q\tilde{z}_2 \\ q\tilde{\tilde{z}}_1 & q^2\tilde{\tilde{z}}_2 & \tilde{\tilde{z}}_0 \end{pmatrix},$$

$$DetU=x_0^3+x_1^3+x_2^3+x_3^3+x_4^3+x_5^3+x_6^3+x_7^3+x_8^3-3x_0x_7x_8-3x_1x_2x_3-3x_4x_5x_6-3x_0(x_1x_4+x_2x_5+x_3x_6)-3x_7(x_1x_5+x_2x_6+x_3x_4)-3x_8(x_1x_6+x_2x_4+x_3x_5)=1.$$

Принцип Паули можно также обобщить на принцип, который мы называем принципом Мааркриса. Из этого принципа вытекает возможность присутствия в одном квантовом состоянии n одинаковых частиц в зависимости от спиновой структуры n-спинор - фермионов. Например, трехцветные идентичные кварки могут находиться в одном квантовом состоянии в адронах! Обобщение мнимого единичного числа на гиперкомплексные кватернионы с 3-мнимыми единицами: e_a, $a=1,2,3$; привело к концепции новой коммутативности для мнимых единиц:

$$e_ae_b=-e_be_a,\ a\neq b.$$

Единичные мнимые кватернионы $e_a^2=-1$ могут быть выражены в виде матриц Паули, сопоставленных мнимой единице i:

$$e_a=i\sigma_a,\ a=1,2,3.$$

Аналогичное определение тернарных комплексных чисел привело к восьмизначным мнимым числам q_a: $q_a^3=\pm q_0=\pm 1$, $a=1,2,3,\ldots,8$; правило коммутативности расширяется следующим образом: $q_aq_b=jq_bq_a$ или

$$q_aq_b=j^2q_bq_a,\ a\neq b,\ j=e^{(2\pi i/3)}.$$

В общем случае правило антикоммутации для n-арных чисел q_a: $q_a^n=\pm q_0=\pm 1$, $a=1,2,3,\ldots,(n^2-1)$ может принимать следующую форму $q_aq_b=j^kq_bq_a$, $a\neq b$, $j=e^{(2\pi i/n)}$, $n=2,3,4,\ldots$; $k=1,2,3,\ldots,n-1$.

Новые правила коммутации, применяемые в квантовой теории поля, могут привести к обобщению принципа Паули, который утверждает, что на одном уровне не могут существовать $n=3;4;5$ одинаковых частиц.

Используя необычные правила антикоммутации Мааркри, мы построили норм-дивизионную алгебру для гипертернарных комплексных чисел [25,26,28]:

$$\{q_a,\ q_0=\hat{1}\mid q_a^3=q_0;\ a=1,\ldots,8\}$$
$$q_aq_b=jq_bq_a,\ или\ q_aq_b=j^2,\ a\neq b$$

Существование нового вакуума через понимание Абелевых симметрий невидимого света может помочь найти обобщение группы Лоренца, то есть выйти за рамки обычной геометрии 4-мерного пространства-времени. Вывод современной физики состоит в том, что наша кварк-лептонная материя формирует видимую Вселенную, которая является лишь малой частью огромной гипервселенной. На языке математики мы должны построить новое геометрическое пространство с размерностью больше 4 и новыми симметриями, более широкими, чем симметрия группы Лоренца / Пуанкаре. Для этого нового пространственно-временного континуума мы построим новую квантовую теорию поля с описанием праматерии с ее излучением отличным от того, что было создано нашей видимой вселенной с кварк-лептонной материей, наделенной полуцелым спином, электрическими и цветными зарядами, гравитационной массой. Критические вопросы, такие как спин, заряд, цвет, масса привели нас к поиску новых симметричных геометрических пространств, основы которых мы ищем в новых теориях чисел, алгебр, конечных групповых симметрий и т. д. Если мы добьемся успеха на этом пути, мы сможем понять механизм формирования нашей видимой Вселенной?!

Аналогично, рассматривая $n=4,5,6,\ldots$-арные гиперкомплексные числа, можно построить n-арные алгебры и n-арные группы с соответствующими коммутационными соотношениями, где $j=e^{(2\pi i/n)}$. Эти соотношения обобщают известные антикоммутационные соотношения между мнимыми кватернионами $\{e_1,e_2,e_3\}$, матричной реализацией которых являются матрицы Паули

$e_1=i\sigma_1$, $e_2=i\sigma_2$, $e_3=-i\sigma_3$: $e_\alpha e_\beta=-e_\beta e_\alpha$, $\alpha\neq\beta$. Важным свойством тернарной (n-арной) группы $TSU(3)$ в матричном формализме является введение новых концепций комплексного сопряжения, транспонирования, эрмитова сопряжения и унитарности: $UU^{+}U^{++}=1$. Следующий шаг связан с дальнейшим изучением тернарных алгебр Клиффорда в их взаимосвязи с бинарными алгебрами Клиффорда, которые позволили бы строить n-спиноры материи с необычными квантовыми свойствами.

В качестве иллюстрации приведем первый пример того, как может измениться интерпретация существующих трех нейтринных состояний в предположении, что пространственно-временные свойства трех нейтрино отличаются от свойств заряженных кварков и заряженных лептонов. Таким образом, мы можем рассматривать три нейтрино как одно поле в пространстве размерности $D=6(12)$ то есть с двумя, тремя дополнительными некомпактными измерениями, и, в соответствии с тернарной комплексностью, реализация нейтрино может быть представлена в виде 3-спинора со следующими тремя операциями зарядового сопряжения (новый нейтринный свет):

$$\psi=\begin{pmatrix}\nu_e\\ \tilde{\nu}_\mu\\ \tilde{\tilde{\nu}}_\tau\end{pmatrix},\ \psi^{c}=\begin{pmatrix}\nu_\tau\\ \tilde{\nu}_e\\ \tilde{\tilde{\nu}}_\mu\end{pmatrix},\ \psi^{cc}=\begin{pmatrix}\nu_\mu\\ \tilde{\nu}_\tau\\ \tilde{\tilde{\nu}}_e\end{pmatrix},\ \psi^{ccc}=\psi,$$

описывающим систему из трех нейтринных состояний:

ν_e – электронное нейтрино;

ν_μ – мюонное нейтрино;

ν_τ – тау-нейтрино, которые могут быть представлены как частица-античастица-анти-античастица (тернарная модель 3 нейтринных состояний, по аналогии с 4-мерной теорией электрона Дирака). Представление трех нейтринных состояний в $D=6$ предполагает существование новой Абелевой группы U(1), связанной с существованием нового света, возможно, связанного с темной энергией[14-18,28].

В заключение можно сказать, что вся современная квантовая физика, несмотря на общие проблемы, связанные с описанием многомерных квантовых состояний, бурно развивается в своих выделенных направлениях, обусловленных своими масштабами. Если начальный масштаб $\sim10^{-8}\sim10^{-10}$ см связан с современным прогрессом в теории квантовой информации (квантовые компьютеры и телепортация), связанной с контролем и управлением многокубитной (многокудитной) запутанной квантовой системы, то нижний предел ($\sim10^{-17}$см) с развитием физики сверхвысоких энергий, описывающей физику элементарных частиц.

Какая теория стоит за этим пределом это самый важный вопрос для всей современной квантовой физики? Какие изменения в квантовой физике, связанные с существованием новых групп симметрий с соответствующей необычной многомерной геометрией, потребуются для проникновения человеческого сознания на расстояния ($<<10^{-17}$см (?)), так как необычные явления ее, такие как квантовая запутанность и дальняя телепортация, могут быть прояснены с изучением нового вакуума на этих расстояниях. Возник вопрос аналогичный тому, который встал перед классической физикой в 1925-1927 г.г.

Мы предлагаем свой путь к расширению основ квантовой физики через обобщение поля комплексных (гипер-комплексных) чисел, вводя в рассмотрение тернарные $n=3$ (и выше $n>3$) комплексные (гипер-комплексные) числа. Это позволило нам найти новые Абелевы и не-Абелевы алгебры и группы симметрии, которое приводят к возможности нового подхода к описанию геометрии кутритных квантовых состояний, с проблемами которого столкнулась современная квантовая физика в своих двух важнейших направлениях, теории квантовых полей и теории квантовой информации.

Приложение.
TSU(3)-алгебра

$$\lambda_1=(1/3)(q_1+q_2+q_3)\qquad [\lambda_1,q_7]=(j-j^2)\,\lambda_1$$
$$\lambda_2=(1/3)\,(q_1+jq_2+j^2q_3)\qquad [\lambda_2,q_7]=(j^2-1)\,\lambda_2$$
$$\lambda_2=(1/3)\,(q_1+j^2q_2+jq_3)\qquad [\lambda_3,q_7]=(1-j)\,\lambda_3$$

$$\xi_1=(1/3)\,(q_4+q_5+q_6)\qquad [\lambda_1,q_8]=(j^2-j)\,\lambda_1$$
$$\xi_2=(1/3)\,(q_4+j^2q_5+q_6)\qquad [\lambda_2,q_8]=(j-1)\,\lambda_2$$
$$\xi_3=(1/3)\,(q_4+jq_5+q_6)\qquad [\lambda_3,q_8]=(1-j^2)\,\lambda_3$$

$$[\lambda_1,\lambda_2]=-\xi_3\qquad [\xi_1,\xi_3]=-\lambda_2$$
$$[\lambda_2,\lambda_3]=-\xi_1\qquad [\xi_3,\xi_2]=-\lambda_1$$
$$[\lambda_3,\lambda_1]=-\xi_2\qquad [\xi_2,\xi_1]=-\lambda_3$$

$$[\lambda_1,\xi_1]=(1/3)\,(j-j^2)(q_7-q_8)$$
$$[\lambda_2,\xi_2]=(1/3)\,[(1-j)q_7+(1-j^2)q_8]$$
$$[\lambda_3,\xi_3]=(1/3)\,[(j^2-j)q_7+(j-1)q_8]$$

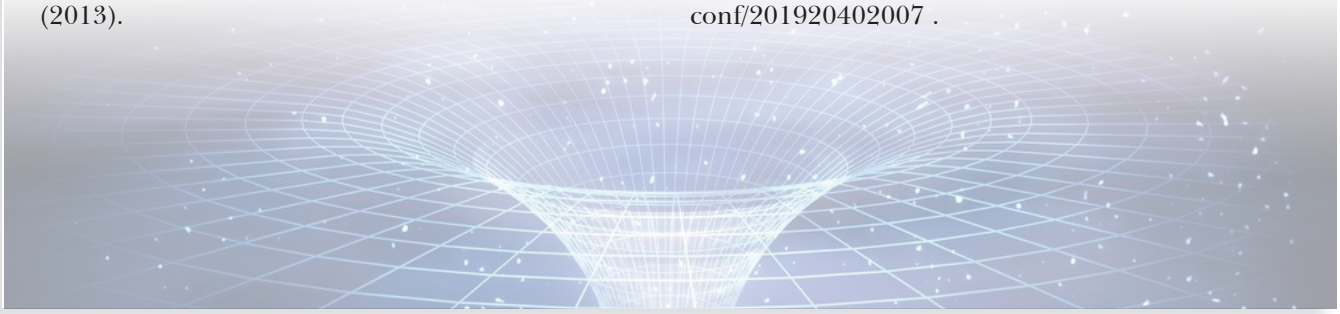
$$[\xi_1,q_7]=(j^2-j)\,\xi_1$$
$$[\xi_2,q_7]=(j-1)\,\xi_2=(j^2-j)\,j^2\,\xi_2$$
$$[\xi_3,q_7]=(1-j^2)\,\xi_3=(j^2-j)\,j\,\xi_3$$
$$[\xi_1,q_8]=(j-j^2)\,\xi_1=(1-j)\,j\,\xi_1$$
$$[\xi_2,q_8]=(j^2-1)\,\xi_2=(1-j)\,j^2\,\xi_2$$
$$[\xi_3,q_8]=(1-j)\,\xi_3$$

$$[[\lambda_1,\lambda_2]\,\lambda_3]+[[\lambda_2,\lambda_3]\,\lambda_1]+[[\lambda_3,\lambda_1]\,\lambda_2]=0$$

$$[[\xi_1,\xi_2]\,\xi_3]+[[\xi_2,\xi_3]\,\xi_1]+[[\xi_3,\xi_1]\,\xi_2]=0$$

Литература

1. Heisenberg W. Physics and Philosophy. Harper, 1958.
2. E. Schrödinger. Quantisierung als Eigenwert-problem (Erste Mitteilung) // Annalen der Physik, 1926. Vol. 384(79). Pp. 361-376.
3. Dirac P. M.A. The quantum theory of electron, Proceeding of the Royal Society of London, 117 (1928). Pp.610-624.
4. Weyl H. Gruppentheorie und Quantenmechanik. Leipzig, 1998. 288 p.
5. Bogoljubov N.N., Shirkov D.V. Introduction to quantum field theory. NAUKA, 1984.
6. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. М.: Мир, 2006. 824 с.
7. Валиев К.А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления // УФН, 2005. №175(1). С. 3-39.
8. Bennett C., Brassard G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing // IEEE International Conference on Computers Systems and Signal Processing, 1984. №11. Pp. 175-179.
9. Bertlmann R.A., Zeilinger A. Quantum (Un) speakables: From Bell to Quantum Information, Springer-Verlag, 2002. 483 p.
10. Bertlmann R.A. Entanglement, Decoherence and Bell Inequalities in Particle Physics, Lectures University of Siegen, 2013.
11. Смуров С.В., Волков Г.Г., Масликов А.А. Идеи и методы генерации запутывания твердотельных спин-кубитов. Статистический ансамбль и матрица плотности // Известия Института инженерной физики, 2018. №4(50). С. 86-92.
12. Волков Г.Г., Масликов А.А., Смуров С.В., Царьков А.Н. О многокубитных схемах запутывания и телепортации на основе NV-центров в алмазе // Известия Института инженерной физики, 2019. №2(52). С. 103-105.
13. Ammosov V., Volkov G. Can Neutrinos Probe Extra Dimensions? arXiv:hep-ph/0008032 (2000).
14. Volkov G.G. Geometry of Majorana neutrino and new symmetries., Annales de la Fondation Louis de Broglie, Vol. 31 No 2-3, 2006. p.227, arXiv:hep-ph/0607334
15. Volkov G. The Possible Signals from the D=6 Space-Time, arXiv:1112.3583 (2011).
16. Baranov D.S., Volkov G.G. Neutrino On The Possible New Time Structure, arXiv:1302.1482 (2013).
17. Волков Г.Г., Смуров С.В., Кукин Н.С., Мурадова А.Р., Глотова И.О. Математические вопросы расширения основ квантовых теорий // Известия Института инженерной физики, 2015. №4(38). С. 71-84.
18. Maslikov A.A., Volkov G.G. The Geometry of the Standard Model - Nonlinear Dynamics and Applications. In Proceed. of NPCS-XXI, Minsk, 20 (2014).
19. Mambrini Y. Histories of Dark Matter in the Universe, Laboratoire de Physique Theorique, Universite Paris-Sud, F-91405 Orsay, France, 2014. 612 p.
20. Volkov G. Hunting for the New Symmetries in Calabi-Yau Jungles, J. Mod. Phys A 19, 4835-4860 (2004). hep-th/0402042
21. Dubrovskiy A., Volkov G. Ternary numbers and algebras. Reflexive numbers and Berger graphs, Adv.Appl.Clifford Algebras 17, 159-181 (2007)
22. Lipatov L.N., Traunbenberg M. Rausch de, Volkov G. On the ternary complex analysis and its applications . J. Math. Phys. 49, 013502 (2008), p.28.
23. Volkov G. On the complexifications of the Euclidean R^n spaces and the n-dimensional generalization of Pythagore theorem, arXiv:1006.5630 [math-ph] (2010)
24. Samoylenko V., Volkov G. The GUT of the light: On the Abelian Complexifications of the Euclidean R^n spaces, arXiv:0912.2037 [physics.gen-ph]
25. Volkov G. Ternary “Quaternions” and Ternary TU(3) algebra, arXiv:1006.5627 [math-ph]
26. Волков Г.Г., Кукин Н.С., Мурадова А.Р., Глотова И.О. Тернарная групповая алгебра. Комплексный анализ в Евклидовом пространстве // Известия Института инженерной физики, 2016. №3(41). С. 50-56.
27. Смуров С.В., Волков Г.Г., Кукин Н.С., Мурадова А.Р., Глотова И.О. Введение в геометрию N-арных комплексных чисел. // Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40). С. 75-84.
28. Maslikov A.A., Volkov G.G. Ternary SU(3)-group symmetry and its possible applications in hadron-quark substructure. Towards a new spin-or-fermion structure // EPJ Web of Conferences 204, 02007 (2019), https://doi.org/10.1051/epjconf/201920402007 .



УДК 681.3.06

ЭКСТРЕННОЕ УНИЧТОЖЕНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ ТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

EMERGENCY DESTRUCTION OF SOLID–STATE STORAGE MEDIA BY THERMAL METHOD

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

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

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

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

Аннотация
Статья посвящена рассмотрению вопросов экстренного уничтожения информации на твердотельных носителях термическим методом.
Ключевые слова: уничтожение; твердотельный носитель информации; пиротехнический состав.

Summary
The article is devoted to the consideration of issues of emergency destruction of information on solid-state media by the thermal method.
Keywords: destruction; solid-state storage medium; pyrotechnic composition.

Одной из задач информационной безопасности является гарантированное уничтожение данных с твердотельных носителей, среди которых наибольшее распространение получили накопители в виде флеш-памяти типа NAND. Флеш-память – это разновидность полупроводниковой технологии электрически перепрограммируемой памяти, первичными ячейками которой являются полевые транзисторы с двумя изолирующими затворами: управляющим и плавающим. Исходным полупроводником для полевых транзисторов обычно является кремний, а в качестве диэлектрика используется слой диоксида кремния SiO_2, выращенный на поверхности кристалла кремния путем высокотемпературного окисления. На слой диэлектрика нанесен металлический электрод-затвор. В результате чего твердотельные накопители имеют своеобразную структуру, состоящую из металла, диэлектрика и полупроводника. По этим причинам экстренное гарантированное удаление информации с таких накопителей является достаточно сложной задачей.

Из всех разработанных к настоящему времени методов уничтожения наибольший интерес представляют термические, при которых уничтожение информации осуществляется путем нагрева носителя до температуры термодеструкции или плавления его структурных элементов [1,2].

К таким методам относятся термохимический и металлотермический, основанные на использовании энергии горения специальных

пиротехнических составов, принципиальное отличие которых состоит лишь в том, что в первом разогрев носителя информации осуществляется в результате протекания экзотермических химических реакций в обычных пиротехнических составах при их сгорании. Во втором – разогрев осуществляется в результате самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в термитных смесях [4]. В обоих случаях такие составы должны обеспечивать в течение короткого времени теплоприход, достаточный для разогрева носителя информации до такой температуры, при которой хранившиеся на накопителе данные невозможно будет восстановить.

Кроме того составы должны воспламеняться от электрических низковольтных малогабаритных инициаторов, в связи с чем иметь приемлемую температуру и малое время воспламенения, устойчиво гореть с минимальным выделением газообразных продуктов.

По данным, приведенным в [1,2] нагрев твердотельного носителя информации до температуры 1073-1273К уже приводит к уничтожению информации на кремниевом носителе. Однако необходимо учитывать, что на поверхности кремния находится его оксид, температура плавления которого значительно выше (2001К), а также и то, что при повышении температуры теплоемкость кремния повышается, а температуропроводность падает [3].

Что касается СВС составов, то их применение весьма перспективно. Такие составы способны обеспечивать локальный разогрев носителей информации до высоких температур. Они способны устойчиво гореть со скоростью от 5,0 до 150,0 мм/с без выделения газообразных и жидких продуктов реакции. Их горение не сопровождается переходом в детонацию при повышенных давлениях [4]. Наряду с этими положительными свойствами СВС составы имеют и существенный недостаток. Исходными компонентами составов являются, как правило, тонкодисперсные порошки, которые должны быть спрессованы в таблетки заданной формы. Чтобы обеспечить равномерное распределение компонентов и придание таблеткам необходимой механической прочности и пористости, прессование СВС составов осуществляют квазиизостатическим методом. Температура воспламенения таблеток лежит в диапазоне от 600 до 1200ºС, поэтому для их воспламенения применяют инициаторы, выполненные по ступенчатой схеме [1,4]. Все что ограничивает практическое применение СВС в малогабаритных устройствах.

По сравнению с СВС специальные безгазовые либо малогазовые пиротехнические составы (ПТС) наряду с высоким тепловыделением, широким диапазоном скорости устойчивого горения имеют достаточно низкую температуру воспламенения от 200 до 460ºС. Немаловажным является и то, что скорость воспламенения ПТС во много раз больше скорости их горения [5]. А наличие зависимости скорости воспламенения от степени измельчения компонентов и плотности состава позволяет просто выполнять требования по мощности инициатора и времени воспламенения.

Из анализа характеристик безгазовых пиротехнических составов следует, что в качестве источников энергии для малогабаритных устройств, предназначенных для уничтожения твердотельных носителей информации, могут найти применение ПТС, в которых в качестве компонентов используются порошки металлов Al и Mg, оксиды металлов Al_2O_3 и TiO_2 и углерод С. Меняя соотношение компонентов, можно регулировать температуру и скорость горения, подбирать необходимое тепловыделение. Такие составы хорошо прессуются и в прессованном состоянии легко воспламеняются от электрической спирали, что было подтверждено при проведении прямых экспериментов.

В заключение отметим, при уничтожении твердотельных носителей в пластиковых корпусах термическим методом процесс сопровождается образованием дыма в виде устойчивой дисперсной системы, состоящей из мелких твердых частиц, находящихся во взвешенном состоянии в газах, образующихся при сгорании корпусов и структурных элементов носителей. Конечно, уменьшить либо устранить дымообразование возможно различными известными методами путем внесения изменений в конструкцию устройства ликвидации, либо разработкой нового метода, применительно к конкретным условиям уничтожения носителей.

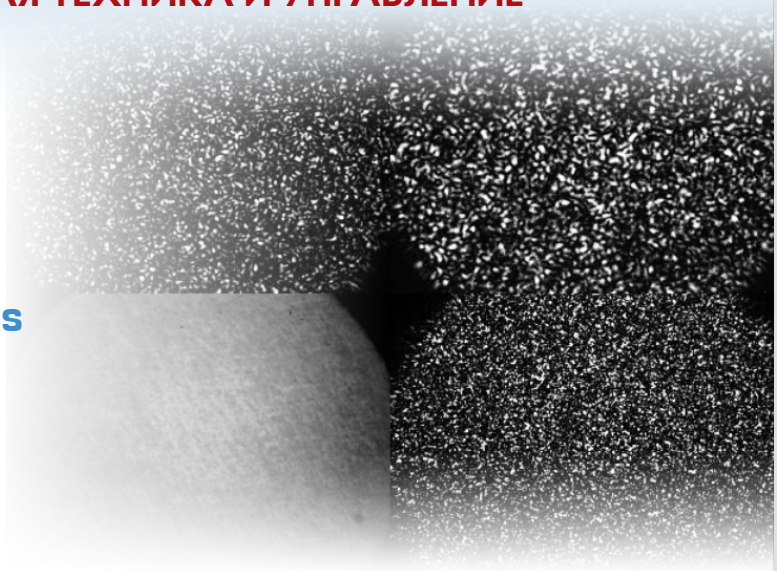
Литература

1. Боборыкин С.Н., Рыжиков С.С. Термохимическое уничтожение носителей информации // Специальная техника, 2002. №2.
2. Беседин Д.И., Боборыкин С.Н., Рыжиков С.С. Предотвращение утечки информации, хранящейся в накопителях на жестких магнитных дисках // Специальная техника. 2001. № 1.
3. Шелудяк Ю.Е., Кашпоров Л.Я. и др. Теплофизические свойства компонентов горючих систем. Справочник // Изд-во НПО Информ ТЭИ, 1992. 184 с.
4. Мержанов А.Г., Сычев А.Е. О самораспространяющемся высокотемпературном синтезе // Успехи химии, 2004. Т.73. Вып.2. С.157-170.
5. Шидловский А.А. Основы пиротехники. М.: Машиностроение, 1973. 280 с.

УДК 004.932.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА К-СРЕДНИХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СПЕКЛ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ

USING K-MEANS METHOD FOR LOCAL SPECKLE IMAGE ANALYSIS



Андрей Константинович Никитин
инженер-программист
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: ex_nik@mail.ru

Аннотация
Рассматривается применение метода К-средних для сегментации спекл-изображений. Демонстрируется подход для стабильной и повторяемой локализации центроидов на спекл-изображениях с использованием вертикальной и горизонтальной гистограмм насыщенности.
Ключевые слова: обработка изображений, К-среднее, спекл, гистограмма.

Summary
Evaluate of K-means for speckle-image segmentation is carried out in the current work. Demonstrate of approach for stable and repeatable localize of K-means centroids by using vertical and horizontal saturation histograms crossing are also presented. Application of K-means for speckle image segmentation is shown.
Keywords: image processing, K-means, speckle, histogram.

Эффективное извлечение большого и разнообразного количества данных при использовании спекл-изображений, позволяет варьировать возможности использования качественных случайных последовательностей с целью генерации ключей безопасности в различных сферах, либо использовать их там, где необходима высокая случайность. При извлечении полезных данных из спекл-изображений перед специалистами встает задача подробного анализа на предмет повторяемости и пригодности производимых случайных последовательностей. Общепринятые на сегодняшний день стандарты тестирования случайности, такие как тесты ГОСТ, NIST, DIEHARD удовлетворяют лишь общим случаям. Естественно, что при использовании случайных последовательностей под конкретные задачи, специалисты разных направлений прибегают к тестированиям характерным именно для требуемой сферы использования. В настоящей статье рассмотрено применение метода кластеризации К-средних для оценки локальных областей на изображениях спекл-структур с высокой концентрацией пикселей разной интенсивности.

В качестве входного изображения, используется снимок развитого спекл-поля, полученного с использованием оптической схемы рассмотренной в [1]. Исходное изображение приведено на *рисунке 1*.

Для выделения локальных областей на столь сложном изображении как снимок развитого спекл-поля, предлагается использовать неоднородность когерентного излучения и различную

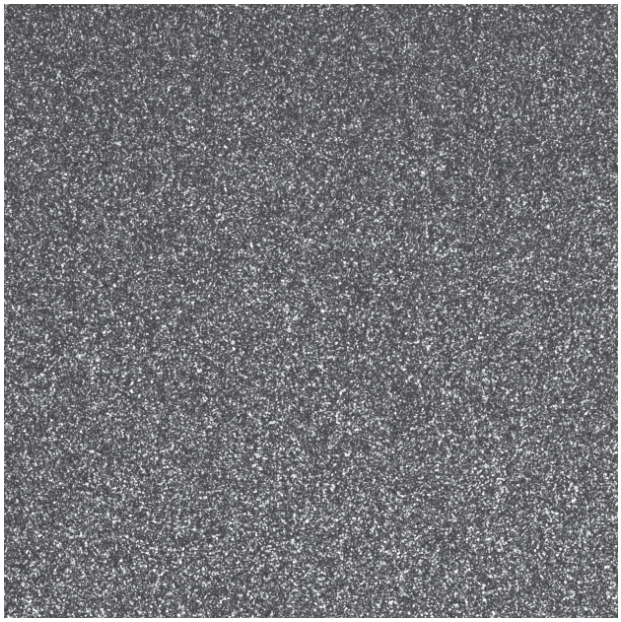


Рис. 1. Исходное изображение развитого спекл-поля

пропускную способность образца, вызванную несовершенствами внутренней структуры рассеивателя. Выделение локальных областей производится таким образом, чтобы обеспечивать их повторяемость при условии неизменности когерентного излучения по всей площади засветки и других внешних факторов освещения.

Применение метода К-средних, требует определения центроидов в качестве затравочных центров кластеров, и является основной проблемой при кластеризации. В настоящей статье для преодоления проблемы определения затравочных центров, используем сильное контрастирование и гистограммирование контраста для выявления центров локальных областей.

Итак, представим входное изображение развитого спекл-поля как

$$\{prgb(i,\ j)\}\ i=1{:}w,\ j=1{:}h, \qquad (1)$$

где w – ширина исходного спекл-изображения;
h – высота исходного спекл-изображения.

Для выполнения контрастирования, используем кусочно-заданную функцию на двух операндах с одинаковыми значениями отклонений от предельных граничных значений диапазона контраста входного изображения и линейной аппроксимацией кривой вне границ среза, соответственно получим:

$$p'_{rgb}(x,y)=\left\{\frac{(G'_{\max}-G'_{\min})}{P_{\max}-P_{\min}}\left[p_{rgb}(x,y)-P_{\min}\right]+G'_{\min}\right\}, \qquad (2)$$

где $G'max$ – верхняя граница среза;
G'min – нижняя граница среза;
Pmax – нижний порог яркости изображения;
Pmin – верхний порог яркости изображения.

Для достижения высокого уровня контрастности, выполняем 10 шагов преобразования (2), используя $p'rgb(x,y)$ в качестве $prgb(x,y)$ на втором и последующих шагах преобразований. Для $p'rgb(x,y)$, производится выравнивание верхних частот, используя рекурсивный фильтр Гаусса [2]:

$$p''_{rgb}(x,y)=\frac{1}{2\pi r^2}\sum_{u,v}e^{\frac{-(u^2+v^2)}{2r^2}}\,p'(x+u,y+v), \qquad (3)$$

где r – радиус размытия;
u и v – пределы размытия по горизонтали и вертикали.

Результат выполнения (2) и (3), над входным изображением спекл-структуры (1), представлен на *рисунке 2*.

Выполняем инверсию массива (3), для усиления полезного сигнала в локальных областях для облегчения задачи поиска центроидов:

$$p'''_{rgb}(x,y)=B-p''_{rgb}(x,y), \qquad (4)$$

где B – максимальная глубина контраста в изображении.

Для определения координат локальных областей, выполняем гистограммирование контраста для (4) по вертикали и горизонтали:

$$\forall p''_{rgb}(x,y)\neq rgb\{B,B,B\}\Rightarrow\begin{cases}H_v(x_c,y)=1;x_c=x_c+1;x_c>w\rightarrow x_c=0\\H_h(x,y_c)=1;y_c=y_c+1;y_c>h\rightarrow y_c=0\end{cases} \qquad (5)$$

где $Hv(xc,y)$ – вертикальная гистограмма контраста;
$Hh(x,yc)$ – горизонтальная гистограмма контраста.

В настоящей статье, используется четыре локальных области. Разбиение на локальные области выполняется наложением $Hv(xc,y)$ и $Hh(x,yc)$, как изображено на *рисунке 3*.

Обозначим массив точек, полученный после наложения гистограмм, как

$$HR(x,\ y) \qquad (6)$$

Рис. 2. Изображение подготовленное для определения локальных областей

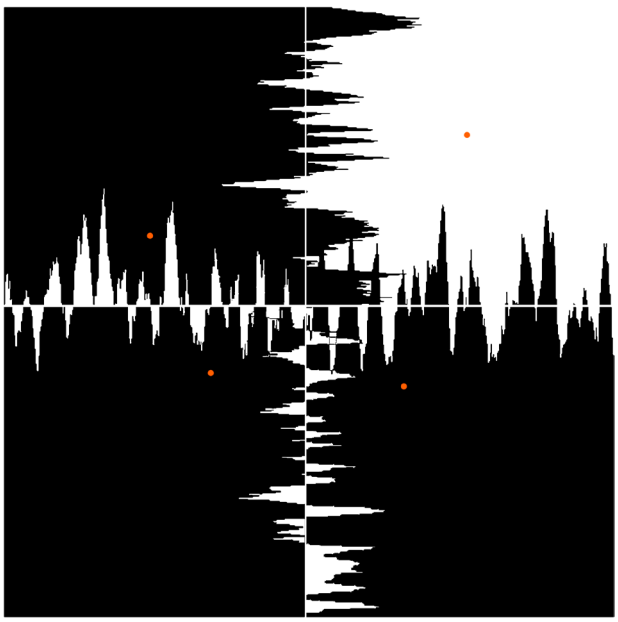


Рис. 3. Наложение гистограмм

Находим центроиды для каждой локальной области, для этого выполняем условие:

$$\begin{cases} C_i(x) = \dfrac{\sum\limits_{x_R=o_i}^{w_i} H_R(x+x_R)}{\sum\limits_{x_R=o_i}^{w_i}\sum\limits_{y_R=o_i}^{h_i} H_R(x,y)}, \\ C_i(y) = \dfrac{\sum\limits_{y_R=o_i}^{h_i} H_R(y+y_R)}{\sum\limits_{x_R=o_i}^{w_i}\sum\limits_{y_R=o_i}^{h_i} H_R(x,y)} \end{cases} \quad (7)$$

где i – индекс локальной области;
O – смещение локальной области в пределах $HR(x, y)$;
wi – ширина i-й локальной области;
hi – высота i-й локальной области.

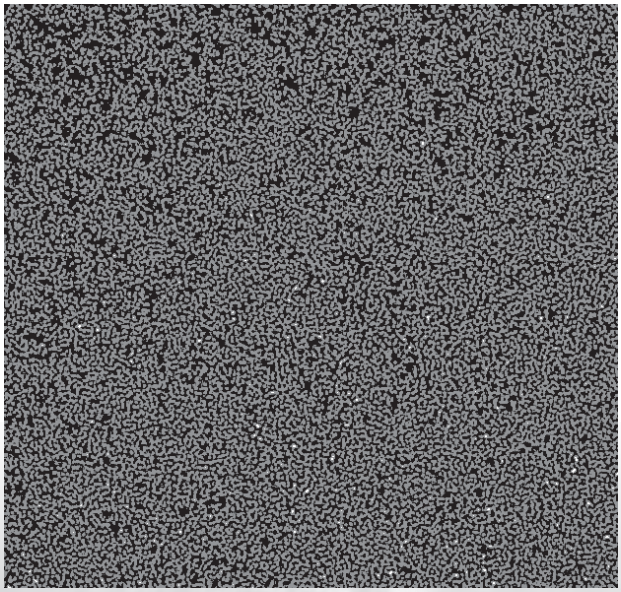


Рис. 4. Кластеризированное поле К-средних

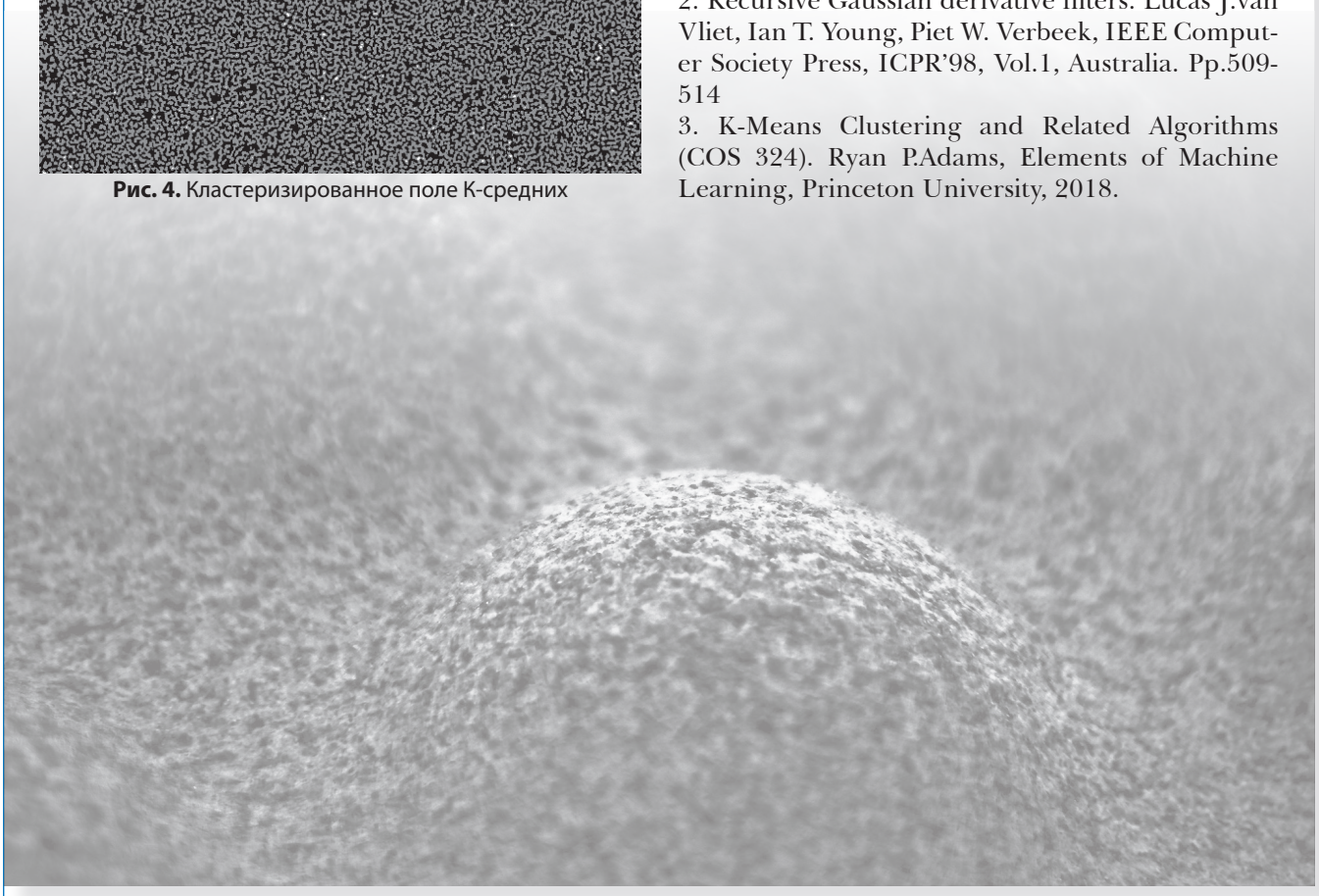
Ввиду целенаправленного внесения искажений при контрастировании входного изображения, далее необходимо учитывать результаты (7) для (1). Таким образом, учитывая (7), определяем положение центроидов локальных областей на (1), как показано красными точками на *рисунке 3*.

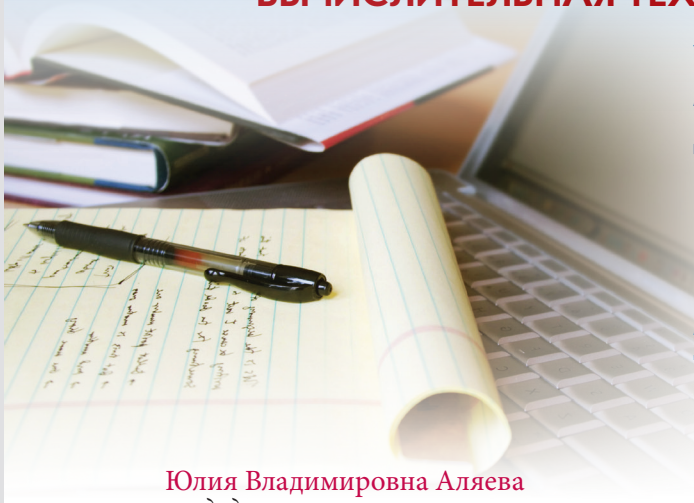
Используя [3], выполняем кластеризацию на (1) методом К-средних в результате получаем кластеризированное поле, представленное на *рисунке 4*.

На результатах наглядно видно высокую степень однородности сегментации спекл-изображения, несмотря на использование четырех затравочных центроидов. Сегментация, полученная в результате применения метода К-средних свидетельствует о не эффективности применения сегментации для спекл-изображений, что в свою очередь показывает низкую связь между областями изображения.

Литература

1. Никитин А.К., Кукин Н.С. Извлечение уникальной информации из различных изображений объекта в одних и тех же условиях // Известия Института инженерной физики, 2016. №4(42). С.32-35.
2. Recursive Gaussian derivative filters. Lucas J.van Vliet, Ian T. Young, Piet W. Verbeek, IEEE Computer Society Press, ICPR'98, Vol.1, Australia. Pp.509-514
3. K-Means Clustering and Related Algorithms (COS 324). Ryan P.Adams, Elements of Machine Learning, Princeton University, 2018.





УДК 519.21

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ДОСТАТОЧНОСТИ ЖУРНАЛОВ, ВХОДЯЩИХ В ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ

ALGORITHM FOR ASSESSING THE SUFFICIENCY OF JOURNALS INCLUDED IN 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
Проведен анализ Перечня рецензируемых изданий. Предлагаются показатели достаточности изданий и определение их пороговых значений. Представлен алгоритм оценки достаточности журналов, входящих в Перечень.
Ключевые слова: рецензируемые научные издания, перечень, научные специальности, оценка, рейтингование, алгоритм.

Summary
The analysis of the List of peer-reviewed publications is carried out. The article proposes indicators of sufficiency of publications and determination of their threshold values.An algorithm for assessing the sufficiency of journals included in the List is presented.
Keywords: peer-reviewed scientific publications, list, scientific specialties, evaluation, rating, algorithm.

Количество журналов, входящих в Перечень 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), неуклонно растет: если на начало 2018 года таких журналов было 1934, то в Перечне от 18.07.2019 года их уже 2391. Это много или мало, хотя бы исходя из того, что в научной электронной базе индексируется 5854 журналов, библиографические данные имеются по 3519 изданиям?

Включение журналов в Перечень осуществляется по рекомендациям ВАК, которая организует экспертизу этих журналов и тем самым осуществляет отбор на самом деле достойных журналов, в которых необходимо публиковать научные результаты диссертационных исследований по заявленным журналами научным специальностям (НС). И это хорошо, что есть большое количество качественных журналов. Но надо ли их всех включать в Перечень? Где тот пороговый уровень достаточности, обеспечивающий соискателям возможность опубликования научных результатов?

Один из подходов к оценке достаточности журналов, входящих в Перечень, заключается в сопоставлении количества научных изданий (журналов) по каждой НС с количеством диссертационных советов (ДС), в которых можно защищаться по указанной НС, или с количеством защит по этой специальности. Заметим, что использование количества ДС сопряжено с некоторыми трудностями: количество ДС меняется несколько раз в месяц в связи с тем, что некоторые ДС закрываются или их работа приостанавливается, появляются новые ДС. А вот данные о количестве защит более точно отражают потребность в журналах для опубликования соискателями научных результатов по соответствующей специальности и отрасли наук.

Тогда показатель достаточности можно пред-

ставить как отношение 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).

$$DZ_i = \frac{Km_i}{Kz_i}.$$

***Примечание**: Далее, везде при упоминании научной специальности предполагается, что имеется в виду специальность с соответствующей отраслью наук.*

Для определения порогового уровня показателя достаточности предлагается использовать хорошо зарекомендовавшее себя при оценке эффективности деятельности вузов [1] медианное значение (50-перцентиль, квантиль 0,5) [2].

Исходя из вышеизложенного, алгоритм оценки достаточности журналов в Перечне может быть представлен в следующем виде.

1. Для каждой i-й специальности с соответствующей ей отраслью наук рассчитывается показатель достаточности

$$DZ_i = \frac{Km_i}{Kz_i}.$$

2. Находится медианное значение $D_{мед}$ для рассчитанного множества показателей $\{DZ_i\}$.

3. Определяется множество специальностей $\{S_k\}$, у которых $DZ_k > D_{мед}$ и рассчитывается количество журналов K_k, из которых следует удалить рассматриваемую специальность:

$$K_k = Km_k - D_{мед} \times Kz_k,$$

где Km_k – количество научных изданий, входящих в Перечень по НС k с соответствующей отраслью наук;

Kz_k – количество защит по k-й НС с соответствующей отраслью наук.

Далее работа идет отдельно по каждой специальности из множества $\{S_k\}$.

4. Для специальности S_k находится множество журналов $\{Ж_k\}$, которые входят в Перечень по рассматриваемой специальности k.

5. Из найденного множества журналов $\{Ж_k\}$ необходимо сформировать множество журналов $\{Ж_{искл}\}$, из которых надо исключить рассматриваемую специальность k добившись $DZ_k = D_{мед}$. Количество журналов в множестве $\{Ж_{искл}\}$ должно быть равно K_k.

Данными для тестового расчета показателя достаточности DZ_i стали сведения о среднем количестве защит за 3 года (2016-2018 год) и количество журналов, входящих в Перечень ВАК от 18.07.2019 года, для каждой НС (*таблица 1*). В результате расчета определено медианное значение $D_{мед} = 1{,}24$.

Среди 718 НС с соответствующей отраслью науки у 330 (46,0 %) показатель достаточности превышает медианное значение. Например, по НС «23.00.04 – Политические проблемы международных отношений, глобального и регионального развития», отрасль наук – «Политические науки» при среднем количестве защит за 3 года – 35,67 (Kz_i), в Перечень ВАК входит 84 журнала (Km_k). Показатель достаточности $DZ_i = 2{,}36$. Так как $DZ_i > D_{мед}$, то рассматриваемая НС входит в множество $\{S_k\}$ и следует определить величину K_i – количество журналов, из которых следует удалить рассматриваемую специальность:

$$K_i = 84 - 1{,}24 \times 35{,}67 = 39{,}77 \approx 40{,}0.$$

Таким образом, в результате применения предложенного алгоритма следует удалить рассматриваемую специальность из 40 журналов.

Для НС «22.00.01 – Теория, методология и история социологии», отрасль – «Социологические науки», где за последние 3 года наблюдается стабильное количество защит, а среднее их количество составляет 11,67, из входящих в Перечень ВАК 40 научных изданий в результате применения алгоритма оценки достаточности журналов в Перечне необходимо исключить 26.

При среднем же количестве защит, сопоставимом с количеством журналов, входящих в Перечень, значение показателя достаточности не превышает медианное значение и, соответственно, множество журналов $\{Ж_{искл}\}$ будет пустым. Например, по НС «08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям

Таблица 1

Пример данных тестового расчета

Наименование научной специальности/ Отрасль наук	Защиты				Кол-во журналов	Показатель достаточности	Количество журналов, из которых следует удалить НС
	2016	2017	2018	Среднее			
08.00.05 — Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)/ Экономические науки	605	513	436	518,00	372	0,72	0
22.00.01 — Теория, методология и история социологии / Социологические науки	14	8	13	11,67	40	3,43	26
23.00.04 — Политические проблемы международных отношений, глобального и регионального развития / Политические науки	41	42	24	35,67	84	2,36	40

и сферам деятельности)», по которой в Перечне ВАК присутствует наибольшее количество журналов – 372, а среднее количество защит за последние 3 года – 518 и в данном случае DZ_i=1,4, такое количество журналов оправдано. Но следует иметь ввиду, что по многим НС количество защит ежегодно уменьшается, и в последующие годы такое количество журналов может стать уже избыточным.

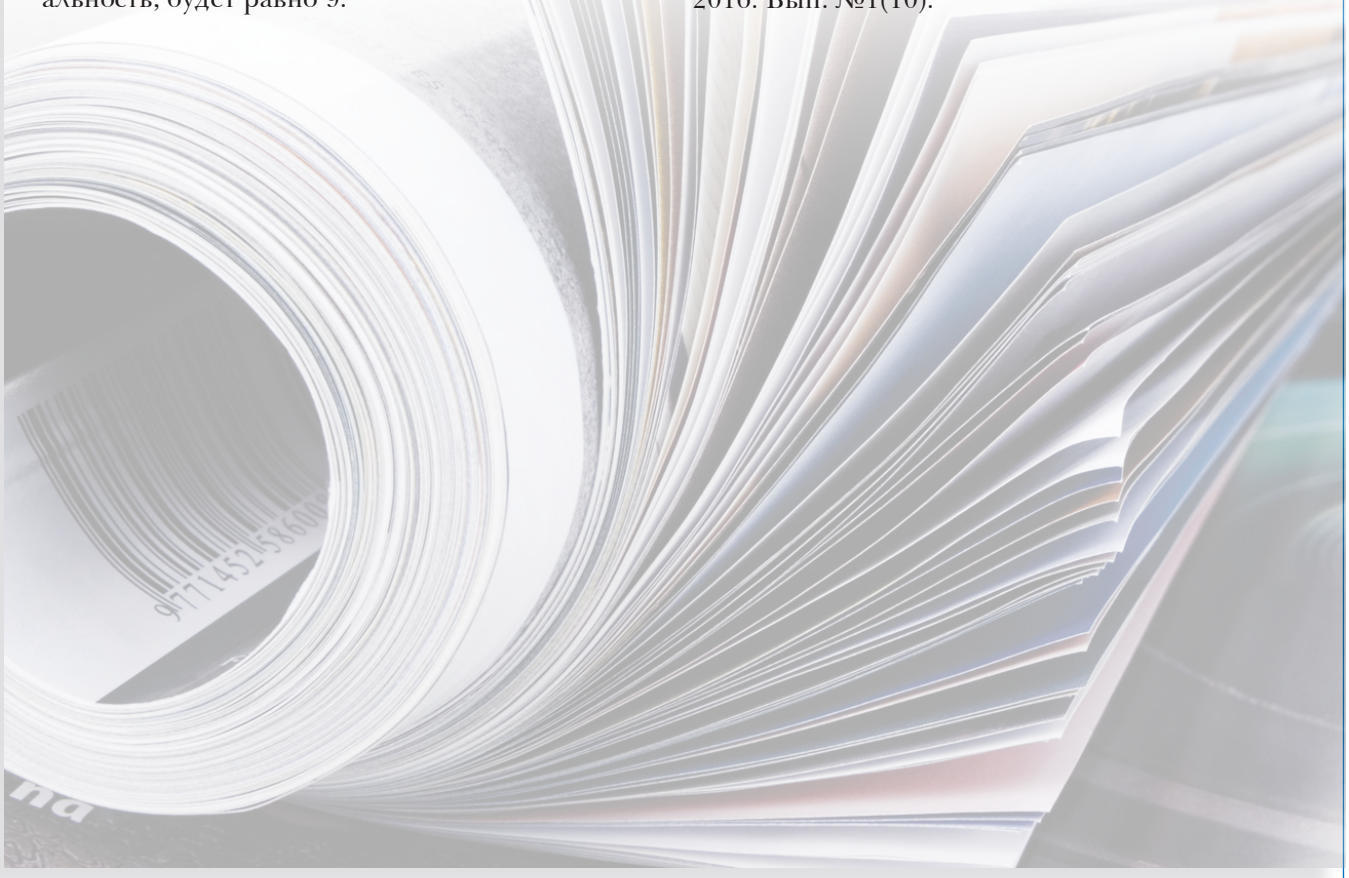
Принципиальным вопросом в оценке достаточности журналов в Перечне является определение порогового уровня показателя достаточности. Так, если для расчета порогового значения принять квантиль 0,75 (75-персентиль, верхний квартиль), то $D_{0,75}$=2,69 и в рассмотренных выше примерах получим:

- для НС «23.00.04 – Политические проблемы международных отношений, глобального и регионального развития» (показатель достаточности DZ_i=2,36) и «08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)» (показатель достаточности DZ_i=0,72), не выполняется условие $DZ_i>D_{0,75}$, и по этим НС все журналы остаются в Перечне ВАК;
- для НС «22.00.01 – Теория, методология и история социологии», где показатель достаточности DZ_i=3,43, количество журналов, из которых следует удалить рассматриваемую специальность, будет равно 9.

Для отбора же журналов $Ж_{иска}$, в которых надо будет исключить рассматриваемую специальность k, необходимо построить рейтинг журналов по этой специальности [3-5] и исключить худшие.

Литература

1. Мониторинг по основным направлениям деятельности образовательной организации высшего образования за 2018 г. М: Минобрнауки РФ. 2018. 75с. // https://legalacts.ru/doc/metodika-rascheta-pokazatelei-monitoringa-effektivnosti-obrazovatelnykh-organizatsii-vysshego-obrazovanija_1/.
2. Г. Корн, Т. Корн. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М: Наука, 1970. 720с.
3. Емелин Н.М. Информационное обеспечение мониторинга рецензируемых научных изданий // Известия Института инженерной физики, 2016. №1(39). С.75-78.
4. 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.
5. Клюшникова Е.В., Шитова Е.М. Методические подходы к расчету интегрального показателя. Методы ранжирования. Тверь: Электронный научно-практический журнал «ИнноЦентр», 2016. Вып. №1(10).



УДК 524.83

ВЫЧИСЛЕНИЕ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НАД ПОЛЯМИ ГАЛУА НА ОСНОВЕ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛЕЙ НА ПОДПОЛЯ

CALCULATION OF ARITHMETIC OPERATIONS OVER FIELDS GALOUS ON THE BASIS OF DECOMPOSITION OF FIELDS ON SUBFIELDS

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
В статье рассмотрены методы уменьшения сложности операций умножения и деления над полями Галуа на основе разложения расширения поля на подполя. Описан выбор элементов расширений полей для разложения элементов поля. Показано уменьшение сложности программной реализации и сокращение объема памяти для хранения таблиц индексов и антииндексов. Приведены примеры вычислений.
Ключевые слова: поле Галуа, примитивный элемент поля, разложение расширения поля на подполя, таблицы индексов и антииндексов, арифметические операции над полем Галуа.

Summary
In article methods of reduction of complexity of operations of multiplication and division over fields Galous on the basis of decomposition of expansion of a field on subfields are considered. The choice of elements of expansions of fields for decomposition of elements of a field is described. Reduction of complexity of program realisation and reduction of a memory size for storage of tables of indexes and antiindexes is shown. Examples of calculations are resulted.
Keywords: Field Galous, primitive element of a field, decomposition of expansion of a field on subfields, tables of indexes and antiindexes, arithmetic operations over field Galous.

Введение

В помехоустойчивом кодировании, криптографии, обработке цифровых сигналов и других областях выполняют арифметические операции над полем Галуа $GF(p^m)$. Наибольшие затруднения вызывает выполнение операций умножения и деления. Умножение и деление элементов поля обычно выполняют по таблицам индексов и антииндексов (таблицам логарифмов и антилогарифмов) [1]. Однако, объем памяти для хранения таблиц оценивается величиной $O(2p^m)$, и для больших m возникают затруднения из-за возрастания объема таблиц. В работе [2] рассмотрена конструкция вложения полей, которую называют башней полей. На ее основе предложены булевские схемы умножения и инвертирования элементов и приведены оценки сложности. В [3,4] описаны схемные реализации арифметических операций в композитных бинарных полях. В перечисленных работах сложность оценивают числом логических элементов в схеме, а глубина схемы – величиной самой длинной цепочки элементов, связывающей входы схемы с ее выходами. Однако, в практических приложениях арифметику конечных полей часто реализуют программным путем, и сложность оценивают числом операций и объемом памяти для хранения таблиц. В [5,6] описано выполнение умножения и деления над полями Галуа $GF(p^{2m})$ на основе разложения расширения поля на подполя и даны оценки сложности программной реализации. В настоящей работе описан более

общий и простой подход к выполнению арифметических операций на основе разложения расширения поля Галуа $GF(p^{2m})$ на подполя $GF(p^m)$, допускающий рекурсивные вычисления. При этом объем памяти для хранения таблиц уменьшается примерно в $O(p^m)$ раз.

1. Общий подход к вычислениям на основе разложения

Разложение расширения поля на подполя есть представление элементов расширения поля $\tilde{n} \in GF(p^{2m})$ в виде

$$c = a + \beta b, \qquad (1)$$

где a,b – элементы подполя $a,b \in GF(p^m) \subset GF(p^{2m})$, β – элемент расширения поля, $\beta \in GF(p^{2m})$, $\beta \notin GF(p^m)$.

Умножение элементов поля $GF(p^{2m})$ в виде разложения (1)

$$d = c_1 c_2 = (a_1 + \beta b_1)(a_2 + \beta b_2) = a_1 a_2 + \beta^2 b_1 b_2 + \beta(a_1 b_2 + a_2 b_1). \qquad (2)$$

Деление есть умножение на обратный элемент поля

$$c^{-1} = \frac{1}{a + \beta b}. \qquad (3)$$

Отсюда, обратный элемент в виде разложения

$$c^{-1} = \frac{a - \beta b}{a^2 - \beta^2 b^2} = \frac{a}{a^2 - \beta^2 b^2} - \beta \frac{b}{a^2 - \beta^2 b^2}. \qquad (4)$$

В выражения (2) и (4) входит элемент β^2. Общий подход заключается в разложении β^2 и подстановке его в (2) и (4). Тогда выполняются только операции в подполе $GF(p^m)$, что требует меньшего объема таблиц, чем вычисления в расширении поля $GF(p^{2m})$. Для полей $p \neq 2$ и полей $p = 2$ подходы к разложению β^2 будут различаться. Для полей характеристики $p \neq 2$ можно выбрать

$$\beta \in GF(p^{2m}), \quad \beta^2 \in GF(p^m)$$

и операции выполняются наиболее просто.

2. Вычисления над полями $GF(p^{2m})$, $p \neq 2$

Пусть α – примитивный элемент расширения поля $GF(p^{2m})$, тогда ненулевые элементы подполя $GF(p^m)$

$$a = \alpha^{(p^m+1)i}, \quad i = 0,1,\ldots,p^m - 2.$$

Поскольку $p \neq 2$, то $p^m + 1$ – четное, и можно выбрать элемент

$$\beta = \alpha^{\frac{p^m+1}{2}}, \qquad (5)$$

который будет удовлетворять условиям $\beta \notin GF(p^m)$, а $\beta^2 \in GF(p^m)$.

При таком выборе элемента β вычисления (2) и (4) сразу дают разложение в подполях. Для умножения требуется 5 умножений и 2 сложения над подполем Галуа $GF(p^m)$. Для вычисления обратного элемента требуется 3 умножения, 1 сложение и 2 деления над подполем $GF(2^m)$. Объем таблиц будет оцениваться величиной $O(2^{m+1})$, вместо величины $O(2^{2m+1})$ для расширения поля. Таким образом, объем таблиц существенно уменьшается.

3. Поля $GF(p^{2m})$, $p \neq 2$, $p \neq 5$

Дальнейшее упрощение возможно для расширений полей $GF(p^{2m})$, $p \neq 2$ и $p \neq 5$ за счет мнимой единицы

$$i = \alpha^{\frac{p^{2m}-1}{4}}.$$

где α – примитивный элемент поля $GF(p^2)$.

Понятно, что $i^4 = 1$, отсюда одно из решений $i^2 = -1$.

Положим $\beta = i$ и умножение на элемент $\beta^2 = -1$ в (2) и (4) выполняется очень просто, что упрощает операции умножения и деления.

Формулы для умножения и вычисления обратного элемента

$$d = c_1 c_2 = a_1 a_2 - b_1 b_2 + i(a_1 b_2 + a_2 b_1), \qquad (6)$$

$$c^{-1} = \frac{1}{a + ib} = \frac{a}{a^2 + b^2} - i\frac{b}{a^2 + b^2}. \qquad (7)$$

Количество умножений в (6) и (7) над подполем Галуа $GF(p^m)$ уменьшается на 1 по сравнению с вычислениями (2) и (4). Формулы (6) и (7) совпадают с обычными формулами для умножения и деления комплексных чисел в декартовой системе координат.

4. Поля характеристики $p = 2$

Наиболее сложными будут вычисления в полях $GF(2^{2m})$. Покажем, что для этих полей можно выбрать $\beta \in GF(2^{2m})$, $\beta \notin GF(2^m)$, чтобы выполнялось

$$\beta^2 + \beta + k = 0, \qquad (8)$$

где $k \in GF(2^m)$.

Необходимым и достаточным условием решения квадратного уравнения (8) является равенство нулю следа элемента

$$k \in GF(2^m),$$

$$Tr(k) = \sum_{i=0}^{m-1} k^{2^i} = 0 \ [7].$$

При $Tr(k) = 1$ корни уравнения (8) принадлежат расширению $GF(2^{2m})$. Решение квадратного уравнения (8) в расширении $GF(2^{2m})$ запишется [8]

$$\beta = \sum_{i=0}^{2m-2} \left(\sum_{j=0}^{i} k^{2^j}\right) \gamma^{2^i}, \qquad (9)$$

где $\gamma \in GF(2^{2m})$ – любой элемент, для которого $Tr(\gamma) = 1$.

Для такого β можно записать $\beta^2 = \beta + k$. Тогда, умножение (2)

$$d = a_1 a_2 + k b_1 b_2 + \beta(b_1 b_2 + a_1 b_2 + a_2 b_1). \qquad (10)$$

Обратный элемент поля запишем

$$c^{-1} = \frac{1}{a + \beta b} = e + \beta f.$$

Отсюда

$$ae + \beta^2 bf + \beta(af + be) = 1.$$

Подставляя в последнее уравнение $\beta^2 = \beta + k$,

получим

$$ae + kbf + \beta(af + be + bf) = 1.$$

В силу однозначности разложения система линейных уравнений относительно e и f будет

$$\begin{cases} ae + kbf = 1 \\ be + (a+b)f = 0 \end{cases}.$$

Решая систему уравнений, обратный элемент

$$c^{-1} = \frac{a+b}{a^2+ab+kb^2} + \beta\frac{b}{a^2+ab+kb^2}, \qquad (11)$$

где $a^2 + ab + kb^2 \neq 0$.

Для нечетных m можно взять $k=1$, $Tr(k)=1$, $k \in GF(2^m)$ тогда $\beta^2=\beta+1$ и формулы (10), (11) упростятся

$$d = a_1a_2 + b_1b_2 + \beta(b_1b_2 + a_1b_2 + a_2b_1). \qquad (12)$$

$$c^{-1} = \frac{a+b}{a^2+ab+b^2} + \beta\frac{b}{a^2+ab+b^2}. \qquad (13)$$

Согласно (10) для умножения над полем $GF(2^{2m})$ требуется 5 умножений и 3 сложения над подполем Галуа $GF(2^m)$, а согласно (12) – на одно умножение меньше. Для вычисления обратного элемента над полем $GF(2^{2m})$, согласно (11), требуется 4 умножения, 3 сложения и 2 деление над подполем $GF(2^m)$, а согласно (13) – на одно умножение меньше.

5. Рекурсивные вычисления на основе разложения поля

Приведенные формулы для умножения и деления позволяют выполнять рекурсивные вычисления над полем Галуа $GF(p^m)$, $m=2^rq$, вдвое уменьшая порядок поля на каждом шаге рекурсии. Например, вычисления по формуле (2) при выполнении r итераций требуют 5^r умножений и 2^r сложений в подполе $GF(p^q)$. Вычисления (4) требуют 3^r умножений, r сложений и 2^r делений в подполе $GF(p^q)$. Объем памяти сокращается в p^{2^r} раз. При увеличении шагов рекурсии число операций в подполях возрастает, но весьма существенно сокращается объем памяти для хранения таблиц. Рекурсию останавливают на шаге, обеспечивающем компромисс между числом операций в подполях и объемом памяти для хранения таблиц.

6. Примеры

Пример 1. Умножение и деление над полем Галуа $GF(5^2)$ с порождающим многочленом $g(x) = x^2+x+2$.

Разложение поля запишем через элемент $\beta=\alpha^3$,

$$\beta \in GF(5^2), \quad \beta \notin GF(5),$$
$$\beta^2 = \alpha^6 = 2 \in GF(5),$$

где α – примитивный элемент поля $GF(5^2)$.

Пусть

$$c_1 = 3 + 4\beta = \alpha + 1 = \alpha^{17}$$

и

$$c_2 = 1 + 2\beta = 3\alpha = \alpha^{19},$$

Тогда умножение

$$d = c_1c_2 = (3+4\beta)(1+2\beta) = 3\cdot1 + \beta^2 4\cdot2 + (4\cdot1+3\cdot2)\beta = 4 = \alpha^{12}.$$

Проверка:

$$c = \alpha^{17}\cdot\alpha^{19} = \alpha^{12}.$$

Обратный элемент

$$c_2^{-1} = \frac{1}{1+2\beta} = \frac{1}{3} - \beta\frac{2}{3} = 2 + \beta$$

Деление

$$s = c_1\cdot c_2^{-1} = (3+4\beta)\cdot(2+\beta) = 6 + 2\cdot4 + (2\cdot4+3)\beta = 4 + \beta = \alpha^{22}.$$

Проверка:

$$c = \alpha^{17}\cdot\alpha^{-19} = \alpha^{22}.$$

Пример 2. Умножение и деление над полем Галуа $GF(3^2)$ с порождающим многочленом $g(x) = x^2+x-1$.

В *таблице 1* представлены индексы элементов поля, степенной базис и разложение через мнимую единицу. Мнимая единица поля

$$GF(3^2)\cdot i = \alpha^2 = -\alpha + 1,$$

где α – примитивный элемент поля $GF(3^2)$,

$$\cdot i^2 = \alpha^4 = -1 \in GF(3).$$

Умножение и деление элементов поля $c_1=\alpha-1$ и $c_2=-\alpha-1$. Выбранные элементы через мнимую единицу i: $c_1=-1$ и $c_2=1+i$.

Таблица 1

Элементы поля $g(x)=x^2+x-1$

Индекс	Элемент в степенном базисе	Разложение через мнимую единицу
∞	0	0
0	1	1
1	α	1-i
2	-α+1	i
3	-α-1	1+i
4	-1	-1
5	-α	-1+i
6	α-1	-i
7	α+1	-1-i

Умножение:

$$d = c_1c_2 = (-i)(1+i) = 1 - i = \alpha.$$

Проверка:

$$c_1=\alpha^6,\ c_2=\alpha^3 \text{ и } d=c_1c_2=\alpha^6\alpha^3=\alpha.$$

Деление. Вычисляем обратный элемент

$$c_2^{-1} = \frac{1}{1+i} = \frac{1}{1+1} - i\frac{1}{1+1} = -1 + i\cdot$$

Умножение на обратный элемент

$$s = c_1c_2^{-1} = (-i)(-1+i) = 1 + i = \alpha^3.$$

Проверка:

$$d = c_1\cdot c_2^{-1} = \alpha^6\cdot\alpha^{-3} = \alpha^3.$$

Пример 3. Умножение и деление элементов поля $GF(2^4)$ с порождающим многочленом $g(x) = x^4+x^2+1$.

Для вычислений и проверки используются *таблицы 2-4*.

Таблица 2

Индексы подполя $GF(2^2), g(x)=x^2+x+1$

Индекс	Элемент
0	1
1	ε
2	1+ε

Таблица 3

Индексы поля $GF(2^4), g(x)=x^4+x+1$

Индекс	Элемент	Индекс	Элемент
0	1	8	1+α2
1	α	9	α+α3
2	α2	10	1+α+α2
3	α3	11	α+α2+α3
4	1+α	12	1+α+α2 + α3
5	α+α2	13	1+α2+α3
6	α2+α3	14	1+α3
7	1+α+α3		

ε и α – примитивные элементы поля $GF(2^2)$ и $GF(2^4)$.

$$\varepsilon = \alpha^5 = \alpha + \alpha^2.$$

Таблица 4

Разложение расширения поля в подполях

Индекс	Разложение элемента	Индекс	Разложение элемента
0	1	8	1+ε+β
1	β	9	ε+βε
2	ε+β	10	1+ε
3	ε+β(1+ε)	11	β(1+ε)
4	1+β	12	1+β(1+ε)
5	ε	13	1+βε
6	βε	14	1+ε+β(1+ε)
7	1+ε+βε		

Для поля $GF(2^2)$, $Tr(\varepsilon)=1$, и в (4) можно положить $k=\varepsilon$ и тогда $\beta=\alpha$.

Пусть элементы расширенного поля

$$c_1=1+\varepsilon+\beta\varepsilon, \text{ а } c_2=\varepsilon+\beta(1+\varepsilon).$$

Умножение элементов поля по формуле (4)

$$c=c_1c_2=(1+\varepsilon+\beta\varepsilon)(\varepsilon+\beta(1+\varepsilon))=(1+\varepsilon)\varepsilon+\varepsilon\cdot\varepsilon(1+\varepsilon)+$$
$$+\beta(\varepsilon(1+\varepsilon)+(1+\varepsilon)(1+\varepsilon)+\varepsilon\cdot\varepsilon)=1+\varepsilon.$$

Проверка: $c_1=\alpha^7$, $c_2=\alpha^3$ и произведение

$$d=\alpha^7\cdot\alpha^3=\alpha^{10}=1+\varepsilon\cdot$$

Для вычисления обратных элементов поля используется таблица обратных элементов подполя.

Таблица 5

Обратные элементы подполя $GF(2^2)$

Аргумент	Функция
1	1
ε	1+ε
1+ε	ε

Пусть элемент расширенного поля $c=1+\beta$, тогда по формуле (13)

$$a^2+ab+kb^2=1+1+\varepsilon\cdot1=\varepsilon,$$

и, обратный элемент поля по таблице 5

$$c^{-1}=\beta(1+\varepsilon).$$

Проверка: $c=\alpha^4$, $c^{-1}=\alpha^{11}$ и

$$c\cdot c^{-1}=\alpha^{15}=1.$$

Выводы

Предложено вычисление арифметических операций над полями Галуа на основе разложения полей на подполя. Показано, что объем таблиц индексов и антииндексов, будет оцениваться величиной $O(2^{m+1})$, вместо величины $O(2^{2m+1})$ при традиционном подходе. Таким образом, объем таблиц существенно уменьшается, что позволяет упростить многие приложения полей Галуа.

Литература

1. Мак-Вильямс, Ф. Дж., Слоэн Н. Дж. А. Теория кодов, исправляющих ошибки. Пер. с англ. М.: Связь, 1979. 744 с.
2. Afanassiev V. B., Davydov A. A. Finite field tower: iterated presentation and comlpexity of arithmetic // Finite Fields Appl, 2002. Vol. 8. Pp.216-232.
3. Guajardo J., Guneysu T., Kumar S., Paar C., Pelzl J. Efficient hardware implementation of finite fields with application to cryptography // Acta Appl. Math, 2006. Vol.93. Pp.75-118.
4. Paar C., Fleischmann P., Soria-Rodriges P. Fast arithmetic for public-key algorithms in Galois fields with composite exponents // IEEE Trans. Comput, 1999. Vol.48. №10. Pp.1025-1034.
5. Квашенников В.В. Способ вычисления арифметических операций над полями Галуа $GF(p^{2m})$ // Телекоммуникации, 2016. №12. С.28-33.
Квашенников В.В. Способ вычисления арифметических операций над полями Галуа $GF(p^{2m})$, $p\neq2$ // Телекоммуникации, 2017 №5. С.2-6.
7. Chen C.L. Formulas for the Solutions of Quadratic Equations over $GF(p^m)$. / IEEE Trans. Inform. Theory. V.28. № 5. P. 792-794.
8. Квашенников В.В., Яковлев В.Г. Замечание о решении квадратных уравнений над полями Галуа // Проблемы передачи информации, 1987. №12. Т. 36. С.108-111.
9. Лидл Р., Нидеррайтер Г. Конечные поля. В 2-х томах. Т.1. Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 430 с.
10. Квашенников В.В. Патент РФ № 2639661 МПК H04L 1/20, G06F 7/44. Способ умножения и деления элементов конечных полей. Приор. 02.09.2016. Опубл. 21.12.2017. Бюл. №36.

УДК 623

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЁРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ МОРСКИХ НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ*

FEATURES OF THE USE OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS IN THE RECOGNITION OF MARINE SURFACE OBJECTS

Рамиль Равилевич Бикмаев
начальник отдела специального программного обеспечения навигационно-астрономических систем МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (915) 402-35-22

Ринат Наилевич Садеков
доктор технических наук, доцент
начальник научно-исследовательского отдела Военный инновационный технополис «ЭРА»
Адрес: 353456, Краснодарский край, Анапа, Пионерский пр., д. 28
Тел.: +7 (495) 693-30-91

Аннотация
Показана особенность применения свёрточной нейронной сети YOLO («You Only Look Once») при решении задачи распознавания морских надводных объектов на радиолокационных изображениях, полученных со спутника дистанционного зондирования Земли. Представлены результаты натурного эксперимента, в ходе которого выбрана оптимальная модель свёрточной нейронной сети и произведена оценка точности ее работы.

Ключевые слова: система технического зрения, радиолокационное изображение, свёрточная нейронная сеть, распознавание и локализация объекта.

Summary
A feature of the use of the YOLO convolutional neural network in solving the problem of recognizing marine surface objects in radar images obtained from the Earth's remote sensing satellite is shown. The results of a full-scale experiment are presented, during which the optimal model of a convolutional neural network is selected and the accuracy of its operation is estimated.

Keywords: vision system, radar image, convolutional neural network, object recognition and localization.

Введение

Важным инструментом для защиты морской среды и обеспечения безопасности на море является наблюдение за морскими надводными объектами с помощью технологии дистанционного зондирования Земли. Современные радиолокаторы с синтезированной апертурой антенной сантиметрового диапазона, размещаемые на борту летальных аппаратов (спутник или самолет), позволяют получать радиолокационное изображение (далее – РЛИ) с высоким разрешением (до 1 метра) независимо от погодных условий и времени суток. Однако применение методов технического зрения для распознавания и локализации судов на РЛИ остается сложной задачей и зависит от характеристик радиолокационного изображения, состояния морской поверхности и размера обнаруживаемой цели.

Анализ работ

В настоящее время известно несколько подходов к решению задачи распознавания и локализации морских (надводных) объектов:

- сравнение с шаблоном объекта [1-5];
- моделирование сцены [6-9];
- машинное обучение по признакам, сформированным вручную [10,11];
- использование свёрточных нейронных сетей [12].

Сравнение перечисленных подходов по шести критериям (точность локализация, качество распознавания, помехоустойчивость, вычислительная сложность алгоритма, затраты на подготовку инструмента, затраты на предварительную обработку изображения) показал, что использование свёрточных нейронных сетей является предпочтительным (*таблица 1*).

* Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-2102.2019.9.

Таблица 1

Сравнение основных подходов к распознаванию морских (надводных) объектов

Критерии / Подходы	Вычислительная сложность	Качество распознавания	Точность локализации	Помехоустойчивость	Затраты на подготовку	Затраты на предварительную обработку
Сравнение с шаблоном	Высокая	Среднее	Выше среднего	Низкое	Высокое	Высокое
Моделирование фона	Выше среднего	Среднее	Среднее	Низкое	Низкое	Высокое
Использование машинного обучения по признакам, определенным вручную	Средняя	Высокое	Высокое	Высокое	Высокие	Среднее
Использование свёрточных нейронных сетей	Выше среднего	Очень высокое	Очень высокое	Высокое	Высокие	Низкие

В классе сверточных нейронных сетей особенное предпочтение отдадим сверточной нейронной сети YOLO (далее - СНС YOLO), которая обладает:

- высокой точностью локализации за счет использования сетки вместо «скользящего окна» [13] и фильтрации с немаксимальным подавлением [14];
- значительным уровнем качества распознавания из-за применения параметров класса в методе оптимизации [15];
- достаточной помехоустойчивостью при обучении на наборе данных, в котором каждый класс представлен 2000 изображениями;
- необходимой вычислительной сложностью для работы в режиме реального времени, а также не требует затрат на предварительную обработку изображения.

Постановка задачи

СНС YOLO принимает на вход РЛИ, которое получено в диапазоне сантиметровых волн (С или Х диапазона). Изображение имеет геодезическую привязку в системе координат WGS-84. Морские (надводные) объекты подразделяются на два класса: корабль с большим (от 50000 тонн) и корабль с малым водоизмещением.

Требуется:

- реализовать метод, который распознает класс c надводного объекта, определяет размеры bx, by, bh, bw ограничивающей рамки и вычисляет достоверность его обнаружения pc;
- оценить качество распознавания (обнаружения и классификации) с использованием классических метрик – точность P, полнота R, F-мера (гармоническая средняя между точностью и полнотой) и точность локализации (mAP – mean average precision) по формулам

$$P = \frac{TP}{TP+FP}, \quad (1)$$

$$R = \frac{TP}{TP+FN}, \quad (2)$$

$$F = \frac{2 \times P \times R}{P+R}, \quad (3)$$

$$mAP = \frac{1}{N}\sum_{1}^{N}\frac{TP}{TP+FP}, \quad (4)$$

где TP – истинно-положительное решение;
TN – истинно-отрицательное решение;
FP – ложноположительное решение;

Таблица 2

Топология СНС YOLO

	Тип	Фильтр	Размер	Выход
	Слой свёртки	32	3 X 3	256 X 256
	Слой свёртки	64	3 X 3 / 2	128 X 128
1 X	Слой свёртки	32	1 X 1	
	Слой свёртки	64	3 X 3	
	Слой Residual			128 X 128
	Слой свёртки	128	3 X 3 / 2	64 X 64
2 X	Слой свёртки	64	1 X 1	
	Слой свёртки	128	3 X 3	
	Слой Residual			64 X 64
	Слой свёртки	256	3 X 3 / 2	32 X 32
8 X	Слой свёртки	128	1 X 1	
	Слой свёртки	256	3 X 3	
	Слой Residual			32 X 32
	Слой свёртки	512	3 X 3 / 2	16 X 16
8 X	Слой свёртки	256	1 X 1	
	Слой свёртки	512	3 X 3	
	Слой Residual			16 X 16
	Слой свёртки	1024	3 X 3 / 2	8 X 8
4 X	Слой свёртки	512	1 X 1	
	Слой свёртки	1024	3 X 3	
	Слой Residual			8 X 8
	Слой Avgpool		Глобальный	
	Слой Connected		1000	
	Активация Softmax			

N – количество распознанных объектов.

● определить оптимальные весовые параметры для СНС с учетом полученных метрик качества.

Описание решения

Для решения поставленной задачи применялась СНС YOLO версии 3 [16], которая имеет свою топологию, функцию потерь и метод оптимизации.

Топология. Архитектурно СНС YOLO состоит из 53 слоев, топология которых представлена в *таблице 2*.

Расчет размерности выходного слоя в зависимости от входного основывается на следующей зависимости

$$n^{[l]} = \left\lfloor \frac{n^{[l-1]} + 2p^{[l]} - f}{s^{[l]}} + 1 \right\rfloor,$$

где s – шаг;

p – отступ;

f – размерность фильтра.

Для глубокого машинного обучения выбраны РЛИ размером 256 на 256 пикселей. Поэтому, для нулевого слоя $s=1$, $p=1$, $f=3$, количество фильтров 32 (входной слой 256x256x3) после применения фильтра видоизменяется на 256x256x32.

Методы оптимизации. Идея глубокого обучения СНС заключается в подборе весовых параметров нейронов путем оптимизации функции потерь. Функция потерь СНС YOLO выглядит следующим образом

$$J(w,b) = \lambda_{coord} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^{B} I_{ij}^{obj} [(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2] +$$
$$\lambda_{coord} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^{B} I_{ij}^{obj} [(\sqrt{\omega_i} - \sqrt{\hat{\omega}_i})^2 + (\sqrt{h_i} - \sqrt{\hat{h}_i})^2] +$$
$$\sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^{B} I_{ij}^{obj} (C_i - \hat{C}_i)^2 + \sum_{i=0}^{S^2} I_{ij}^{obj} \sum_{ceclasses} (p_i(c) - \hat{p}_i(c))^2, \quad (5)$$

где I_i^{obj} обозначает, если объект появляется в ячейке i, а I_{ij}^{obj} обозначает, что j-й предикатор ограничивающей рамки в ячейке i «отвечает» за это предсказание;

x_i, y_i, ω_i, h_i – координаты ограничивающей рамки, определенные СНС;

$\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{\omega}_i, \hat{h}_i$ – координаты ограничивающей рамки в обучающей выборке;

C_i и $\hat{C}_i$ – определение класса СНС и ее оценка в обучающей выборке;

$p_i(c)$ и $\hat{p}_i(c)$ – вероятность появления класса, определенная СНС и набором данных.

Оптимизация функции потери $J(w,b)$ заключается в ее минимизации за счет подбора весов w и смещения b нейронов. Расчет их значений представляет собой цикл, в котором последовательно совершаются три шага:

1) по функции (5) рассчитываются текущие потери (алгоритм прямого распространения ошибки);

2) вычисляется текущий градиент (алгоритм обратного распространения ошибки),

3) обновляются параметры w и b (градиентный спуск).

Результатом оптимизации функции потерь является модель весовых параметров w и b для каждого слоя СНС.

Особенности локализации объектов распознавания. Из функции потерь (4) следует, что СНС YOLO использует для локализации объекта распознавания сетку, а не «скользящее окно» [15]. Идея ее использования наглядно представлена на *рисунке 1*.

Перед обучением РЛИ делится на ячейки размером $w=256$ и $h=256$. Для каждой ячейки определяется сопряженный вектор размерности 1x7. На *рисунке 1* он показан для ячейки из третьей строки и третьего столбца g_{33}. Итогом является тензор размерности 5x5x7. Для каждой ячейки вычисляется достоверность S по формуле

$$S = p_c * \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_c c_1 \\ p_c c_2 \end{bmatrix} \rightarrow \max_i (p_c c_i)$$

где c_1, c_2 – бинарный признак наличия класса объекта;

p_c – условная вероятность его распознавания.

Определив максимальное значение оценки достоверности для каждой ячейки сетки, в случае ненулевого значения элемент сетки очерчивается ограничительной рамкой. С учетом сетки (*рисунок 1*) обученная модель СНС YOLO будет предсказывать 5x5x7=175 ограничивающих рамок. Однако из них удаляются все рамки, у которых оценка достоверности S меньше порогового значения. Далее происходит фильтрация с немаксимальным подавлением (non-max suppression) оставшихся ограничивающих рамок. Для этого используется коэффициент Жаккара или *(Intersection over Union)*, который вычисляется как отношение площадей пересечения рамок к общей площади объединения по формуле:

$$IoU = \frac{S_1 \cap S_2}{S_1 \cup S_2},$$

где S_1 – площадь прогнозируемой, S_2 – площадь истинной ограничивающей рамки обучающего набора.

Значение IoU между двумя ограничивающими блоками всегда будет иметь значение между 0 и 1. Когда две рамки расходятся, пересечение

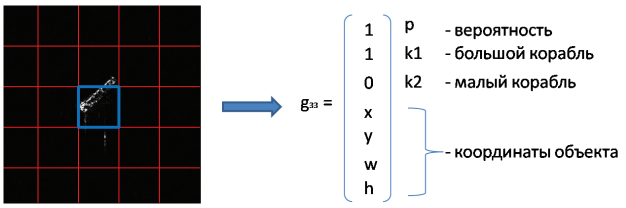


Рис. 1. Реализация сетки для локализации объектов

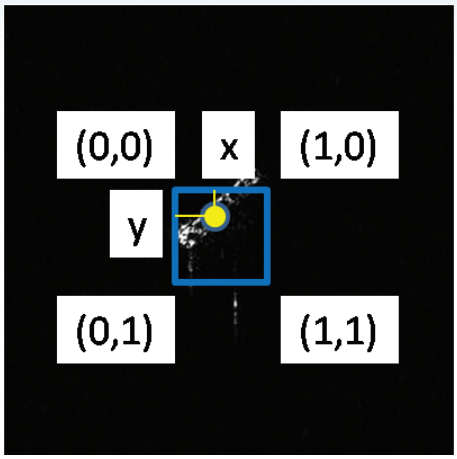


Рис. 2. Особенности определения координат объекта на изображении

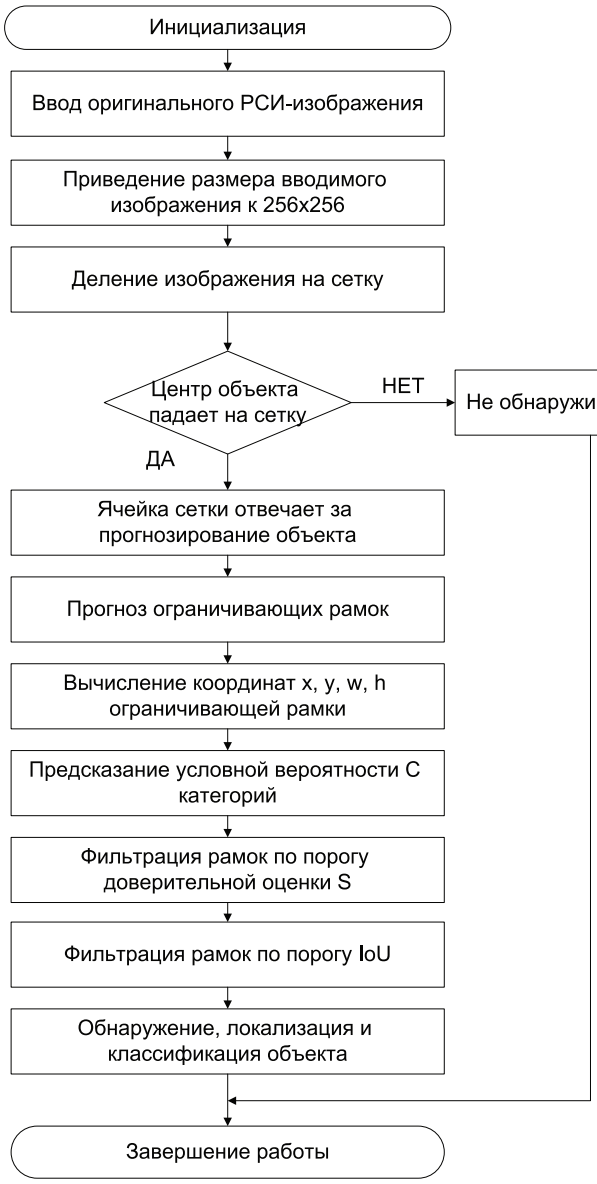


Рис. 3. Алгоритм обнаружения, локализации и классификации объектов CHC YOLO

приближается к 0, при их перекрытии *IoU* равно 1. CHC YOLO выбирает рамку из всего множества с коэффициентом Жаккара больше 0,5.

Во время разметки обучающего набора определяется середина каждого объекта на изображении, а затем назначается истинная ограничивающая рамка для ячейки сетки, которая содержит эту среднюю точку как показано на *рисунке 2*.

Ячейка, которая расположена выше синего квадрата (*рисунок 2*), содержит часть корабля, но рассматривается так, как если бы она не содержала объект, а значение p_c в сопряженном векторе ячейки равно нулю. Значения x и y определяют координаты центра ограничительной рамки относительно ячейки сетки как показано на рисунке 2. Ширина w и высота h ограничительной рамки объекта цели устанавливаются относительно всего изображения. По соглашению верхний левый угол ячейки сетки имеет координаты (0,0), а нижний правый угол имеет координаты (1,1). На *рисунке 2* центральная точка относительной системы координат ячейки сетки будет иметь x=0.4 и y=0.3.

Ширина w прогнозируемой ограничительной рамки равна 0.2, потому что она составляет около 20 процентов ширины всего изображения, а высота h равна 0.15, потому как занимает порядка 15 процентов высоты всего изображения.

Общий алгоритм обнаружения, локализации и классификации объектов CHC YOLO представлен на *рисунке 3*.

Результаты эксперимента

Для построения обучающего набора данных использовались 15 спутниковых изображений из Gaofen-3, 21 изображение Sentinel-1 и 12 РЛИ с самолета как показано в *таблице 3*.

Для глубокого машинного обучения с учителем CHC YOLO производилось 125000 итераций. В ходе обучения были получены весовые параметры CHC для каждой тысячной итерации обучения.

Выбор оптимальных весовых параметров осуществлялся с вычислением оценок метрик качества распознавания, на контрольной выборке, не вошедшей в обучающую.

Таблица 3

Источники данных для обучения

Сенсор	Разрешение (м)	Поляризация	Кол-во
Sentinel -1	От 1.7x4.3 до 3.6x4.9	Двойная	21
GF-3	3x3	Одинарная	8
GF-3	5x5	Двойная	7
Высота 1.2 км	1.5x1.5	Двойная	5
Высота 2.2 км	1.5x1.5	Двойная	7

Расчет данных метрик приведен на графике соотношений точности, полноты и F-меры (*рисунок 4*) в зависимости от числа итераций машинного обучения.

Из *рисунка 4* следует, что начиная с 25-тысячной итерации, значения метрик качества моделей обучения выходят на пологую траекторию, а гармоническая средняя или *F1*-мера не превышает значения 0.75.

Использование любой модели свыше 25 тысячи операций является необходимым, но не достаточным условием. В машинном обучении увеличение количества итераций приводит к переобучению модели: СНС очень точно распознает объекты из обучающей выборки, но плохо обнаруживает классы на тестовом наборе.

Для достижения достаточного условия для каждой модели обучения СНС YOLO вычисляется точность локализации.

Динамика изменения функции потерь и точности локализации в зависимости от увеличения числа итераций, приведенная на *рисунке 5*, показала, что значение mAP увеличивалось до 0.72 при 29 тысячах итераций, а затем приобрела пологую траекторию. В то же время значение потерь экспоненциально стремится к значению 0.1.

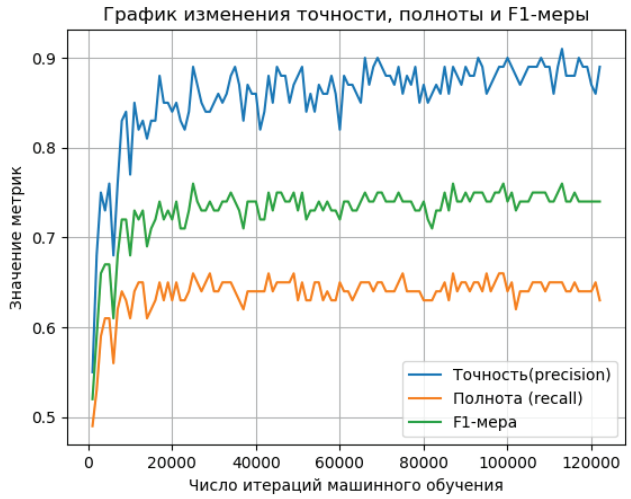


Рис. 4. График изменения метрик качества в зависимости от итерации

Максимальное значение точности локализации при низких значениях функции потери может считаться достаточным условием для выбора оптимальной модели. Более того, все модели с большим числом итераций машинного обучения можно считать переобученными, и не берутся в расчет.

Таким образом, оптимальным для обнаружения, локализации и классификации морских (надводных) объектов является модель СНС YOLOv3, которая сформирована на 29000 итераций машинного обучения с учителем.

Выбранная модель параметров весов совместно с файлом, описывающим топологию СНС, использовалась в программном обеспечении для распознавания морских надводных объектов.

На *рисунке 6* представлен пример вывода консольного приложения СНС YOLO совместно с библиотекой OpenCV для распознавания объектов на простой сцене. Судно первой категории распознано с вероятностью 0.9 и локализовано ограничивающей рамкой шириной 50 и высотой 101 пикселя. Причем верхний левый угол рамки имеет координату x=122 пикселей и y=68 пикселей. Имея геодезическую привязку РЛИ, можно рассчитать глобальные географические координаты судна.

В сложной сцене, когда на изображении могут располагаться несколько кораблей, выбранная модель СНС YOLO обнаруживает и локализует 2 морских объекта с малым водоизмещением как показано на *рисунке 7* с вероятностями (0.97, 0.88).

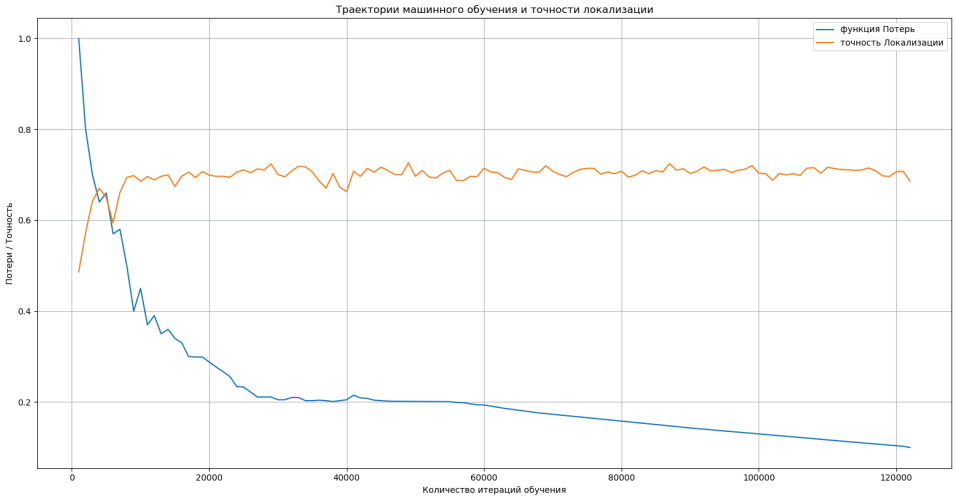


Рис. 5. Динамика изменения функции потерь и точности локализации

Оптимальная модель СНС YOLO, обученная на входных изображениях размером 256x256 пикселей, может распознавать несколько классов объектов. На *рисунке 8* консольное приложение принимает на вход изображение с двумя классами морских объектов. Первый класс объектов локализован и распознан с вероятностями 0.99 и 0.85. На границе изобра-

жения СНС обнаружила второй класс морского объекта, но с меньшей вероятностью 0.33.

Заключение

Обнаружение и локализация морских надводных объектов с использованием свёрточной нейронной сети увеличивает точность определения координат цели на РЛИ, обеспечивая более точную геодезическую привязку целей, и обладает достаточным быстродействием для работы в режиме реального времени.

Оптимальным для обнаружения, локализации и классификации морских (надводных) объектов выбрана модель СНС YOLO, которая получена машинным обучением на 29000 итерации. Она обладает самой высокой точностью локализации (72%) и удовлетворяет необходимому условию: имеет высокие метрики качества обучения.

Выбранную оптимальную модель параметров весов совместно с файлом, описывающим топологию СНС, можно эффективно использовать в программном обеспечении для распознавания морских надводных объектов.

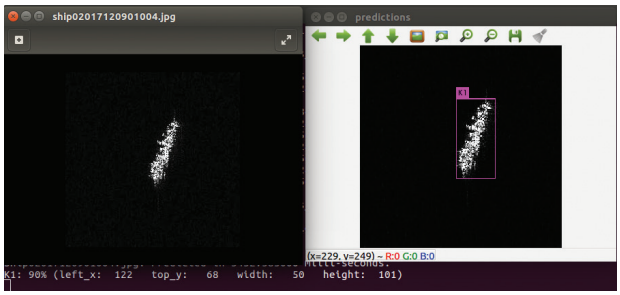


Рис. 6. Распознавание морского объекта в простой сцене

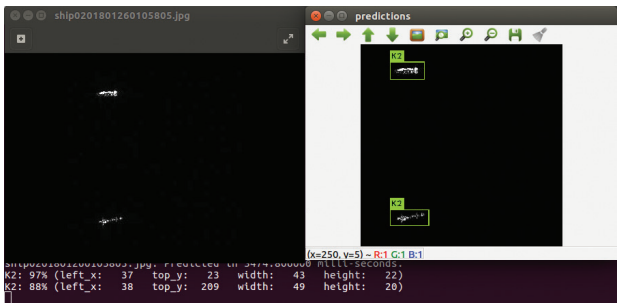


Рис. 7. Распознавание морских объектов в сложной сцене

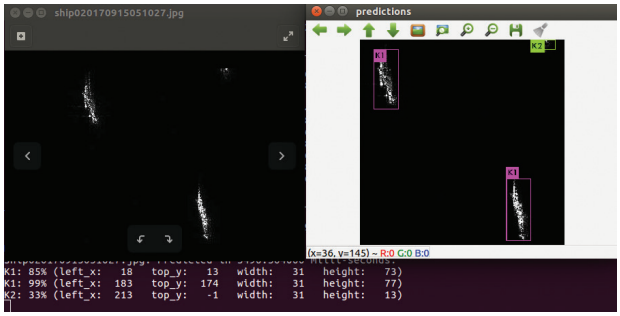


Рис. 8. Распознавание морских объектов нескольких классов

Литература

1. Kadyrov A., Yu H., Liu H. Ship Detection and Segmentation Using Image Correlation, 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Manchester, 2013. Pp.3119-3126.
2. Минаев Е.Ю. Информационная технология распознавания радиолокационных изображений на основе методов фрактального сжатия: дис. … канд. тех. наук. Самара, 2016. 109 с.
3. Ojala T., Pietikainenand M., Maenpaa T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns, Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002. №7. Pp.971-987.
4. Chen T., Chen L. A Union Matching Method for SAR Images Based on SIFT and Edge Strength. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2014. №12. Pp.4897-4906.
5. Yang F., Xu Q., Li B. Ship Detection From Optical Satellite Images Based on Saliency Segmentation and Structure-LBP Feature. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2017. №.5. Pp.602-606.
6. Wentao A., Chunhua X., Xinzhe Y. An improved iterative censoring scheme for CFAR ship detection with SAR imagery. Remote Sensing, 2014. №8. Pp.4585-4595.
7. Wang C., Liao M, Li X. Ship detector in SAR image based on the Alpha-stable distribution. Sensors, 2008. №8. Pp.4948-4960.
8. Iervolino P.; Guida, R. A Novel Ship Detector Based on the Generalized-Likelihood Ratio Test for SAR Imagery. Remote Sensing, 2017. №10. Pp.3616-3630.
9. Lang H., Zhang J., Zhang T., Zhao D., Meng J.. Hierarchical ship detection and recognition with high-resolution polarimetric synthetic aperture radar imagery. Remote Sensing, 2014. №8. Pp.178-183.
10. Song, S., Xu B., Yang J.. SAR Target Recognition via Supervised Discriminative Dictionary Learning and Sparse Representation of the SAR-HOG Feature. Remote Sensing, 2016. №8. Pp.683-692.
11. Lin, Huiping, Song, Shengli, Yang, Junyou. Ship Classification Based on MSHOG Feature and Task-Driven Dictionary Learning with Structured Incoherent Constraints in SAR Images. URL: https://doi.org/10.3390/rs10020190 (дата обращения 01.11.2019).
12. Chang, Yang-Lang, Anagaw, Amare, Chang, Lena, Wang, Chun Yi. Ship Detection Based on YOLOv2 for SAR Imagery. URL: https://doi.org/10.3390/rs11070786 (дата обращения 01.11.2019).
13. Sermanet P., Eigen D., Zhang X., Mathieu M., Fergus R., LeCun Y. OverFeat: Integrated Recognition, Localization and Detection using Convolutional Networks. URL: https://arxiv.org/abs/1312.6229v4 (дата обращения 01.11.2019).
14. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. URL: https://arxiv.org/abs/1506.02640 (дата обращения 01.11.2019).
15. Redmon J., Farhadi A. YOLO9000: Better, Faster, Stronger. URL: https://arxiv.org/abs/1612.08242 (дата обращения 01.11.2019).
16. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement. URL: https://arxiv.org/abs/1804.02767 (дата обращения 01.11.2019).

УДК 615

ИННОВАЦИОННЫЙ ПРЕПАРАТ «ТАМЕРОН»

INNOVATIVE DRUG «TAMERON»

Алексей Николаевич Царьков
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
Президент Института –
Председатель Правления Института
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210 Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967) 35-31-93
E-mail: info@iifmail.ru

Елена Александровна Царькова
советник Генерального директора
АО «Столетика»
Адрес: 142210, Московская область,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 12-84-88
E-mail: info@stoletika.ru

Аннотация
Статья посвящена обзору результатов исследований инновационного препарата «ТАМЕРОН», описанию особенностей его действия, значимости для восстановления организма человека. Также в статье определены перспективы развития инновационного препарата «ТАМЕРОН».
Ключевые слова: инновационный препарат, исследования, технологии, активная фармацевтическая субстанция.

Summary
The article is devoted to a review of the research results of the innovative drug «TAMERON», a description of the features of its action, its significance for the restoration of the human body. The article also defines the prospects for the development of the innovative drug «TAMERON».
Keywords: innovative drug, research, technology, active pharmaceutical substance.

Одной из приоритетных задач государственной политики в области здравоохранения является развитие медицинской науки и инноваций в сфере здравоохранения, предполагающее, прежде всего, формирование и выполнение научных программ по приоритетным направлениям в целях поддержания здоровья населения и формирование здорового образа жизни, разработки и внедрения новых эффективных технологий профилактики, диагностики и лечения социально-значимых заболеваний в практику системы здравоохранения [1].

С 2012 года в Институте инженерной физики активно развернулись медико-биологические исследования. Важнейшая отличительная черта, определившая цель и траекторию развития данного направления заключается в ориентации на отечественные разработки и инновации в области фармацевтики, медицинских изделий и новой медицинской техники.

Одним из наиболее сложных вопросов проектирования медико-биологического производства стал отбор препаратов и изделий, на которые хватит сил, знаний, материальных и человеческих ресурсов. Упорная работа, не без ошибок и сбоев, предшествовала определению первых практических целей медико-биологических исследований, которые могут быть материализованы в продукции, планируемой для изготовления на создаваемом при Институте новом производственном комплексе. При формировании перечня будущей продукции выбор строился на основе анализа острой и устойчивой потребности здравоохранения в будущей продукции и многократном проведении натурных испытаний реализуемости в производственных условиях принятых к рассмотрению предложений [2].

Среди лекарственных средств в настоящее время на первый план вышли препараты, обладающие иммунокорректорными свойствами. Благодаря нашему современному производственному комплексу с высокотехнологичным

оборудованием (Лицензия на осуществление производства лекарственных средств выдана МОУ «ИИФ» Минпромторгом России 27 января 2016 г., №00168-ЛС, бессрочно), а также благодаря профессионализму наших ученых мы разработали, апробировали и подготовили к производству инновационный препарат «ТАМЕРОН», который предназначен в качестве иммуномодулирующего и противовоспалительного средства в комплексной терапии иммунодефицитных состояний.

Механизм действия препарата связан с его способностью воздействовать на функционально-метаболическую активность фагоцитарных клеток (моноцитов/макрофагов, нейтрофилов, естественных киллеров). Кроме того, «ТАМЕРОН» нормализует антителообразование, опосредовано стимулирует выработку эндогенных интерферонов (ИФН-а, ИФН-у).

При воспалительных заболеваниях препарат обратимо на 6-8 часов ингибирует избыточный синтез гиперактивированными макрофагами фактора некроза опухолей-α, интерлейкина-1, интерлейкина-6 и других провоспалительных цитокинов, активных форм кислорода, уровень которых определяет степень воспалительных реакций, их цикличность, а также выраженность интоксикации и уровень оксидантного стресса. Нормализация функционального состояния макрофагов приводит к восстановлению антигенпредставляющей и регулирующей функции макрофагов, снижению уровня аутоагрессии. Стимулирует бактерицидную активность нейтрофильных гранулоцитов, усиливая фагоцитоз и повышая неспецифическую резистентность организма к инфекционным заболеваниям.

Макрофаги – основные клетки иммунной системы, обладающие активной подвижностью и выраженной способностью к фагоцитозу – поглощению и разрушению (патогенные бактерии, погибающие клетки тканей, патологические частицы). Макрофаги находятся в тканях.

Макрофаги, а также другие антигенпредставляющие клетки, являются первыми клетками, инициирующими развитие неспецифической резистентности и специфического иммунитета [3].

Несколько примеров разновидностей макрофагов, в зависимости от локализации, представлены на *рисунке 1* [4].

Кроме того, макрофаги уничтожают погибшие клетки, которые завершили свое существование процессом апоптоза (запрограммированная, естественная, нормальная гибель клеток). Также функции макрофагов заключаются в обеспечении противоопухолевого иммунитета: зафиксировав появление в организме атипичных, раковых клеток, макрофаги нападают на них и поедают.

Основными функциями макрофагов являются:

- особая переработка антигенных компонентов;
- уничтожение патогенна путем активирования ферментов и лизосомов;
- участие в синтезе антител;
- взаимодействие в образовании иммунного ответа с лимфоцитами типа В и Т;
- синтезируют трансферины, составляющие системы комплимента, лизоцимы, интерфероны, пирогенны, а так же другие антибактериальные вещества;
- участвуют в образовании антибактериального и противовирусного иммунитетов;
- способствуют выведению и снижению скорости распространения инфекции, обеспечивая связь антитело-антиген;
- поддерживает цитотоксическое действие лейкоцинтарной системы против онкологии лимфоцитной системы и др.

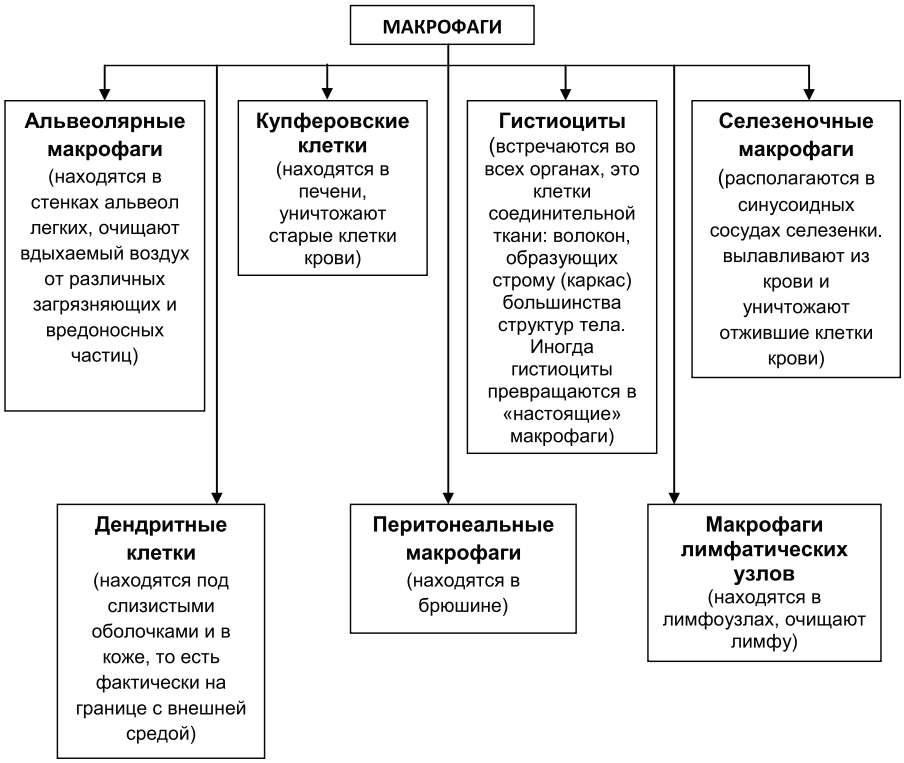


Рис. 1. Разновидности макрофагов в зависимости от их локализации

Принцип действия инновационного препарата «ТАМЕРОН» заключается в его способности активно влиять на гиперактивированные макрофаги.

Аналогами препарата «ТАМЕРОН» являются отечественные лекарственные средства «Тамерит» (в настоящее время в России не производится и регистрация прекращена) и «Галавит» (регистрационный номер PN000088/02 от 02.06.2010).

«ТАМЕРОН» имеет лучшую биодоступность и повышенную активность, чем его аналоги, благодаря оригинальной новой технологии его получения [5].

Производство активной фармацевтической субстанции (АФС) аминодигидрофталазиндион натрия по заказу Института инженерной физики как держателя технологии осуществляется на производственной площадке химико-фармацевтической компании ООО «БИОН» (г. Обнинск, ГНУ «ВНИИСХРАЭ») в соответствии с требованиями Правил надлежащей производственной практики (GMP).

В течение 2016-2019 гг. проводилось изучение стабильности активной фармацевтической субстанции согласно ГФ XIII, ОФС.1.1.0009.15 «Сроки годности лекарственных средств». Результат показал, что АФС стабильна, и ее физико-химические и биологические показатели качества изменяются в пределах, удовлетворяющих требованиям проекта нормативной документации.

Применение запатентованной технологии получения активной фармацевтической субстанции аминодигидрофталазиндион натрия [5] гарантирует высокое качество и воспроизводимость результата при полном отсутствии механических, химических и биологических примесей.

В состав препарата «ТАМЕРОН» входят химические вещества, способные нормализовать фагоцитарную активность моноцитов/макрофагов, бактерицидную активность нейтрофилов и цитотоксическую активность NK-клеток, при этом, восстанавливая сниженную активность клеток врожденного и адаптивного иммунитета.

Во время действия препарата происходит нормализация функционального состояния макрофагов, восстанавливается нормальная продукция цитокинов и антигенпрезентирующая функция.

Доклинические исследования препарата, проведенные в 2017 году в НИЦ ТБП – филиал ФГБУ «ГНЦ Институт иммунологии ФМБА России», проходили в несколько этапов, в частности:

1. Изучение острой токсичности препарата.
2. Изучение хронической токсичности препарата.
3. Изучение фармакокинетики препарата.

Другие этапы исследований будут подробно представлены в следующих статьях.

На первом этапе исследования была проведена оценка параметров острой токсичности препарата в сравнении с препаратом «Галавит» на крысах при внутримышечном введении с определением переносимых, токсических и летальных доз. Сравнительную оценку проводили при однократном введении препарата в дозах 40, 200, 1000 мг/кг по субстанции, что соответствует 14-, 70- и 350-кратным терапевтическим дозам для человека. В результате испытаний выявлено, что значения летальной дозы исследуемых препаратов превышает максимальную испытанную дозу – 1000 мг/кг. Препараты не обладают местным раздражающим действием. Препарат «ТАМЕРОН» имеет высокий терапевтический индекс. Показано, что препарат не имеет токсичности и убирает накопившуюся токсичность от других препаратов.

Изучение хронической токсичности препарата проводили на крысах, которым в течение 14 дней ежедневно внутримышечно вводили препарат в дозах 18 и 125 мг/кг по субстанции, что соответствует 6- и 44-кратным терапевтическим для человека дозам. По результатам наблюдений за общим состоянием животных, результатам гематологических анализов периферической крови, биохимических анализов сыворотки крови, клинических анализов мочи и патоморфологических исследований после 14-дневного курса введения препарата в испытанных дозах неблагоприятных изменений, вызванных действием препарата, не выявлено. Препарат «ТАМЕРОН» безопасен, не обладает местным раздражающим действием при многократном применении и после восстановительного периода.

Исследования на третьем этапе проводились по основным фармакокинетическим параметрам при однократном внутримышечном введении препарата крысам:

- период полувыведения препарата;
- максимальная концентрация препарата;
- максимальное время накопления препарата.

По фармакокинетике препарат «ТАМЕРОН» аналогичен препарату «Галавит», но экспериментальным путем было доказано, что, благодаря уникальному производству лиофильно-высушенного препарата «ТАМЕРОН», достигается лучшая его всасываемость в сравнении с препаратом «Галавит».

Также препарат «ТАМЕРОН» был изучен на стабильность. Выемку образцов для проведения проверки качества проводили каждые 3, 6, 9, 12, 18, 24 и 30 месяцев. Результаты исследований показали, что через 2 года 6 месяцев препарат сохранил все свои показатели в пределах нормы.

Материалы по изучению вышеперечисленных свойств препарата «ТАМЕРОН», а также дополнительные исследования, проведенные в ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» (г. Санкт-Петербург) показали, что препарат:

- является нетоксичным (не оказывает токсического действия на организм животных при длительном введении в дозах, превышающих максимальную испытанную дозу);
- безопасным;
- не обладает местным раздражающим действием;
- сохраняет свою стабильность в течение срока годности;
- позволяет достигать лучшую всасываемость за счет специальной технологии производства;
- обладает выраженным противовоспалительным действием и обеспечивает активацию процессов регенерации поврежденных тканей (это достигается, очевидно, за счет подавления киллерной активности гиперактивированных микро- и макрофагов, что приводит к уменьшению размеров раневого очага);
- обеспечивает лечение вторичного иммунодефицита, предотвращения очаговой и общей инфекции;
- обладает детоксицирующим действием.

Таким образом, инновационный препарат «ТАМЕРОН» – синтетический полифункциональный иммуномодулятор, полученный по российской технологии [5], на основе аминодигидрофталазиндиона натрия широкого спектра действия (*рисунок 2*).

Фармакологическое действие препарата заключается в следующем:

1. Повышает устойчивость организма к вирусным инфекциям, токсическим поражениям.

2. Ускоряет восстановление после острых и хронических заболеваний.

3. Нормализует фагоцитарную активность моноцитов/макрофагов, бактерицидную активность нейтрофилов и цитотоксическую активность NK-клеток, при этом восстанавливая сниженную активность клеток врожденного и адаптивного иммунитета.

4. Способствует повышению резистентности организма к инфекционным заболеваниям бактериальной, вирусной и грибковой этиологии, более быстрой элиминации возбудителя из организма.

5. Оказывает воздействие на центральную нервную систему (снимает стресс, нервное напряжение), сердечно-сосудистую систему (предотвращает образование тромбов, нарушение сердечного ритма, стимулирует кровообращение).

6. Обладает диуретическим и противоотечным действием, не вызывая при этом нефротоксического эффекта.

7. Снижает уровень холестерина и повышает чувствительность клеток к инсулину вследствие системного воздействия на метаболизм, что позволяет использовать его при гипергликемии и холестеринемии.

«ТАМЕРОН» – инновационный препарат:

- позволяет повысить неспецифическую устойчивость организма при многих видах инфекционных, опухолевых и соматических патологиях;
- рекомендован при аутоиммунных заболеваниях (снижает уровень аутоагрессий);
- не влияет на здоровые клетки иммунитета;
- не токсичен, безопасен (применение с малого возраста и при беременности);
- высокая комплаентность препарата и лечения, что позволяет при минимальных дозах и в короткие сроки достичь положительного эффекта;
- оказывает прямое действие на ЦНС (нормализация психоэмоциональной сферы);
- улучшает репарацию тканей: заживление без грубых рубцовых дефектов;
- обладает противоязвенным действием;
- оказывает прямое действие на сердечно-сосудистую систему (уменьшает агрегацию тромбоцитов, уменьшает тромбообразование);

Рис. 2. Спектр действия инновационного препарата «ТАМЕРОН»

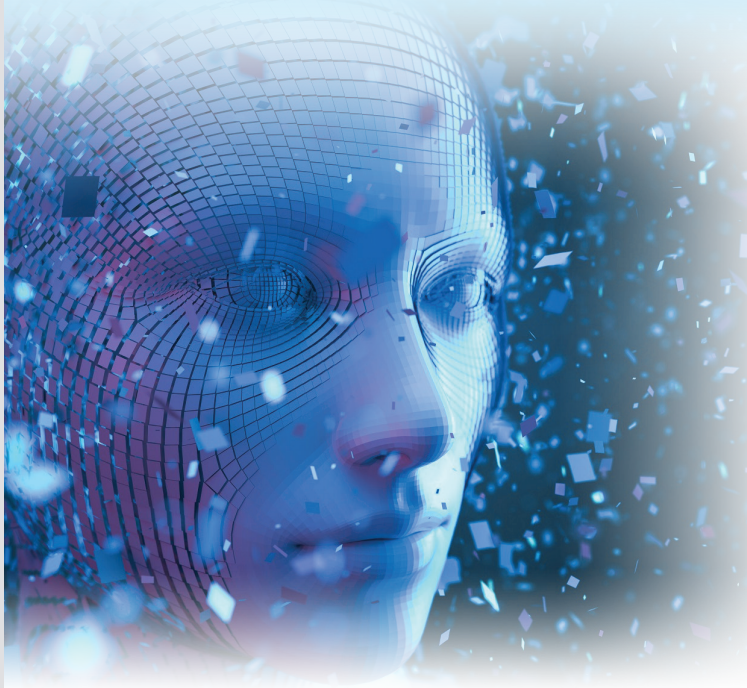
● можно и нужно применять здоровым людям (для профилактики или при снижении физической работоспособности).

За семь лет обширных и подробных исследований инновационного препарата «ТАМЕРОН» к настоящему времени сформировано и передано регистрационное досье в Минздрав России для регистрации лекарственного препарата. Получены свидетельства на товарные знаки [6-10].

Ряд результатов опубликован в докладах [11-15]. Имеется положительное заключение ученых-экспертов по важности инновационного препарата «ТАМЕРОН» [16].

Литература

1. Курочка В.К., Царьков А.Н. Современное состояние медицинской науки в РФ и ее роль в системе здравоохранения как составной части научного пространства страны // Известия Института инженерной физики, 2016. №1(39). С.88-92.
2. Царьков А.Н., Смуров С.В., Маевский Е.И., Седова И.В. О медико-биологическом производственном направлении исследований в МОУ «Институт инженерной физики» // Известия Института инженерной физики, 2017. №1(43). С.97-100.
3. Пинегин Б.В., Хаитов Р.М. Современные иммуномодуляторы. Классификация. Механизм действия. М.: Фармарус Принт, 2005. 28 с.
4. Макрофаги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://transferfaktory.ru/makrofagi.
5. Способ получения активной фармацевтической субстанции, представляющей собой аминодигидрофталазиндион натрия // Патент РФ №2673452 от 27.11.2018 г. / Царьков А.Н., Смуров С.В. и др.
6. Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) «ТАМЕРОН» №597477, 2016 г.
7. Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) «ТАМЕРОН» №598830, 2016 г.
8. Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) «ТАМЕРОН-Вет» №736551, 2019 г.
9. Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) «ТАМЕРОН-С» №736552, 2019 г.
10. Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) «ТАМЕРОН-Т» №736553, 2019 г.
11. Царьков А.Н., Курочка В.К. Инновационные направления развития медико-биологических исследований в МОУ «Институт инженерной физики» в 2015-2016 гг. / Труды Второй научно-практической школы-конференции «Аллергология и клиническая иммунология» (сентябрь-октябрь 2016 г., г. Ялта).
12. Царьков А.Н., Курочка В.К., Маевский Е.И. Инновационные разработки медико-биологического управления Института инженерной физики в интересах военной медицины / Доклад на заседании Экспертного совета комитета Государственной думы РФ по обороне (Секция медико-биологических проблем обороны). М. 2017.
13. Маевский Е.И. Царьков А.Н., Ермаков А.М., Богданова Л.А., Царькова Е.А., и др. Иммунотропные препараты в разработках МОУ «Институт инженерной физики» / Труды Четвертой научно-практической школы-конференции «Аллергология и клиническая иммунология» (30 сентября – 6 октября 2018 г., г. Сочи. Симпозиум «ИММУНОТЕРАПИЯ»).
14. Маевский Е.И. Подходы к повышению эффективности ортопедической помощи (иммунотропные, реологические и ранозаживляющие средства) / Доклад на заседании Экспертного Совета комитета Государственной думы РФ по обороне (Секция медико-биологических проблем обороны), 28 июня 2019 г., Москва. Экспоцентр.
15. Маевский Е.И., Царьков А.Н., Царькова Е.А. Влияние препаратов люминола натрия и сукцината аммония на иммунную систему / Труды Пятой научно-практической школы-конференции «Аллергология и клиническая иммунология» (сентябрь-октябрь 2019 г., г. Сочи).
16. Решение Секции медико-биологических проблем обороны Экспертного Совета Комитета ГД РФ по обороне от 28.06.2019 г.



УДК 62

КАК СОЗДАТЬ ДРУЖЕСТВЕННЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

HOW TO CREATE A FRIENDLY ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Игорь Александрович Бугаков
заслуженный изобретатель РФ
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, профессор
член Научного совета при Президиуме РАН
по методологии искусственного интеллекта
и когнитивных исследований
Вице-президент по инновационным проектам
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210 Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967) 35-31-93
E-mail: bia@iifmail.ru

Аннотация

Статья посвящена обоснованию необходимости и возможности решения проблемы создания дружественного искусственного интеллекта на основе генетического задания нравственных базисных элементов поведения его носителя, дополняемых базисным, соответствующим видовому предназначению, ускоренным образованием. Показывается, что реализация этого пути, имеющего прообразом генетическую предзаданность нравственного начала в человеке и его развитие в процессе образования, позволяет надеяться на создание ИИ, «дружественность» которого сложно изменить.

Ключевые слова: интеллект, дружественный искусственный интеллект, нравственность, мораль, принцип минимальности, априорная предзаданность форм и структур, генетика, филогенез, образование, онтогенез, нейроэтика, нейрофилософия, предвидение, сознание.

Summary

The article is devoted to substantiating the necessity and possibility of solving the problem of creating friendly artificial intelligence on the basis of the genetic task of the moral basic elements of the behavior of its carrier, supplemented by basic, appropriate to the species destination. accelerated education. It is shown that the implementation of this path, which has a prototype of the genetic predisposition of the moral principle in a human being and its development in the process of education, allows us to hope for the creation of AI, whose "friendliness" is difficult to change.

Keywords: intelligence, friendly artificial intelligence, ethic, morality, the principle of minimality, a priori predetermination of forms and structures, genetics, phylogenesis, education, ontogenesis, neuroethics, neurophilosophy, foresight, consciousness.

Человек с древних времен рассуждает о смысле жизни, добре и зле, справедливости. Кто-то при этом открывает для себя несовершенство мира и «печалится» от своей «мудрости» (вспомним Экклезиаста). Многие живут «как все», считая нормой то, что делается в массовом масштабе вокруг, подражая наиболее успешным[1]. Некоторые же сознательно демонстрируют иные, порой более высокие моральные принципы поведения, чем большинство, даже понимая, что это вредит их «выживанию». Откуда у них это? И вообще, откуда в нас моральное?

Последние данные различных, прежде всего имеющих отношение к «нейро», наук[2] свидетельствуют о незаслуженном забвении суждения Канта об априорной предзаданности вызывающего «сильное удивление и благоговение» морального закона в каждом из нас и ошибочности превалирующего (пока) мнения о том, что все нравственное в человеке формируется социумом[3]. Форма и структура живых организмов априорно приспособлены к среде их существования, не только форма тела и внешних органов, но и внутреннее строение. Не только

[1] Подражание (взрослым, более успешным в том или ином плане) – основной природный способ (само)обучения для выживания.
[2] Умозрительные рассуждения о психическом все более дополняются «настоящими» измерениями активности нервной системы, приближающими науки о психике к традиционному научному знанию.

«копыто лошади» или «плавник рыбы», но и «формы восприятия пространства и времени» [1]. Основные структуры мозга человека соответствуют возможностям его тела (и наоборот) и заданы априорно. Априорно заданы и многие алгоритмы функционирования этих структур. В соответствии с принципом минимальности (ПМ) [2-4] природа сочетает в каждом живом организме «жесткое» филогенетическое и «гибкое» (под конкретную среду обитания и решаемые задачи) онтогенетическое. Отсюда «жесткость», априорная заданность филогенетических нейронных структур (из быстропроводящих сигнал возбуждающих нейронов с электрическими синапсами), оперативно реализующих важные генетически заданные алгоритмы, например, инстинктивные, и «гибкость», формирование по мере надобности (с последующим расформированием для иного использования нейронов при долгом незадействовании) онтогенетических нейронных структур (из возбуждающих и тормозящих нейронов с химическими синапсами), отражающих индивидуальный опыт[4].

Применительно к человеку нравственность является определяющим фактором видовой принадлежности. Базисные нравственные качества человека, способствуя выживанию вида, имеют эволюционное значение и потому должны задаваться генетически[5]. О наличии в человеке морального инстинкта, позволяющего человеку быстро и неосознанно выносить суждения о добре и зле, рассуждает Марк Хаузер [5]. Но любое генетическое раскрывается в конкретной среде. И куда повернет человек – образно говоря, направо или налево – к Богу или дьяволу – зависит от него самого[6]. Потенциальная степень проявления в человеке нравственного, как и иные способности, индивидуальна в пределах заданного природой для человека как вида диапазона возможных значений нравственности. Конечно, степень использования каждым заложенного в него генами зависит от среды. Но некоторых людей в любой среде невозможно склонить к безнравственным поступкам. Человеком нельзя «быть» от рождения, им можно только «становиться». Главное предназначение человека – (стремиться) стать настоящим человеком.

Все вышеизложенное имеет непосредственное отношение к проблеме обеспечения дружественности искусственного интеллекта (ИИ), который бы «испытывал к человечеству чувство привязанности и близости», не оказывая на него негативного влияния[7]. Созданием такого ИИ на благо общества увлечены, судя по их заявлениям, некоторые некоммерческие организации (OpenAI, MIRI и др.). Но опасен ли ИИ? Может быть, правы те, кто считает, что ИИ никогда не выйдет за рамки статуса помощника человека и именно человек всегда будет решать, до какого уровня ИИ разрешено будет развиваться, будучи готовым в любой момент его (ИИ) «отключить». К сожалению, думающие так, скорее всего, неправы. Конечно, С.Хокинга, Б.Гейтса, А.Маска и др. можно отнести к алармистам, считая, что опасности от ИИ нет, в качестве «объяснения» (для себя) такого утверждения используя «классическое»: «Этого не может быть, потому что этого не может быть никогда»[8]. Можно. Но от этого потенциальная опасность ИИ не исчезает. Такая опасность есть. И она велика[9]. Понимание того, как в человеке (и высших животных) реализуется нравственное, позволит человечеству уменьшить возможное зло как от негативного применения ИИ человеком против человека (человечества), так и от отрицательных действий по отношению к человечеству «рожденного» человеком саморазвивающегося, универсального, «осознающего»[10] себя ИИ, позволит предотвратить (во всяком случае, отсрочить) цивилизационную катастрофу. Если в человеке есть генети-

[3] Все чаще появляются новые экспериментальные данные о генетических основаниях работы нервной системы и мозговых функций. Находят разные гены, отвечающие за различные психические состояния. Всерьез говорят, например, о «гене ненависти», ставя тем самым в тупик создателей и толкователей законов.

[4] Наличие смешанных (частично химических, частично электрических) синапсов можно объяснить как незавершенностью (продолжением) эволюции вида (с накоплением некоторого порогового количества поколений, полезно использующих реализуемую конкретной структурой функцию, эта структура записывается в геном с переходом на «жесткую», полностью электрическую связь реализующих ее нейронов), так и расширением возможностей использования априорно электрически и предпорогово связанных структур.

[5] Вряд ли кто будет спорить с тем, что, например, отвращение к инцесту задано генетически.

[6] Тот же М. Хаузер, судя по информации в Интернете, спустя несколько лет после выпуска своей книги совершил не красящие его как ученого поступки.

[7] Проблема дружественности ИИ – сложная, ибо «даже «хорошие» люди не знают, как создать «хороший» ИИ. Ведь нужен такой «хороший» ИИ, который «плохие» люди не смогли бы превратить в «плохой».

[8] Варианты: «потому, что я в это не верю», «потому, что я этого не понимаю» и даже «потому, что я этого не хочу».

[9] Даже недостаточное указание граничных условий при постановке ИИ задач таит большую опасность. Так как субъективная функция полезности, содержит нечто большее, чем используемая субъектом модель мира (Д.Юм), то составив программу для ИИ, мы можем получить то, что запрограммировали, но не то, что хотели (вспомним известный пример: ИИ поставлена задача изготовления скрепок, решая которую, ИИ будет изготавливать скрепки из всего, в том числе из самого человека, наполнив скрепками Вселенную).

[10] Очевидно, по-своему.

ческая составляющая нравственности, то путь создания дружественного ИИ должен состоять в сочетании в универсальном, общем ИИ требуемого генетического базиса и раскрывающих его в конкретных условиях соответствующего образования. Методически и технологически правильно заданные генетические моральные нормы, развитые соответствующим образованием, уничтожить и даже существенно изменить невозможно. Известные законы робототехники (А.Азимов) предполагают осознанное понимание. Но это верхний уровень психики. Речь же о том, чтобы базисные элементы нравственности прописать даже не на нижнем, бессознательном, уровне психики, а еще «ниже» – на уровне генома, формирующего бессознательное, так что даже при отсутствии сознания (понимания!) они будут инстинктивно выполняться.

Казалось бы, ответ на вопрос о природе психического должна дать психология. Но, несмотря на появление большого объема эмпирических данных, целостного понимания того, как нервная система порождает психическое, по-прежнему нет. Психология остается описательной, представляющей совокупность подходов, индивидуальных предпочтений, мнений и идей о состояниях, процессах и свойствах без наличия приемлемых для успешного междисциплинарного применения моделей психики, ее эволюционного формирования, индивидуального становления и развития. Конечно, это понимание – сверхсложная задача, ибо «законов такого порождения нет ни в отражаемом, ни в доступных анализу физиологических процессах» (А.Н. Леоньев).

И уж совсем мало глубоких научных достижений и в формируемой, как считается, социумом этике как науке о морали (нравственности). Несмотря на условность любой классификации, даже она в приемлемом виде отсутствует. Есть разделение этики по различным основаниям в соответствии с областью деятельности человека: профессиональная, корпоративная, социальная, светская, религиозная, ситуативная(?), универсальная(?) и пр. Новые области деятельности и проблемы рождают новые «этики»: компьютерную, экологическую, даже … хакерскую(?!)[11]. Но понимания механизмов порождения, сохранения и проявления нравственного нет.

В последние годы много говорят о нейронауках (нейронауке) как междисциплинарной области, связанной с изучением нейронных процессов с позиции различных частных наук. Появилась и нейроэтика, которую, на наш взгляд, целесообразно рассматривать в трех направлениях:

- во-первых, как науку, объектом которой является нервная система человека и обладающих нравственным поведением животных, предметом – процесс формирования и реализации с участием нервной системы нравственных оснований поведения, целью – понимание того, как материальное (процессы в нервной системе) рождает (или участвует в рождении) нравственные качества и переживания. Цель – объяснить появление (проявление) нравственного и его задействование индивидом в условиях реальной жизни;
- во-вторых, как науку о нравственно допустимых (запрещенных) действиях при получении знаний о нейропроцессах и связанных с ними психических проявлениях и целенаправленного управлении (как инвазивно, так и неинвазивно) ими (стимуляция мозга, чтение мыслей, стирание и перезапись памяти, формирование предпочтений, ...);
- в-третьих, как науку о применении знаний о нейропроцессах в живом для создания способных к автономному поведению объектов с ИИ, обладающих полезными для человека (и носителя ИИ) «нравственными» качествами, искомой «дружественностью»[12].

Нейроэтика является разделом (продуктом) нейрофилософии. При этом саму нейрофилософию целесообразно рассматривать как [6,7,8]:

- во-первых, как философию нейронауки (по аналогии с другими «частными» философиями: науки и техники, управления, образования, ...), т.е. как философию науки о принципах и законах построения и функционирования нейронов и их сетей, имеющих следствием известные биологические, физиологические и (возможно) психические проявления;
- во-вторых, как философию нейроподхода, т.е. как традиционную философию, особенность которой – базирование на знаниях о протекающих в живых системах нейропроцессах, реализуемых механизмах мышления и поведения, понимание и обобщение которых позволяет распространить их на человека, природу и общество, на создаваемые человеком объекты с ИИ.

[11] Ассоциативно вспоминаются 90-е и более ранние годы.

[12] Вопросы нейроэтики обсуждались на 55-ом заседании Международного междисциплинарного семинара «Нейрофилософия», прошедшем 30.10.2019 года в виде круглого стола «Актуальные проблемы нейроэтики» в НИУ ВШЭ, на котором одним из докладов был доклад автора данной статьи.

Дружественность ИИ предлагается рассматривать:

● во-первых, как гарантированную сохранность исходных базисных «нравственных» конструкторских настроек специализированного ИИ, защищенность их от сбоев и внешних целенаправленных негативных воздействий с целью изменить заложенные в него цели, программы и алгоритмы поведения (дружественность «слабого» ИИ);

● во-вторых, как исключение возникновения «желания» и возможности изменения (самостоятельного или посредством обращения за помощью) целеполагания способного к автономному целенаправленному поведению универсального, саморазвивающегося, обладающего «сознанием» ИИ, что имело бы следствием причинение прямого или косвенного вреда человеку или дружественным к нему объектам с ИИ (дружественность «сильного» ИИ).

Очевидно, что на основе существующих знаний о нейропроцессах в живом и возможностях основного элемента ИИ – искусственных нейронных сетей (ИНС) – создание дружественного ИИ (как «сильного», но и «слабого») сегодня является невозможным. Присущие ИНС существенные недостатки:

● способность допускать грубые ошибки;

● легкость их целенаправленного обмана;

● «непрозрачность» принимаемых ими решений (непонятность для человека их обоснования);

● необходимость априорного наличия большого объема исходных данных для обучения;

● существенная зависимость эффективности обучения и последующей работы от качества обучающей выборки;

● склонность к переобучению;

● наличие «катастрофической забывчивости» (невозможность научить ИНС чему-то новому с сохранением прежнего опыта) исключают делегирование им каких-либо прав самостоятельного принятия решений (поведения) в ответственных случаях. Более того, обоснованно можно утверждать об отсутствии у современных ИНС «интеллекта» какого-то бы ни было уровня, как бы нас не убеждали в наличии у них даже «интуиции» некоторые популяризаторы науки. Современные ИНС – не более чем устройства для преобразования вектора входных данных в выходной вектор.

Основные успехи ИИ сегодня достигнуты в распознавании лиц, постановке диагнозов и разработке формул новых лекарств, выдаче кредитов и выявлении финансовых мошенничеств, продаже товаров, регулировании сложных процессов (например, дорожного движения в городе), ряде других областей – везде, где можно эффективно использовать недоступные мозгу человека возможности компьютера помнить и быстро обрабатывать большие массивы данных. Но это не есть «настоящий» интеллект, ибо компьютер работает по априорно заданным конкретным алгоритмам. Достигнутое в области ИИ можно сравнить с наиболее простыми, реализуемыми в подсознании алгоритмами первичной обработки сенсорной информации[13]. Здесь еще нет интегрального восприятия сенсорных сигналов, ассоциаций (в том числе – само), множества прогнозирующих восходящих и нисходящих путей и многого еще чего, что реализуется в нервной системе. «Настоящий» же интеллект – это то, что порождает алгоритмы (одно из «определений» интеллекта: «Интеллект – это сверхалгоритм по порождению алгоритмов»). Именно способность к порождению новых эффективных алгоритмов поведения как условие успешного выживания в конкурентной борьбе – главный признак (критерий) наличия (проявления) интеллекта.

Основное предназначение интеллекта – предвидение (достоверное прогнозирование). Предвидение – основа принятия решения. Глубина предвидения – глубина интеллекта («управлять – значит предвидеть»). Ключевая операция – распознавание (на основе и во имя предвидения). Распознавание (объекта, состояния, процесса, будущего, ...) лежит в основе принятия решения и его дальнейшей реализации (распознавание текущих действий и их результатов, необходимых будущих действий, степени достижения цели,...). Распознавание и предвидение невозможны без понимания, реализация которого требует наличия памяти с той или иной «моделью мира», органичное встраивание в которую воспринимаемого свидетельствует о понимании воспринимающего. Очевидно, что при этом не обойтись без соответствующего языка описания, без иерархической категоризации, причем многофакторной (с одновременным отнесением воспринимаемого ко многим категориям области функционирования), что требует соответствующей семантики. Все эти составляющие, как признаки и необходимые части и проявления интеллекта, есть у большинства достаточно развитых живых организмов, интеллект которых позволяет им выживать в мире естественного отбора, чувствуя его

[13] Сравнить по функциям, но не по алгоритмам и носителям информации, ибо мы не знаем, как в подсознании происходит эта обработка. Нам нет туда доступа.

одновременно с помощью нескольких органов чувств, информация от которых обрабатывается также одновременно и совместно с получением системного, сверхаддитивного эффекта[14].

Все живое, в отличие от большинства современных «интеллектуальных» ИНС, также учитывает фактор времени, чувствует ход времени, временные рамки совершения тех или иных событий, характерные длительности тех или иных процессов, последовательность их следования друг за другом, используя эти временные знания вместе с пространственными для распознавания и предвидения. Наиболее развитые организмы понимают и учитывают причинную взаимосвязь наступления событий. Все это относится к опыту (генетическому и индивидуальному) и эффективно используется живым. Самые совершенные организмы обладают сознанием – важным, разрешающим проблему сложности, инструментом интеллекта, позволяющим глубже и эффективнее предвидеть, обеспечивая выживание в конкурентной борьбе с более быстрыми, но менее «умными» соперниками; с использованием механизмов внимания, эмоций, рефлексии формировать пополняющие «подсознание» новые автоматизмы поведения в новых условиях или более эффективные алгоритмы поведения в старых условиях[15].

Проблема сознания – наиболее сложная из всех, поскольку признавая наличие сознания, наука ничего не может сказать о его происхождении, о его носителе, остановившись в своем понимании на утверждении о том, что мозг (материальные процессы в нем) каким-то образом порождает сознание. Утверждение, возможно и правильное, но некорректное, поскольку явно не доказанное. Сегодня наука имеет право утверждать лишь о справедливости обратного, о том, что сознательное мышление о чем-либо сопровождается специфическими для каждого объекта мышления материальными процессами в мозгу, так что, изучив и статистически обработав мозговые паттерны, сопровождающие представление о конкретном конкретного человека, можно на основании анализа регистрируемых мозговых паттернов сказать, что сознательно представляет в данный момент этот конкретный человек. Исследованию сознания посвящена научная деятельность многих ученых[16].

Представляется, что в рамках научного подхода решение «трудной проблемы сознания» (как материальное порождает субъективный опыт и что такое субъективная реальность) следует искать, учитывая, во-первых, то, что сознательное изменение представляемого в мозгу имеет следствием детерминированное изменение регистрируемой мозговой активности и, во-вторых, то, что «усилием воли» человек (некоторые из нас, а после обучения и тренировки, возможно, каждый) способен регулировать физиологические процессы в теле: изменять частоту сердечных сокращений, температуру частей тела, изменять чувствительность рецепторов и пр. Если это так и мы хотим остаться на позициях науки, то следует признать, что это возможно только в том случае, если сознание имеет свой особый материальный носитель. Надо искать этот материальный носитель, формирующий субъективную реальность как информацию[17]. Каков он – мы (пока) не знаем. Утверждать, что нейронные сигналы и есть этот искомый носитель, нет оснований. Вполне возможно, что между нейронными кодами и субъективной реальностью стоит даже не одна, а несколько материальных трансформаций, последняя из которых и рождает сознание[18]. Мы не можем ничего сказать об этих трансформациях, поскольку нам нечем «почувствовать» соответствующие материальные носители, но он (а если их несколько, то они), несомненно, есть.

[14] Так, видимый из-за угла здания хвост одновременно с мяуканьем позволяет с гораздо большей вероятностью отнести источник происхождения этих признаков к кошке, чем при использовании каждого признака по отдельности.

[15] Потому вряд ли можно разделить уверенность некоторых исследователей в том, что к 2025 году на дорогах общего пользования появятся настоящие «умные автомобили», если «ум» этих автомобилей будет хранить знания только об автомобилях, дорожных знаках и правилах движения без наличия в нем более широкой «модели мира», в которой присутствуют животные и птицы, дети с их труднопредсказуемым поведением, пешеходы, падающие с машин незакрепленные грузы (вспомним упавший матрас перед беспилотным авто), ошибающиеся (указал поворот, но не поехал) или даже неадекватные люди-водители или такие же неадекватные (по разным причинам) роботы-водители и пр. Очевидно, что для достоверного прогнозирования (предвидения) «умный автомобиль» должен иметь гораздо более широкие и глубокие знания о реальном мире и опыт поведения в нем, чем те, которые сегодня используются в тестовом режиме. Для упрощенных моделей ИИ их широкое применение возможно лишь в случае использования закрытых трасс.

[16] Из наиболее известных зарубежных ученых: Т.Нагель, Дж.Серль, Д.Деннет, Д.Чалмерс. В России проблемы субъективной реальности наиболее последовательно и глубоко исследованы Д.И.Дубровским

[17] Информационный подход Д.И. Дубровского, изложенный им несколько десятилетий назад [9,10], заслуживает глубокого изучения. В качестве небольшого дополнения определяющей идеи Давида Израилевича об инвариантности информации к физическим свойствам своего носителя добавим, что инвариантность касается содержания информации, но распространяется информация по законам распространения своего носителя [11], что может быть полезно использовано при решении «трудной проблемы сознания», решении задачи поимки сознания как «невидимки» (по следам его носителя, его взаимодействия с видимым).

[18] Например, популярная ныне идея о квантовой природе сознания.

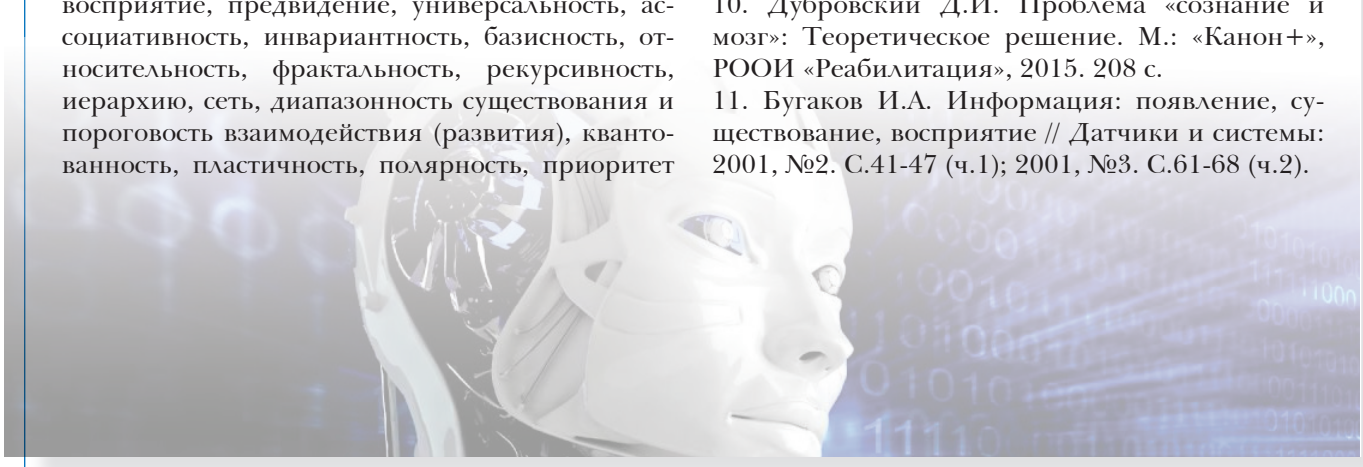
К некоторым необходимым действиям для обеспечения дружественности ИИ (роботов с ИИ) следует отнести:

- «загрузку ценностей» в ИИ в его видовой геном. Генетическая составляющая – главное условие невосприимчивости к пытающимся внедриться в программное обеспечение ИИ «вирусам» недружественности (генетический код живого сложно изменить, ибо геном – в каждой клетке. Технология блокчейн как некое приближение к геномному подходу);
- дополнение генетики соответствующим видовым «образованием» ИИ (как единством (ускоренного) воспитания и обучения в среде, мотивирующей на дружественность).
- использование разработчиками ИИ только сертифицированных средств;
- законодательное ограничение на обладание саморазвивающимся ИИ;
- введение ответственности разработчика («биологического родителя») и воспитателя (покупателя как «фактического родителя» и «школы», где учится ИИ) за действия «растущего» ИИ, еще не достигшего «совершеннолетия»;
- стандартизация образовательных программ для разработчиков ИИ, различных «видов» ИИ, различных «профессий» ИИ;
- периодическая диспансеризация ИИ с обязательностью проведения «антивирусных» прививок (обновления «антивирусных» программ).

Природный ПМ как один из основных принципов эволюции и естественного отбора, постулируя стремление к минимизации расходов основных природных ресурсов (энергии (массы), пространства, времени) на формирование структур и их функционирование, указывает направление, в котором следует искать понимание и искусственное воспроизведение функций интеллекта. К некоторым основным проявлениям (следствиям) ПМ можно отнести: сохранение (инерцию), самоорганизацию, интеграцию и дифференциацию, динамическое равновесие, динамическое восприятие, предвидение, универсальность, ассоциативность, инвариантность, базисность, относительность, фрактальность, рекурсивность, иерархию, сеть, диапазонность существования и пороговость взаимодействия (развития), квантованность, пластичность, полярность, приоритет крутизны (производные и градиенты), иерархически-сетевую структурированность, подражание (имитацию), внимание, инстинкты, рефлексы, автоматизмы, эмоции, единство филогенетического и онтогенетического [2-4].

Литература

1. Лоренц К. Кантовская концепция a priori в свете современной биологии (год публикации – 1941) // В кн. «Эволюция. Язык. Познание». М.: Языки русской культуры, 2001.
2. Бугаков И.А. Система принципов построения сложных технических систем и их элементов, подвергающихся экстремальным воздействиям в процессе функционирования, на основе антропологического подхода // Датчики и системы, 2000. №10. С.67-71.
3. Бугаков И.А. Принцип минимальности и деятельность мозга // Сб. научн. трудов юбилейного симпозиума, посвящ. 150-летию издания «Рефлексов головного мозга» И.М. Сеченова. М.: ИИнтеЛЛ, 2014. С.291-316.
4. Бугаков И.А. Минимальность как «кредо» мозга // Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2014. №4. С.13-14.
5. Хаузер М.Д. Мораль и разум: Как природа создавала наше универсальное чувство добра и зла. М.: Дрофа, 2008. 639 с.
6. Бугаков И.А. Нейрофилософия как философия нейронауки // Известия Института инженерной физики, 2014. № 2(32). С.43-45.
7. Бугаков И.А. Еще раз о нейрофилософии: что это такое? // Известия Института инженерной физики, 2015. № 1(35). С.95-96.
8. Бугаков И.А. Сознание, интеллект, нейрофилософия и принцип минимальности // Актуальные вопросы нейрофилософии – 2015. Ежегодник. Материалы межд. междисц. семинара «Нейрофилософия». Ред. Алексеев А.Ю., Дубровский Д.И., Кузнецов В.Г. М.: ИИнтелл, 2016. С.106-130.
9. Дубровский Д.И. Информация, сознание, мозг. М.: Высшая школа, 1980. 286 с.
10. Дубровский Д.И. Проблема «сознание и мозг»: Теоретическое решение. М.: «Канон+», РООИ «Реабилитация», 2015. 208 с.
11. Бугаков И.А. Информация: появление, существование, восприятие // Датчики и системы: 2001, №2. С.41-47 (ч.1); 2001, №3. С.61-68 (ч.2).



УДК: 377

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МОРАЛЬНО-БОЕВЫХ КАЧЕСТВ У КУРСАНТОВ ВОЕННЫХ ВУЗОВ РВСН

FEATURES OF THE FORMATION OF MORAL AND COMBAT QUALITIES AMONG CADETS OF MILITARY UNIVERSITIES OF THE STRATEGIC MISSILE FORCES

Евгений Николаевич Кошкин
старший офицер
в/ч 33925
Москва-160

Аннотация
Статья посвящена анализу процесса формирования морально-боевых качеств курсантов в вузах Ракетных войск стратегического назначения, а также их особенностям.
Ключевые слова: подготовка курсантов, особенности, моральные качества, психологические качества, профессионально-боевые качества.

Summary
The article is devoted to the analysis of the process of formation of moral and combat qualities of cadets at universities of the Strategic Missile Forces, as well as their features.
Keywords: cadets training, features, moral qualities, psychological qualities, professional and combat qualities.

Происходящие в современных условиях социально-политические изменения характера общественных отношений в стране, состояние духовной жизни общества, политические цели и задачи, стоящих перед Вооруженными силами Российской Федерации (ВС РФ), усиление противоборства в информационно-психологической сфере, локальность современных войн, а также приведение Вооруженных сил к современному облику предъявляют новые требования к морально-боевым качествам военнослужащих.

Генезис развития исследуемой проблемы показывает, что в отечественной психолого-педагогической науке накоплен богатый опыт формирования морально-боевых качеств у военнослужащих, не утративший своего значения и в наши дни [1].

Исследование, проводимое в курсантских подразделениях вузов РВСН, показало, что эффективность и результативность действий военнослужащих находится в прямой зависимости от уровня сформированности у них морально-боевых качеств, обусловлена возросшими потребностями войсковой практики в подготовке и несении боевого дежурства.

Морально-боевые качества курсантов, которые определяют его поведение в процессе обучения, а также в боевой обстановке, состоят из следующих основных групп:

- моральные качества;
- психологические качества;
- профессионально-боевые качества;
- физические качества.

Они тесно переплетены и взаимосвязаны между собой. При этом каждая из перечисленных групп имеет определенные, присущие исключительно ей особенности.

Моральные качества курсанта представляют собой моральную направленность его личности, присущие ему нравственные черты характера, а также мировоззрение идеалы и иные общественно полезные интересы, имеющиеся у него чувства долга, патриотизма, интернационализма, ненависти к внешним и внутренним врагам, самопожертвования, личной ответственности за свою Родину и др.

Мировоззрение курсанта является основой его морально-боевых качеств. Основу мировоззрения составляют его убежденность в выборе своего пути и правота принимаемых им решений.

Под убежденность понимается такая черта личности курсанта, которая включает в себя все активные элементы его сознания, что обеспечивает его действиям целеустремленность, уверенность в своих силах и силах своего подразделения, а также способность преодолеть предстоящие трудности для выполнения задач повседневной деятельности, а также при несении боевого дежурства [3].

Под психологическими качествами курсанта принято понимать его психологическую подготовленность к эффективным действиям в условиях повседневной и специальной деятельности, к таковым относятся:

● развитость восприятия курсанта, его внимания, мышления, а также памяти и речи;

● сила, быстрота и точность его реакций;

● эмоционально-волевая устойчивость курсанта, способность адекватно реагировать на негативные факторы внешней среды.

Для развития психологических качеств курсанта необходимо создать такие условия, в которых будут сформированы положительные предпосылки для максимально возможного формирования его профессионально-боевых, а также физических качеств, включая знания, умения и навыки действий в самых различных сложных ситуациях, которые могут встретиться в дальнейшей профессиональной деятельности офицера-ракетчика.

Кроме того, высокая эмоционально-волевая устойчивость курсанта будет способствовать формированию у него таких черт характера будущего офицера, как самообладание, стойкость, решительность, инициативность, целеустремленность, готовности к самопожертвованию и др. [4].

В случаях, когда отношение курсанта к выполнению своих должностных обязанностей связано с его личными интересами и побудительными стремлением выступают частные мотивы, то в этом случае его деяния и поступки определяются конкретной ситуацией, в которой он оказался, а не интересами общества и государства.

Поэтому в процессе осуществления морально-психологической подготовки курсанта, воспитания его непосредственными и вышестоящими командирами, необходимо обязательно учитывать его возможные особенности, а именно: частные мотивы, а также стараться привести их в соответствие с интересами обучения в высших учебных заведениях МО РФ [2].

Следующей группой выступают ***профессионально-боевые качества*** курсантов, под которыми понимается уровень их подготовки для успешного ведению боя в современных условиях, а также эффективному использованию оружия и боевой техники. Для реализации указанной задачи необходимо:

● сформировать у личного состава учебных групп (взводов) высокий уровень воинского мастерства, а также боевой выучки.

● обеспечить приобретение курсантами глубоких как теоретических, так и практических знаний о применяемой технике и используемом оружие, включая его тактико-технические характеристики, боевые и потенциальные возможности.

● развить у будущих офицеров тактическое, стратегическое, техническое мышление.

● воспитать у курсантов способность к боевой деятельности, наступательный дух, дисциплинированность, гордость, а также любовь к выбранной профессии, военному делу, оружию и боевой технике.

Основой профессионально-боевого компонента курсантов военных вузов является их обучение учебным предметам, относящимся к циклу «Боевая подготовка». Основную же роль в формировании соответствующих качеств указанной группы качеств выполняет воспитание, заключающиеся в привитии курсантам таких черт, как дисциплинированность, любовь к оружию и ракетной технике, стремления овладеть в совершенстве профессией офицера-ракетчика.

Физические качества курсантов включают в себя уровень его физического развития и натренированности, конечной целью которых является возможность военнослужащего переносить запредельные нагрузки в условиях повседневной деятельности и в процессе несения боевого дежурства.

Морально-боевые качества, как правило, проявляются в деятельности курсантов в неразрывной взаимосвязи между собой, дополняя или компенсируя друг друга. Такие качества, как настойчивость, высокая сознательность, активность в учебе и другие обеспечивают курсантам возможность совершенствовать свои навыки по владению оружием и ракетной техникой, использованию специального оборудования, а также эффективно принимать решения по текущим задачам профессиональной деятельности.

Таким образом, особенности формирования морально-боевых качеств курсантов вузов РВСН состоят в постоянном напряжении ума, воли и тела; большом внимании к физической подготовке и ее весомой роли в служебной деятельности; в высоком престиже службы в Ракетных войсках стратегического назначения и претензии на представление своего государства как великой ядерной державы.

Литература

1. Алехин И.А., Иванов В.П., Колесников С.В., Лукьянец А.А. Организация работы с личным составом в Вооруженных силах РФ: Электронный учебник. М.: ВУ, 2016. 413 с.

2. Набиуллин А.Ф. Организационное и методическое обеспечение процесса формирования морально-боевых качеств у военнослужащих / Проблемы профессиональной подготовки и деятельности специалиста: сборник научных статей. Москва-Казань: ГУВР, 2009. С. 129-139.

3. Попова Ю.Н., Даркулов Ж.Н. Многонациональный воинский коллектив: многообразие национальных структур / Сборник научных статей XVII военно-научной конференции курсантов и операторов научной роты филиала Военной академии связи, 2014. С.122-126.

4. Кульчицкий В.М. Советы молодому офицеру. 5-е издание (переработанное и дополненное). М.: ВУ, 2017. 57с.

УДК 65.011, 005

РОЛЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «НАУКА»

THE ROLE OF STATE SCIENTIFIC CENTERS OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE IMPLEMENTATION OF THE NATIONAL PROJECT «SCIENCE»

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

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
Проведен анализ роли и места системы государственных научных центров РФ в реализации национального проекта «Наука» в рамках решения задач развития кадрового потенциала, передовой инфраструктуры и научной и научно-производственной кооперации в сфере исследований и разработок.
Ключевые слова: государственные научные центры РФ, национальный проект «Наука», сеть научных организаций, целевые показатели, вклад, инфраструктура, оценка.

Summary
The article analyzes the role and place of the state scientific centers system of the Russian Federation in the implementation of the national project «Science» in the framework of solving the problems of human resources development, advanced infrastructure and scientific and scientific-industrial cooperation in the field of research and development.
Keywords: state scientific centers of the Russian Federation, the national project «Science», network of scientific organizations, target indicators, contribution, infrastructure, assessment.

В современных условиях система государственных научных центров (ГНЦ) РФ, которая объединяет 42 научные организации, является связующим звеном между фундаментальной наукой, прикладными исследованиями, образованием и реальным сектором экономики.

Роль системы ГНЦ РФ, обеспечивающей создание научно-технологического задела в ключевых отраслях экономики, существенно возросла в свете стратегических документов, нацеленных на научно-технологическое развитие экономики Российской Федерации для обеспечения национальной безопасности в условиях санкционного давления западных стран. Одним из таких документов является национальный проект «Наука» (НП «Наука») [1].

При решении задач национального проекта результаты деятельности ГНЦ РФ представляются достаточно весомыми при очевидном приоритете ГНЦ РФ в ряде целевых показателей НП.

Так, например, соотношение темпа роста внутренних затрат на исследования и разработки за счет всех источников к темпу роста ВВП (целевой показатель п.3.1) для системы ГНЦ РФ составляет 4,12 при установленном в НП нормативе 1,00 на 2018 г. Внутренние затраты на исследования и разработки ГНЦ РФ в отчет-

ный период составили 77,498 млрд. руб. против 70,794 млрд. руб. в 2017 г. [2][1] то есть рост составил 9,47%. Рост ВВП в России в 2018 г. составил 2,3% [3] (*рисунок 1*).

Целевой показатель «п.3.2. Внутренние затраты на исследования и разработки за счет всех источников в текущих ценах» в национальном проекте установлен на 2018 г. в размере 1 110,2 млрд. руб. Таким образом, доля ГНЦ РФ по данному показателю составляет 6,98% при том, что 42 ГНЦ РФ – это лишь 1,06% от общего количества научных организаций в РФ (3 950) [4][2].

По целевому показателю «п.2.2. Доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности российских исследователей» в НП «Наука» на 2018 г. установлен норматив 43,3%. В ГНЦ РФ в отчетный период работали 7 637 исследователей в возрасте до 39 лет, что составило 39,4% от общей численности исследователей (19 360 чел.). Однако, учитывая устоявшиеся научные коллективы ГНЦ РФ, многие из которых ориентированы на оборонный комплекс России, процесс обновления кадров, характеризующийся долей молодых исследователей на уровне почти 40%, следует признать удовлетворительным.

НП «Наука» включает три Федеральных проекта.

1. Федеральный проект «Развитие научной и научно-производственной кооперации» национального проекта «Наука»

В рамках решения задачи по *созданию и функционированию единой сети*, включающей в себя научно-образовательные центры мирового уровня, центры компетенций НТИ и иные исследовательские центры (п.1.9. Федерального проекта «Развитие научной и научно-производственной кооперации»), ГНЦ РФ могут стать опорными организациями «иных исследовательских центров» с уже сложившейся развитой научной и научно-производственной кооперацией с учреждениями промышленности, науки и образования. В этих условиях интеграционные возможности ГНЦ РФ будут способствовать обеспечению опережающей динамики показателей результативности создаваемой сетевой кооперации, в том числе – вклада в достижение целевых показателей национального проекта «Наука».

Одной из задач Федерального проекта является увеличение объема внутренних затрат на исследования и разработки за счет внебюджетных источников компаний-участников НОЦ, созданных в 2019-2020 годах (п.1.5). Проецирование данной задачи на систему ГНЦ РФ показывает наличие позитивной тенденции роста объема затрат на исследования и разработки за счет внебюджетных источников. За отчетный период это повышение по сравнению с 2017 г. составило 1,6%, превысив 70 млрд. руб., тем самым закрепив существенный рост в предыдущий период на 33,2% по сравнению с 2016 г.

2. Федеральный проект «Развитие передовой инфраструктуры для проведения исследований и разработок в Российской Федерации» национального проекта «Наука»

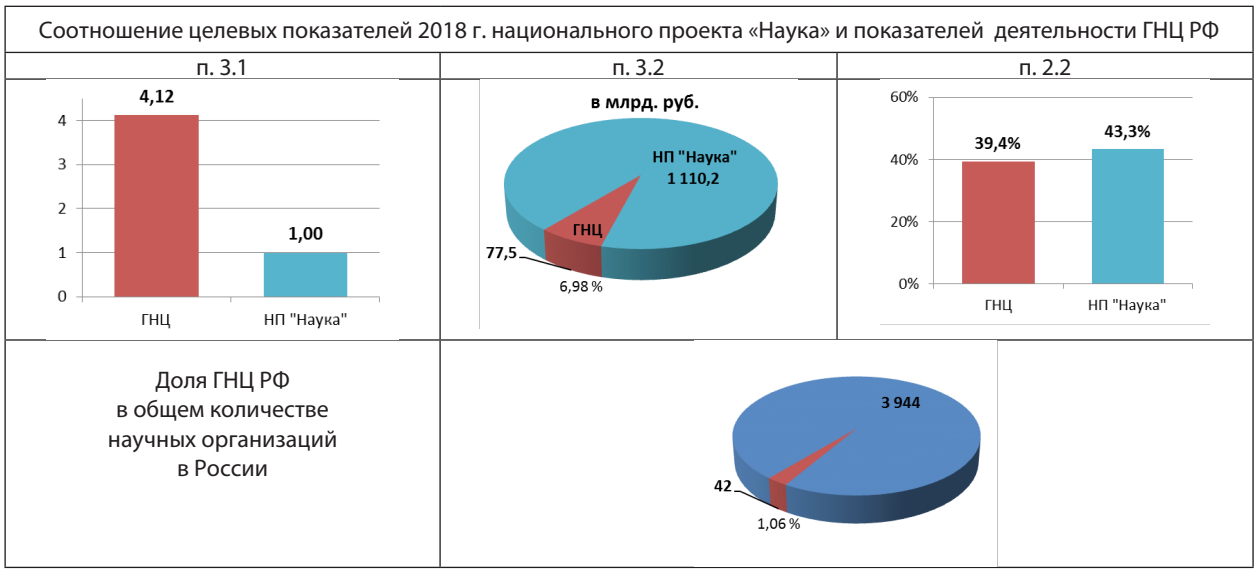


Рис. 1. Вклад ГНЦ в достижение целевых показателей 2018 г. национального проекта «Наука»

[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/.

[2] Здесь и далее статистические данные по стране в целом приводятся с использованием данных 2018 года, форма № 2-наука «Сведения о выполнении научных исследований и разработок» [Электронный ресурс]/ Росстат. URL: https://www.gks.ru/folder/14477

Решение задач Федерального проекта «Развитие передовой инфраструктуры для проведения исследований и разработок в Российской Федерации» по созданию и развитию сети уникальных установок класса «мегасайенс» напрямую предусмотрено с участием ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» (п. 2.5. – проведение международных научных исследований на уникальной научной установке класса «мегасайенс» – Международный центр нейтронных исследований на базе высокопоточного реактора ПИК; и п. 2.13. – создание первого этапа исследовательской инфраструктуры уникальных научных установок класса «мегасайенс»: Источник синхротронного излучения 4-го поколения (ИССИ-4), Сибирский кольцевой источник фотонов (СКИФ)) [1].

Обеспечение функционирования инфраструктуры научной, научно-технической, инновационной деятельности, необходимой для реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, является одной из основных функций ГНЦ РФ, а наличие уникального оборудования – одно из условий присвоения статуса ГНЦ РФ. При этом отмечается особая значимость материально-технического обеспечения организаций в целом.

Стоимость основных средств и нематериальных активов ГНЦ РФ в 2018 году составила 128,3 млрд. руб., из которых 37,2% составляют здания и сооружения, 48,7% – машины и оборудование (в 2017 году – 48,0%).

24 ГНЦ РФ по показателю доли машин и оборудования в общей стоимости основных средств превосходят общероссийский уровень, который составляет 42,2%.

Эффективность использования материально-технической базы характеризует показатель фондовооруженности персонала, занятого исследованиями и разработками, – стоимость основных средств исследований и разработок в расчете на одного исследователя, который в 2018 году для ГНЦ РФ составил 6,626 млн. руб. на одного исследователя. 17 ГНЦ по данному показателю превышают общероссийский уровень (6,829 млн. руб.). Лидерами по показателю фондовооруженности персонала являются: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна (40,018 млн. руб.), АО «НПО «Орион» (20,142 млн. руб.), АО «ГНЦ НИИАР» (18,038 млн. руб.).

В состав научно-технической инновационной инфраструктуры ГНЦ РФ входят уникальные установки, лаборатории, стенды, центры коллективного пользования, комплексы эталонной базы, испытательные, моделирующие, ускорительные комплексы и др. Развитие инфраструктуры ГНЦ РФ в 2018 году осуществлялось как в рамках технического перевооружения, модернизации исследовательской, экспериментальной и производственной базы, так и освоения нового оборудования для обеспечения научной потребности, разработки и производства современных изделий.

3. Федеральный проект «Развитие кадрового потенциала в сфере исследований и разработок» национального проекта «Наука»

Федеральным проектом предусмотрено решение задачи формирования целостной системы подготовки и профессионального роста научных и научно-педагогических кадров. В системе ГНЦ РФ данная задача успешно решается на основе тесного сотрудничества центров с национальными исследовательскими университетами, федеральными, техническими университетами, другими высшими учебными заведениями. Подготовка научных кадров осуществляется на базовых кафедрах (созданных совместно государственными научными центрами и вузами) и в системе научно-образовательных центров, их общее количество составляет для всех ГНЦ РФ – более 160 ед. Практически в каждом ГНЦ РФ функционируют научные школы, их суммарное количество для всех ГНЦ РФ – около 170 ед.

Поддержка ГНЦ РФ в реализации федерального проекта заключается также в отлаженной системе подготовки высококвалифицированных кадров. Обучение в аспирантуре в 2018 году организовано во всех ГНЦ РФ, количество аспирантов – 952 человека (в среднем – более 22 чел. в аспирантуре). Наиболее крупные аспирантуры – в ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» (120 чел.), ФГУП «ЦАГИ» (81 чел.), ФГУП «НАМИ» (68 чел.).

Совокупное количество исследователей в системе ГНЦ РФ в 2018 г. составило 19 360 чел. (в целом по стране – 347 847 чел.). Это указывает на то, что в системе ГНЦ РФ (1,06% всех научных организациях страны) сосредоточено 5,57% исследователей.

Таким образом, можно утверждать, что проверенная временем система государственных научных центров Российской Федерации [5] является отлаженным механизмом, способствующим достижению весомого вклада в реализацию целевых показателей национального проекта «Наука». ГНЦ РФ являются ведущими организациями высокотехнологичных и наукоемких отраслей науки и техники, нацеленными преимущественно на трансферт технологий. ГНЦ РФ имеют богатый опыт подготовки научных кадров (более 160 базовых кафедр) и высококвалифицированных специалистов (аспирантуры во всех ГНЦ РФ), обладают большим коммуника-

ционным потенциалом (12 Центров коллективного пользования научным оборудованием, более 40 отраслевых информационных ресурсов), имеют заслуженное международное признание. Система ГНЦ РФ вместе с научно-образовательными центрами мирового уровня, центрами компетенций НТИ фактически образует инфраструктуру создаваемой единой сети научных организаций, обеспечивающей решение задач Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Литература

1. Паспорт Национального проекта «Наука». Утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24 декабря 2018 г. № 16.
2. База данных, содержащая сведения о результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы [Электронный ресурс]/ URL: http://www.sciencemon.ru/.
3. Бюллетень № 48 о текущих тенденциях Российской экономики. Динамика и структура ВВП России, апрель 2019. [Электронная публикация]/ Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. URL: ac.gov.ru/publications/.
4. Данные 2018 года. Росстат, форма № 2-наука «Сведения о выполнении научных исследований и разработок» [Электронный ресурс] / Росстат. URL: https://www.gks.ru/folder/14477.
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.

ВЫСОКИЕ ГОСТИ

Институт инженерной физики с рабочим визитом посетили Председатель Комитета по обороне Госдумы РФ, Герой России, генерал-полковник В.А. Шаманов и вице-президент РАН, руководитель секции медико-биологических наук ОМН РАН, доктор медицинских наук, профессор, академик РАН В.П. Чехонин. В рабочей встрече приняли участие Глава городского округа Серпухов Ю.О. Купецкая, депутат Московской областной думы Р.В. Горбунов, начальник серпуховского филиала ВА РВСН им. Петра Великого генерал-майор А.Е. Морозов.

Президент МОУ «ИИФ» – Председатель Правления Института заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор А.Н. Царьков рассказал участникам встречи об основных направлениях деятельности и перспективных разработках. Руководители научных центров Института продемонстрировали гостям возможности применения систем электрообогрева и пожаротушения, что вызвало интерес и уверенность в их большой практической значимости, в первую очередь, для МЧС и Министерства обороны, а также для гражданского населения.

В докладе о медико-биологических разработках Советник Президента МОУ «ИИФ» доктор медицинских наук, профессор Е.И. Маевский отметил перспективы и возможности таких медицинских препаратов, как «Флюосан» и «Тамерон», необходимость развития отечественного производства иммуномодулирующих препаратов широкого спектра действия. Для этого в Институте есть опытные кадры, испытательные лаборатории и медицинское производство, оснащенное новейшим, высокотехнологичным оборудованием.

Затем гости посетили уникальную лабораторию Института, где проводятся исследования квантовых информационных технологий на уровне современных мировых стандартов.

В.А. Шаманов отметил, что Комитет по обороне давно и продуктивно сотрудничает с ИИФ, видит его развитие и потенциал, и выразил уверенность в конкурентоспособности продукции Института для нужд силовых структур и Вооруженных сил РФ. В.П. Чехонин выразил намерение активно поддерживать и продвигать разработки Института, чтобы они нашли максимальное количество потребителей, заказчиков на государственном уровне.

ПОЗДРАВЛЯЕМ ВЫПУСКНИКОВ!

В инновационном Центре дополнительного профессионального образования «Развитие – 21 век», созданном при Институте инженерной физики, состоялся очередной выпуск слушателей по программе «Информационные технологии в науке и производстве».

Управление социальной защиты населения городского округа Серпухов во главе с И.Н. Ермаковой и Серпуховский центр занятости населения, возглавляемый О.В. Хижко, оказали Центру доверие принять участие в Федеральном проекте «Старшее поколение» национального проекта «Демография» и государственной программе «Социальная защита населения Московской области» на 2017-2024 годы.

Цель проекта «Старшее поколение»: повышение качества жизни и благополучия граждан предпенсионного возраста – профессиональная переподготовка и повышение квалификации обеспечивают их социальную защищенность за счет роста профессионального мастерства и конкурентоспособности на рынке труда.

Особые слова благодарности были сказаны в адрес профессорско-преподавательского состава, административно-хозяйственного и учебно-методического персонала Центра. Благодаря их профессионализму, опыту, педагогическому мастерству за последние годы около 750 человек повысили квалификацию и прошли профессиональную переподготовку.

AUTHORS

Abanin Vladislav S. Candidate of Technical Sciences, Professor of armored vehicles, Ryazan Guard Higher Airborne Command School. Ryazan, Army General V.F. Margelov sq., 1.

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.

Ananiev Evgeny M. Honored worker of science and technology of Russia, corresponding member of AIO. Candidate of Technical Sciences, associate professor. First Vice-President of the Institute – the First Deputy General Director. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Andruh Oleg N. Honored worker of science and technology of the Russian Federation. Candidate of technical Sciences, associate Professor. General Director JSC "Scientific and production Association" National technologies, industrial design and engineering», Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Antokhin Evgeny A. Head of Department JSC «Technics». Moscow, st. New Dawn, 6.

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.

Belonozhko Maksim G. Post-graduate. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Bikmaev Ramil R. Head of the department of special software for navigation and astronomical systems. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Bogdanov Maxim B. Candidate of Technical Sciences, associate professor, associate professor of instrumentation and biotechnical Systems «PBS». Tula State University. Tula, Lenin Avenue, 92.

Borisenkov Igor L. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chairman SPP RAS. Moscow, st. Gubkina, 3

Bugakov Igor A. Honoured devisor of Russia. Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation. Doctor of Technical Sciences, professor. Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Chechin Gennady V. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Department «Radio Systems and Control Complexes, Information Transmission and Information Security» Moscow Aviation Institute (National Research University). Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

Emelin Nikolay M. Honored Scientist of the RSFSR, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of FSBSE «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

Kapitonov Ilya Yu. Student. Branch «Protvino» State University «Dubna». Moscow region, Protvino, Severny passage, 9.

Kashirina Elena I. Candidate of Historical Sciences, corresponding member of Academy of Military Sciences, Associate Professor of computer technology and information security KubGTU. Krasnodar, Moscowskaya street, 2.

Kashirina O.Yu. Candidate of Technical Sciences, Professor Academy of Military Sciences, Assistant Vice President. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Khamatov Andrey A. Candidate of Technical Sciences, Lecturer, Department of Management organizational and technical systems for space purposes. VKA named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Kontsevoy Anatoly G. Assistant professor, Command of the airborne troops of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Moscow, st. Matrosskaya Tishina, 10.

Koshkin Evgeny N. Senior officer. Military unit 33925. Moscow-160.

Kulakov VladimirV. Doctor of Historical Sciences, Professor, full member of Academy of Military Sciences, Professor of military training centre of FU under the Government of the Russian Federation. The basic directions of development of prospective automated complexes for the army. Moscow, Leningradsky prospect, 49.

Kuzin Evgeny N. Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher. VA Strategic Missile Forces named after Peter the Great. VA SRF behalf of Peter the Great. Moscow reg., Balashikha, street Karbysheva, d. 8.

Kuzin Evgeny N. Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher. Senior Researcher. VA SRF behalf of Peter the Great. Moscow reg., Balashikha, street Karbysheva, d. 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.

Maslikov Alexander A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor. Senior Researcher. Branch «Protvino» State University «Dubna». Moscow region, Protvino, Severny passage, 9.

Medvedev Vadim V. Candidate of Economical Sciences, Director of the Department of Innovation and Advanced Research of The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Moscow, Tverskaya street, 11.

Minina Olga V. Student. Tula State University. Tula, Lenin Avenue, 92.

Nikitin Andrey K. Software engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Osipov Alexander V. Teacher of the tactics department, Ryazan Guard Higher Airborne Command School. Ryazan, Army General V.F. Margelov sq., 1.

Pakuro Natalia I. Candidate of Chemical Sciences, Research fellow. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Panchelyuga Mariya S. Scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

AUTHORS

Panchelyuga Victor A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Senior scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Petrova Elena A. Head of Department. VKA named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Popov Aleksandr S. Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher. VKA named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

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.

Potapov Sergey E. Candidate of Technical Sciences, Senior teacher. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Prokhortsov Alexey V. Candidate of Technical Sciences, associate professor, associate professor of instrumentation and biotechnical Systems «PBS». Tula State University. Tula, Lenin Avenue, 92.

Rybakova Lyudmila F. Candidate of Chemical Sciences, Research fellow. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Rzhanykh Anton V. Candidate of Technical Sciences, teacher. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Sadekov Rinat N. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Research Department, Military Innovative Technopolis «ERA». Krasnodar region, Anapa, Pioneer Ave., 28.

Sadovskaya Natalia V. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading researcher, Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a. Leading Employee. The branch of JSC «Karpov Institute of Physical Chemistry», Moscow, l. Obukha, 3-1/12.

Salko Andrei E. Doctor of Technical Sciences, Professor. Deputy General Director for Science and Technology Policy and Interstructural Communications. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Salko 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.

Shamanov Vladimir A. Candidate of Sociological Sciences, Chairman of the defense Committee of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation, Hero of the Russian Federation. Moscow, Okhotny Ryad str., 1.

Shaymardanov Albert M. Candidate of Technical Sciences, Lecturer. VKA named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Shmyrin Evgeny V. Candidate of Technical Sciences. Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Smirnov Dmitriy V. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, associate professor. Full member of the Academy of Engineering Sciences. Professor of the Department FSBEI of HE MAI (NRU). General director – First Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Smirnov Vladimir A. Candidate of Technical Sciences, associate professor, associate professor of instrumentation and biotechnical Systems«PBS». Tula State University. Tula, Lenin Avenue, 92.

Smirnov Yaroslav D. Head of Department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

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.

Tzar'kov Alexey N. Honoured scientist of Russia, Doctor of Technical Sciences, professor. President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Tzar'kova Elena A. CEO's councelor, JSC «Stoletika». Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Vitomsky Evgeny V. Senior Lecturer, Department «Radio Systems and Control Complexes, Information Transmission and Information Security» Moscow Aviation Institute (National Research University). Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

Volkov Gennadiy G. Doctor of Physical and Mathematical sciences, professor. Senior Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Voronin Leonid L. Researcher. FSBI «46 Central Research Institute» of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Moscow, Chukotsky passage, 10.

Zagarskih Vladimir I. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Senior Researcher. VA SRF behalf of Peter the Great. Moscow reg., Balashikha, street Karbysheva, d. 8.

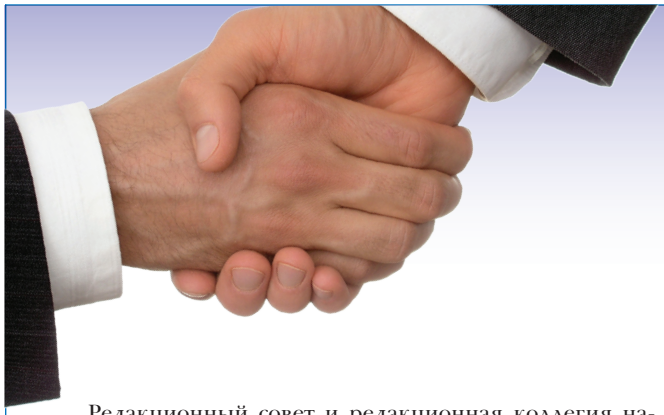
Zagarskih Vladimir.I. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher. VA Strategic Missile Forces named after Peter the Great. VA SRF behalf of Peter the Great. Moscow reg., Balashikha, street Karbysheva, d. 8.

Zakharov Vladimir L. Doctor of Military Sciences, professor. Full member of the Academy of Military Sciences. Professor. FSBEI of HE MAI (NRU). Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

Zelenevsky Anatoly V. Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of Department. CJSC «Firm of Scientific and Technical Center «KAMI». Moscow, Heroes Panfilovtsev st., 10.

Zelenevsky Vladimir V. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation Doctor of Technical Sciences, Professor, professor of the department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Zvonarev Vitaliy V. Candidate of Technical Sciences, Head of laboratory – Senior Researcher VI (NI). VKA named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.



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 обязаны потребовать разъяснения, без привлечения лиц, которые могут иметь конфликт интересов с одной из сторон.

Если материал, содержащий значительные неточности, был опубликован, он должен быть незамедлительно исправлен в форме, доступной для читателей и систем индексирования.

ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются статьи на русском языке. Рекомендуемый объем статьи – 0,2–0,4 п.л. (8000–16000 знаков).

Тексты должны быть представлены:
- в электронном виде (Word 2003). Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!
- на бумажном носителе формата А4.

Текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

Простые символы и формулы не набирать в математическом редакторе!

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:
- рубрика журнала (см. *Приложение 1*);
- УДК;
- название статьи с переводом на английский язык;
- имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (**Литература**) размещается в конце статьи.

После литературы помещаются:
- список ключевых слов, краткая аннотация (на русском и английском языках).

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):
- ФИО;
- ученая степень, ученое звание, должность и место работы с переводом на английский язык;
- адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

Обращаем особое внимание на:
- точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);
- выверенность статьи в компьютерном наборе;
- полное соответствие файла на электронном носителе и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.
Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

Приложение 1

РУБРИКАЦИЯ ЖУРНАЛА «Известия Института инженерной физики»

Постоянные рубрики

- **Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы.**
- **Радиотехника и связь.**
- **Информатика, вычислительная техника и управление.**

Разовые рубрики

- **Техника специального назначения.**
- **Инновационные проекты.**
- **Техническое регулирование.**
- **Профессиональное образование.**
- **Искусственный интеллект и робототехника.**
- **Медицина и фармацевтика.**
- **Диагностические системы.**
- **Научные обзоры. Научные рецензии. Отзывы.**

В соответствии с Решением Межведомственной комиссии РФ по защите государственной тайны №69 от 26 февраля 2001 г., требованиями законов №5485-1 «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г., №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27 июля 2006 г. статьи для публикации принимаются только при наличии экспертного заключения с разрешением на открытое опубликование.

INTERREGIONAL PUBLIC INSTITUTION
"INSTITUTE OF ENGINEERING PHYSICS"
(SCIENTIFIC, EDUCATIONAL AND INDUSTRIAL INSTITUTION)

CONTENTS

INSTRUMENT MAKING, METROLOGY AND INFORMATION–MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

Khamatov A.A., Zakharov V.L., Smirnov D.V.
Approach to modeling the operation of on-board equipment of autonomous spacecraft for monitoring the technical condition using fuzzy logic 2

Panchelyuga V.A., Panchelyuga M.S., Lesnykh V.N.
About action of powerfull non-stationary processes on time and frequency standard parameters 7

Abanin V.S., Kontsevoy A.G., Osipov A.V.
Device for recording flight information of a parachutist 16

Smurov S.V., Salko A.E., Zagarskih V.I., Kuzin E.N.
The phenomenon of detonation wave overdrive as a tool for increasing the explosive characteristics of linear detonating devices 21

Bogdanov M.B., Prokhortsov A.V., Smirnov V.A, Minina O.V.
The mathematical model of FOG VG949P obtained experimentally 25

Antokhin E.A., Atakischev O.I., Voronin L.L., Smirnov D.V.
Methodological foundations of testing remotely controlled ground robotic complexes of military purposes of the middle and heavy classes 28

Ananev E.M., Andruh O.N., Pakuro N.I., Rybakova L.F., Sadovskaya N.V., Salko A.E.
Hardware design and some technological aspects of the use of reactions chemical deposition of copper to obtain copper coatings on polyethylene terephthalate fibers 34

Belonozhko M.G.
Optimal evaluation of the parameters of the self-consistent components of the anomalous gravitational field of the Earth with the attraction of the map-graphic data and additional point measurements 40

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION

Shaymardanov A.M., Zvonarev V.V., Popov A.S., Petrova E.A.
Analysis of development and application prospects unmanned aerial vehicle 43

Zakharov V.L., Vitomsky E.V.
Methods for constructing interference-protected frequency-frequency interference signals 50

Zakharov V.L., Smirnov D.V., Chechin G.V.
Main features of personal mobile communication systems based on prospective geostationary repeaters satellites 55

Zelenevsky V.V., Rzhanykh A.V., Zelenevsky A.V., Shmyrin E.V.
Clock synchronization in transmission systems with code orthogonal data compression 60

Potapov S.E.
Operative method of mathematical modeling of logic data transfer control protocols 65

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

Borisenkov I.L., Atakischev O.I., Smirnov Y.D.
Collegial metagrams and features of their use in the formation of programs for creating information security systems in a dynamically changing environment 73

Kashirina O.Yu., Kashirina E.I., Kulakov V.V., Shamanov V.A.
The Main directions of development of advanced automated systems in the interests of the Land Forces 79

Tzar'kov A.N., Smurov S.V., Volkov V.V., Maslikov A.A., Kapitonov I.Y.
The symmetry-group expansion of the quantum physics axioms in the quantum spin system dynamics 84

Smurov S.V., Salko A.E., Zagarskih V.I., Kuzin E.N.
Emergency destruction of solid-state storage media by thermal method 93

Nikitin A.K.
Using K-means method for local speckle image analysis 95

Alyaeva YV., Emelin N.M.
Algorithm for assessing the sufficiency of journals included in the List of peer-reviewed scientific publications 98

Kvashennikov V.V.
Calculation of arithmetic operations over fields Galous on the basis of decomposition of fields on subfields 101

Bikmaev R.R., Sadekov R.N.
Features of the use of convolutional neural networks in the recognition of marine surface objects 105

MODERN MEDICINE AND PHARMACEUTICS

Tzar'kov A.N., Tzar'kova E.A.
Innovative drug «TAMERON» 111

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ROBOTICS

Bugakov I.A.
How to create a friendly artificial intelligence 116

PROFESSIONAL EDUCATION

Koshkin E.N.
Features of the formation of moral and combat qualities among cadets of military universities of the Strategic Missile Forces 122

SCIENTIFIC REVIEWS. SCIENTIFIC CRITIQUES. COMMENTS

Medvedev VV., Pospekhov D.V, Alyaeva Y.V.
The role of state scientific centers of the Russian Federation in the implementation of the national project «Science» 124

EVENTS 128
AUTHORS 129
THE ETHICS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS 131
REQUIREMENTS TO AUTHORS 132

Учредитель и издатель – МОУ «ИИФ». Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а

Подписной индекс: 59190 по каталогу «Научно-технические издания» ОАО «Роспечать»

Адрес редакции: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
Тел: +7(4967)35-31-93, 35-13-71
Факс: +7(4967)35-44-20 http://www.iifrf.ru
E-mail: info@iifmail.ru

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-26650 от 20 декабря 2006 г.
Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ».
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
Подписано в печать 20.12.2019.
Дата выхода в свет 25.12.2019. Тираж 2000 экз. Цена свободная.
© Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики» (ИИФ), 2019

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