№ 2 +0
2017
[44]

научно-технический журнал

Известия

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

27 апреля – День основания Института инженерной физики

ЗАДАЧИ, КОТОРЫЕ ДОСТИГАЮТ ЦЕЛИ

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

В НОМЕРЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

2 **С.А. Лычагов, А.С. Лычагов, О.П. Кузнецов, А.Н. Фуров, А.И. Алаторцев.** Управление летательным аппаратом по линии аналитического визирования с учетом движения цели в инерциальном пространстве

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

7 **В.В. Зеленевский, Ю.В. Зеленевский, Е.В. Шмырин, А.С. Дурнов.** Имитационная модель каскадного кодека и оценка его эффективности для борьбы с пакетами ошибок

17 **А.А. Ерунов.** Результаты моделирования асинхронного мультиплексирования скрываемых данных в видеопотоке

21 **Д.Р. Уткин.** Алгоритм прогнозирования интенсивности пользовательской нагрузки на этапе технологического управления в сети спутниковой связи

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

25 **Ю.Н. Артамонов, Н.М. Емелин.** Методика выделения факторов, влияющих на целевые индикаторы проектов целевых программ

30 **Н.С. Кукин, И.О. Глотова.** Определение количества объектов на серии изображений по координатам движения точек

34 **Д.А. Корсунский, В.А. Рыженков.** Обнаружение ошибок в запоминающих устройствах хранения и передачи информации с минимальными аппаратурными затратами

40 **Г.Г. Волков, С.В. Смуров.** Спин-электронные и ядерные кубиты. Квантовое запутывание NV-центров алмаза

50 **С.И. Закатин, М.С. Закатин, С.С. Закатин, В.Н. Черников, А.В. Шикин, Д.В. Евсеев.** Бинаризация носителя оптической физически неклонируемой функции (ОФНФ). Моделирование ОФНФ с использованием электронных таблиц

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

56 **В.П. Ситников, А.К. Караев, П.Ф. Ситников, Н.И. Пакуро, Л.Ф. Рыбакова, Б.И. Нахманович.** Химическая металлизация и морфология поверхности омедненных лавсановых нитей

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА

63 **Н.В. Аллилуева, Э.М. Руденко.** Методика решения оптимизационных задач по выбору замкнутых маршрутов на графах на основе генетического алгоритма

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

70 **В.А. Коломбет, В.Н. Лесных, А.Н. Скавуляк, Е.В. Коломбет, А.Т. Бондарь.** Проявление универсальной системы утраивающихся периодов в УВЧ-терапии

74 **В.С. Вольский, О.П. Горло, С.С. Архипова, С.В. Аристов, Ю.В. Краснова, А.В. Чистякова, А.В. Муравьева.** Чистые помещения – залог качественного лекарственного препарата

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

79 **А.Г. Попов, А.А. Масликов, В.М. Дунилин, Е.В. Бородай, А.Н. Горновский, Д.Н. Печерский.** Частотно-разностнофазовый метод для исследования прочностных характеристик толстостенных конструкций выполненных из бетона и его применение для обоснования схемы расстановки датчиков

ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

85 **А.А. Мунтяну.** К вопросу о необходимости обоснования программы развития адаптивной сбалансированной системы вооружений

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

91 **Н.И. Семизоров, В.В. Дудулин.** Особенности организации, содержания и методики военно-специальной подготовки слушателей и курсантов в военно-инженерных вузах

96 **С.В. Мурашова, В.В. Григорьев.** Необходимость и способы стимулирования военных рационализаторов как один из путей повышения эффективности эксплуатации вооружения, военной и специальной техники

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ

100 **С.Ю. Сивоплясова, А.С. Стрелков.** Военно-техническое сотрудничество между странами БРИКС: выгоды, проблемы, перспективы

105 **AUTHORS**

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ Института инженерной физики

№2(44)2017

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

Решением Президиума ВАК включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий»

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
заместитель генерального директора – директор Департамента телекоммуникационных систем ФГУП «ЦНИИ ЭИСУ», 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

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

Николай Михайлович Емелин
заместитель директора ФГБНУ «Госметодцентр» по научной работе, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор

Валерий Иванович Николаев
научный референт ОАО «Концерн “Созвездие”», доктор технических наук, профессор

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

Юрий Александрович Романенко
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Анатолий Васильевич Тодосийчук
заместитель руководителя аппарата Комитета Государственной Думы по науке и наукоемким технологиям, почетный работник науки и техники РФ, доктор экономических наук, профессор

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

научно-технический журнал
Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
№ 2 2017
44

Редакционная коллегия

Олег Николаевич Андрух
кандидат технических наук, доцент
Борис Фёдорович Безродный
доктор технических наук, профессор
Сергей Борисович Беркович
почетный геодезист РФ
доктор технических наук, профессор
Владимир Эрнестович Бородай
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Игорь Александрович Бугаков
заслуженный изобретатель РФ,
доктор технических наук, профессор
Александр Михайлович Вальваков
почетный работник науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор
Вадим Геннадьевич Грибунин
доктор технических наук
Сергей Григорьевич Данилюк
доктор технических наук, профессор
Владимир Владимирович Зеленевский
доктор технических наук, профессор
Николай Николаевич Казаков
член Союза писателей России
Олег Павлович Кузнецов
кандидат технических наук, доцент
Александр Ильич Куприянов
доктор технических наук, профессор
Дмитрий Геннадьевич Митрофанов
заслуженный изобретатель РФ,
доктор технических наук, профессор
Роман Леонидович Мусатов
кандидат технических наук
заместитель главного редактора
Игорь Павлович Новожилов
выпускающий редактор
Игорь Николаевич Оков
доктор технических наук, профессор
Владимир Петрович Пашинцев
заслуженный работник высшей школы РФ,
доктор технических наук, профессор
Валерий Николаевич Умников
доктор технических наук, профессор
Дмитрий Вячеславович Смирнов
доктор технических наук, доцент
Сергей Владимирович Смуров
доктор технических наук, профессор
Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Сергей Николаевич Шиманов
почетный радист РФ,
доктор технических наук, профессор

ISSN 2073-8110
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@iifrf.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 20.04.2017. Дата выхода в свет 27.04.2017. Тираж 2000 экз. Цена свободная.
© Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики» (ИИФ), 2017

Евгений Михайлович Ананьев
Первый Вице-президент Института инженерной физики – Первый заместитель генерального директора
почетный работник науки и техники РФ
кандидат технических наук, доцент, член-корреспондент АИО

У лауреата Нобелевской премии немецкого писателя Томаса Манна, человека, судя по богатому литературному наследию, знавшего цену времени, есть замечательная фраза: «Время – драгоценный подарок, данный нам, чтобы в нем стать умнее, лучше, зрелее и совершеннее».

Небольшая группа единомышленников – всего несколько человек! – во главе с Алексеем Николаевичем Царьковым, которая стояла у истоков Института инженерной физики, не только получила этот драгоценный подарок 24 года назад, но и – что главное! – сумела им правильно распорядиться.

За эти годы, благодаря неиссякаемому энтузиазму, высокому профессионализму и завидной целеустремленности всех членов нашего теперь уже большого коллектива (нас теперь уже более 760 человек, среди которых 25 докторов наук, 99 кандидатов наук, 23 профессора, 88 доцентов, 29 заслуженных деятелей науки и почетных работников!), удалось создать уникальную организацию, ведущую многогранную, плодотворную работу в научно-инновационной, образовательной и производственной сферах. Наш научный потенциал и экспериментально-производственная база позволяют обеспечивать эффективную научно-исследовательскую деятельность, формирование новых научно-технических направлений и развитие научно-технического сотрудничества со многими российскими организациями и предприятиями, в том числе и Оборонно-промышленного комплекса. Ученые и исследователи МОУ «ИИФ» демонстрируют значимые достижения и в фундаментальных, и в прикладных отраслях, вносят ощутимый вклад в решение актуальных научных и технических проблем. Мы по праву можем гордиться оригинальными разработками в таких областях как АСУ и связь, информационная безопасность, наземная навигация подвижных объектов, конверсия углеводородных моторных топлив и других.

Наш Институт вносит существенный вклад в подготовку научно-педагогических кадров, поддерживает их дальнейшее становление в качестве ученых. На протяжении уже нескольких лет плодотворно функционируют цепочка «студент – аспирант – научный сотрудник».

Да, мы с гордостью говорим о своих заслуженных успехах! Но при этом не забываем о движении вперед, о поступательном развитии. Мы постоянно расширяем материально-техническую базу (а она сейчас состоит из административного, учебного, научно-исследовательского, опытно-экспериментального и испытательного корпусов общей площадью более 12000 м^2), вкладываем силы и средства в ее дальнейшее развитие. В наших ближайших планах строительство производственного комплекса.

В день 24-й годовщины со дня образования Института инженерной физики желаю нашему дружному коллективу научного вдохновения, творческой энергии, плодотворной работы и дальнейших успехов во благо процветания нашей Родины – великой России!

Искренне убежден, что за эти годы мы стали умнее, лучше, зрелее и совершеннее!

УДК 692.7.016

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ ПО ЛИНИИ АНАЛИТИЧЕСКОГО ВИЗИРОВАНИЯ С УЧЕТОМ ДВИЖЕНИЯ ЦЕЛИ В ИНЕРЦИАЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

CONTROL OF THE AIRCRAFT BY THE LINE OF ANALYTICAL SIGHT TAKING INTO ACCOUNT THE MOVEMENT OF THE TARGET IN THE INERTIAL SPACE

Сергей Александрович Лычагов
кандидат технических наук
начальник кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(917)516-22-52

Олег Павлович Кузнецов
кандидат технических наук, доцент
начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.:+7(4967)35-31-93

Алексей Сергеевич Лычагов
курсант
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел. +7(4967)35-78-20

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

Алексей Игоревич Алаторцев
кандидат технических наук
докторант
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)78-96-53
E-mail: alexalat@yandex.ru

Аннотация

Предлагается осуществлять наведение управляемого баллистического летательного аппарата на движущуюся цель по методу линии аналитического визирования. Решается задача синтеза алгоритмов наведения на подвижную цель. Делается итоговая оценка полученных алгоритмов.

Ключевые слова: точка прицеливания, точка цели, метод наведения по линии аналитического визирования, алгоритм наведения, точность наведения.

Summary

We present the contents of the author's method of targeting aircraft at the closing phase of the trajectory. Given the distinctive features of this method of guidance.

Keywords: method required acceleration, homing method, line surveillance, line analytical monitoring, method of guidance through analytical monitoring.

Решение задач наведения управляемых баллистических летательных аппаратов* (УБЛА) так же как и задач наведения межконтинентальных баллистических ракет (МБР) осуществляется на неподвижную точку пространства, называемую точкой прицеливания. Точкой прицеливания называют точку предполагаемой встречи УБЛА и точки цели. Точка цели находится на поверхности Земли и участвует вместе с ней в суточном вращении. Следовательно, относительно инерциальной системы координат, в которой происходит наведение и полет УБЛА, точка цели движется. Положение (координаты) точки прицеливания рассчитывают до начала полета. Для этого определяют полное время полета T и далее по известным формулам производят расчет координат точки предполагаемой встречи УБЛА с целью в инерциальной геоцентрической системе и пересчитывают их в стартовую систему.

Скорость точки цели в инерциальном пространстве зависит от ее широты. На экваторе эта скорость составляет 463,3 *м/с*, на широте 40° – 355 *м/с*. Очевидно, что отклонение расчетного времени полета УБЛА до цели от реального времени будет приводить к промаху. Так отклонение в 0,1 *с* реального времени полета баллистического летательного аппарата от расчетного до цели, расположенной на широте 40°, приведет к промаху в 35 м.

Главной причиной отклонения реального времени полета баллистического летательного аппарата от расчетного являются возмущения, вызванные отклонениями реальной среды полета от принятой модели. Кроме того, в случае применения управляемых баллистических летательных аппаратов, на которые возлагаются задачи совершения маневра с целью уклонения от средств перехвата и повышения точности попадания в точку цели путем коррекции траектории своего движения, полное время полета априори неизвестно.

Таким образом, наведение УБЛА на замыкающем участке траектории целесообразно осуществлять на точку цели, движущуюся в инерциальном пространстве. При этом алгоритмы формирования программ управления должны быть инвариантными (независимыми) от времени полета. Следовательно, метод наведения, определяющий алгоритмы формирования программ управления, должен обладать свойством инвариантности.

Среди существующих методов наведения [1] наиболее подходящим, отвечающим требованию инвариантности от времени полета, является авторский метод линии аналитического визирования. Сущность метода заключается в формировании программ управления на основе отклонения углов ориентации вектора скорости центра масс УБЛА от углов ориентации линии аналитического визирования. Линией аналитического визирования будем называть прямую линию, соединяющую центр масс УБЛА и точку цели.

Рассмотрим задачу наведения УБЛА на движущуюся точку цели по методу линии аналитического визирования. В качестве системы координат будем рассматривать целевую систему $OLHZ$, начало которой на момент времени $t_0=0$ (момент начала наведения) совпадает с точкой цели, вертикальная ось OH совпадает с линией отвеса в точке цели в момент времени $t_0=0$, плоскость OLZ является плоскостью местного горизонта.

Начальными условиями наведения УБЛА являются координаты центра масс УБЛА, значение скорости и углы ориентации вектора скорости в целевой системе координат (*рисунок 1, б*)

$$h_0, l_0, z_0, V_0, \theta_0, \psi_0 . \qquad (1)$$

К перечисленным начальным условиям добавим координаты цели в момент времени $t_0=0$ и составляющие скорости цели

$$h_{ц0} = l_{ц0} = z_{ц0} = 0, V_{hц} = 0, V_{lц}, V_{zц} . \qquad (2)$$

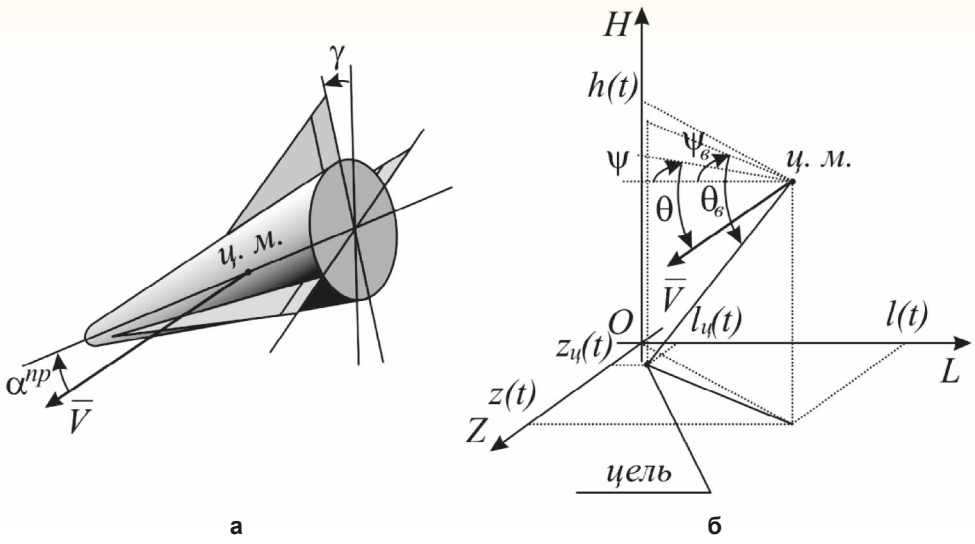
В качестве терминальных условий наведения будем рассматривать текущие координаты цели на момент встречи ее с УБЛА

$$h_ц\left(t_ф\right) = 0, l_ц\left(t_ф\right), z_ц\left(t_ф\right), \qquad (3)$$

где $t_ф$ – время встречи УБЛА с целью, отсчитываемое от момента $t_0=0$.

Параметрами управления в зависимости от выбранной схемы управления [1] могут быть углы атаки и скольжения или угол крена и пространственный угол атаки. Для определенности в дальнейшем будем рассматривать схему управления УБЛА с аэродинамической формой самолетного типа. Управляющие моменты создаются рулем направления и элеронами. Такие органы управления позволяют реализовать управление полной аэродинамической силой путем координированного разворота корпуса УБЛА вокруг продольной оси на угол крена γ и отклонение продольной оси от вектора скорости на пространственный угол атаки $\alpha^{пр}$, *рисунок 1, а*. На

* Здесь под управляемым баллистическим летательным аппаратом понимается летательный аппарат, полет которого обеспечивается только за счет имеющегося запаса механической энергии (кинетической и потенциальной).



а б

Рис. 1. К пояснению метода наведения:
а – схема управления самолетного типа; **б** – целевая система координат

пространственный угол атаки наложено ограничение

$$\left|\alpha^{пр}\right| \le \alpha^{пр}_{\max} . \qquad (4)$$

Угол крена – неограничен.

Для полноты исходных данных при решении задачи наведения к перечисленным элементам необходимо добавить математическую модель объекта управления. Такой математической моделью являются уравнения движения УБЛА, приведенные в [1, 2]. Эти уравнения запишем в виде:

$$\frac{dV}{dt} = -C_{хм}\frac{\rho V^2}{2m}S + \frac{\xi_x}{m}, \qquad (5)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = C^{\alpha}_{ум}\frac{\rho V}{2m}S\ \alpha^{пр}\cos\gamma + \frac{\xi_y}{mV}, \qquad (6)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = -C^{\alpha}_{ум}\frac{\rho V}{2m\cos\theta}S\ \alpha^{пр}\sin\gamma + \frac{\xi_z}{mV}, \qquad (7)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = V\sin\theta, \qquad (8)$$

$$\frac{dl(t)}{dt} = V\cos\psi\cos\theta, \qquad (9)$$

$$\frac{dz(t)}{dt} = V\sin\psi\cos\theta . \qquad (10)$$

Здесь ξ_x, ξ_y, ξ_z – составляющие внешней суммарной силы (сила тяжести, центробежная сила, кориолисова сила). Внешнюю суммарную силу будем рассматривать как возмущения, действующие на ЛА, включая аномалии поля земного тяготения, отклонения модели давления атмосферы от стандартной, погодные условия и т.п.

В классической постановке задачи наведения выбор программ управления осуществляется на основе решения задачи оптимального управления, т.е. нахождения таких программ, которые являются наилучшими среди множества других допустимых программ [1]. В данной работе оптимизационная задача не ставится. И все же будет проведена оценка качества программ по следующим показателям: точность наведения ($\left|\Delta l\right| \le \Delta l_{зад}$ – отклонение по дальности, $\left|\Delta z\right| \le \Delta z_{зад}$ – отклонение по боку), трудоемкость расчета полетного задания на пуск, трудоемкость расчета программ управления бортовой системой управления (трудоемкость реализации).

Постановка задачи наведения. При заданных математической модели объекта управления (5)–(10), начальных условиях наведения (1), (2), конечных условия наведения (3), ограничениях на параметры управления (4), требуется найти программы управления, обеспечивающие перевод ЛА из начального состояния (1) в конечное (3), с точностью не менее заданной, не требующих расчета полетного задания при подготовке на пуск и реализуемых без каких-либо дополнительных условий и ограничений.

Положение линии аналитического визирования в целевой системе координат определяют два угла (см. *рисунок 1, б*), которые находятся по начальным и терминальным условиям наведения, а в процессе полета – по текущим ко-

ординатам центра масс ЛА $l(t),h(t),z(t)$ и текущим координатам точки цели $l_ц(t),h_ц(t),z_ц(t)$:

$$\theta_в = arctg\frac{h(t)-h_ц(t)}{\sqrt{\left(l(t)-l_ц(t)\right)^2+\left(z(t)-z_ц(t)\right)^2}},$$

$$\psi_в = arctg\frac{z(t)-z_ц(t)}{l(t)-l_ц(t)}. \qquad (11)$$

При этом текущие координаты точки цели рассчитываются на основе известных составляющих скорости точки цели:

$$l_ц(t)=l_{ц0}+V_{lц}t,\ h_ц(t)=h_{ц0}+V_{hц}t,\ z_ц(t)=z_{ц0}+V_{zц}t \qquad (12)$$

Текущие значения углов ориентации вектора скорости необходимо доопределить с учетом относительности движения центра масс УБЛА и точки цели. Для этого доопределяются составляющие скорости:

$$V_l^{om}(t)=V_l(t)-V_{lц},\ V_h^{om}(t)=V_h(t)-V_{hц},\ V_z^{om}(t)=V_z(t)-V_{zц} \qquad (13)$$

и затем доопределяются углы ориентации вектора скорости

$$\theta(t)=arctg\frac{V_h^{om}(t)}{\sqrt{V_l^{om}(t)^2+V_z^{om}(t)^2}},$$

$$\psi(t)=arctg\frac{V_z^{om}(t)}{V_l^{om}(t)}. \qquad (14)$$

Отклонения между требуемыми значениями углов $\theta_в$, $\psi_в$ и текущими – $\theta(t)$, $\psi(t)$ определяют программы управления:

$$\Delta\theta=-\theta_в-\theta(t), \qquad (15)$$

$$\Delta\psi=-\psi_в-\psi(t). \qquad (16)$$

Параметрами управления в этом случае являются Для определения пространственного угла атаки $\alpha^{пр}$ и угла крена γ запишем уравнения (6), (7) для невозмущенного движения. Будем иметь

$$\frac{d\theta}{dt}=C_{yм}^{\alpha}\frac{\rho V}{2m}S\ \alpha^{пр}\cos\gamma, \qquad (17)$$

$$\frac{d\psi}{dt}=C_{yм}^{\alpha}\frac{\rho V}{2m\cos\theta}S\ \alpha^{пр}\sin\gamma. \qquad (18)$$

Запишем полные дифференциалы функций $\theta(t)$ и $\psi(t)$:

$$\Delta\theta=\frac{d\theta}{dt}\Delta t=C_{yм}^{\alpha}\frac{\rho V}{2m}S\ \alpha^{пр}\cos\gamma\Delta t, \qquad (19)$$

$$\Delta\psi=\frac{d\psi}{dt}\Delta t=C_{yм}^{\alpha}\frac{\rho V}{2m\cos\theta}S\ \alpha^{пр}\sin\gamma\Delta t. \qquad (20)$$

Поделив выражение (20) на (19), получим

$$\frac{\Delta\psi}{\Delta\theta}=\frac{\sin\gamma}{\cos\gamma\cos\theta}=tg\gamma\frac{1}{\cos\theta}, \qquad (21)$$

откуда

$$\gamma=arctg\left[\frac{\Delta\psi}{\Delta\theta}\cos\theta\right]. \qquad (22)$$

Программу управления пространственным углом атаки можно найти из выражений (17) или (18):

$$\alpha^{пр}=\frac{2m}{C_y^{\alpha}\rho VS_м}\frac{\Delta\theta}{\cos\gamma\Delta t}$$

$$\text{или } \alpha^{пр}=\frac{2m}{C_y^{\alpha}\rho VS_м}\frac{\Delta\psi}{\sin\gamma\Delta t}\cos\theta. \qquad (23)$$

Значение интервала времени Δt определяется из условий физической реализуемости при наличии ограничений (4). Меняя этот параметр, можно влиять на быстродействие отработки пространственного угла атаки системой стабилизации. Для определенности примем $\Delta t=1c$.

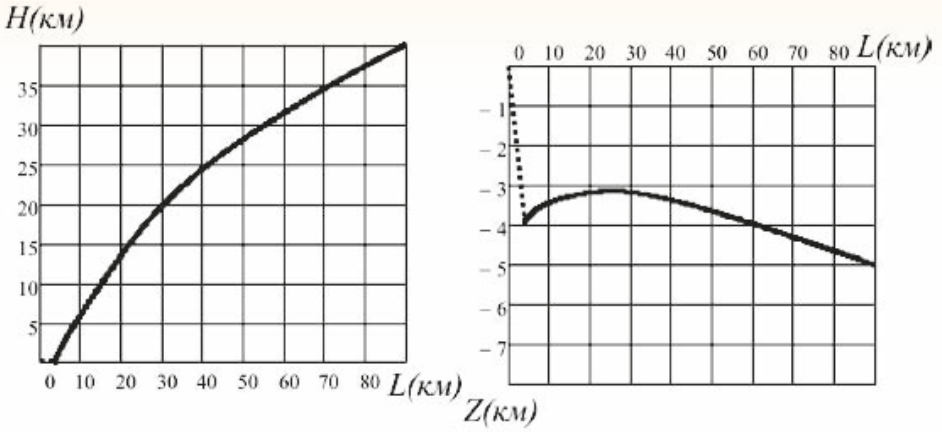
Алгоритм наведения УБЛА при рассматриваемой схеме управления представляет собой совокупность выражений (11), (12), (13), (14), (15), (16), (22) и (23).

Ниже приводятся данные, иллюстрирующие динамику наведения гипотетического УБЛА. Характеристики УБЛА заимствованы в [1]: $m=500$ *кг*, $S_м=1$ *м*^{2}, $C_x=0{,}1$, $C_y^{\alpha}=C_y^{\alpha}=0{,}3$, $\alpha_{\max}^{пр}=30^0$.

Моделирование процесса наведения осуществлялось при начальных условиях:
$h(0)=40$ *км*, $l(0)=90$ *км*, $z(0)=-5$ *км*, $V(0)=5{,}7$ *км/с*, $\theta(0)=-15°$, $\psi(0)=3°$, $h_ц(0)=0{,}1$, $l_ц(0)=0$, $z_ц(0)=0$, $V_{hц}=0$, $V_{lц}=183$ *м/с*, $V_{zц}=-183$ *м/с*.

Результаты моделирования представлены на рисунках. На *рисунок 2, а* и *б* представлена траектория полета УБЛА в двух плоскостях: на *рисунок 2, а* траектория полета УБЛА в вертикальной плоскости, на *рисунок 2, б* – в горизонтальной плоскости. На рисунках пунктирными линиями показаны траектории движения цели.

Моделирование процесса наведение УБЛА проводилось при трех значениях параметра Δt, входящего в уравнения (23). Оказалось, что точность наведения зависит от значения этого параметра. Так при $\Delta t=1$ *с* отклонение по дальности составило $\Delta l=31{,}6$ *м*, отклонение по боку – $\Delta z=-33{,}3$ *м*, при $\Delta t=0{,}5$ *с* отклонение по дальности – $\Delta l=22.3$ *м*, отклонение по боку – $\Delta z=-9{,}1$ *м* и при $\Delta t=0{,}25$ *с* отклонение по дальности – $\Delta l=9.9$ *м*, отклонение по боку – $\Delta z=-2{,}4$ *м*. Из этих результатов можно заключить, что повышение точности наведения УБЛА возможно за



а) *б*)

Рис. 2. Траектория полета УБЛА при наведении:
а – в вертикальной плоскости; ***б*** – в горизонтальной плоскости

счет увеличения быстродействия привода аэродинамических органов управления (элеронов).

Алгоритм наведения УБЛА, представленный совокупностью выражений (11)–(16), (22) и (23), достаточно прост, не требует сложных расчетов при подготовке данных полетного задания. Исходными данными для формирования программ управления являются, координаты цели, составляющие скорости цели, текущие параметры полета, модель атмосферного давления и характеристики летательного аппарата. Следовательно, алгоритмы наведения не предъявляют высоких требований к быстродействию бортовой ЦВМ и к объему ее памяти.

Таким образом, рассмотренный метод наведения после тщательных дополнительных исследований может быть применен для наведения УБЛА, что позволит существенно повысить точность МБР.

Литература

1. Системы управления летательными аппаратами (баллистическими ракетами и их головными частями): Учебник для вузов / Г.Н. Разоренов, Э.А. Бахрамов, Ю.Ф. Титов; Под ред. Г.Н. Разоренова. М.: Машиностроение, 2003. 584 с.

2. Кузнецов О.П., Лычагов С.А., Нестеров Е.П. Ракетное оружие на основе аэробаллистической концепции. Серпухов: МО РФ, 2010. 181 с.

УДК 621.395

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КАСКАДНОГО КОДЕКА И ОЦЕНКА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПАКЕТАМИ ОШИБОК

SIMULATION MODEL OF THE CASCADE CODEC AND AN ESTIMATION OF ITS EFFICIENCY FOR STRUGGLE AGAINST PACKETS OF ERRORS

Владимир Владимирович Зеленевский
доктор технических наук, профессор
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-12-31

Евгений Валерьевич Шмырин
кандидат технических наук

Юрий Владимирович Зеленевский
доктор технических наук
доцент кафедры
в/ч 33965
Адрес: 101000, Москва

Артем Сергеевич Дурнов
доктор технических наук
сотрудник
в/ч 33965
Адрес: 101000, Москва

Аннотация
В статье представлены результаты работы имитационной модели каскадного кодека, исправляющего одиночные ошибки и пакеты ошибок, вызванные замираниями сигнала. Проведена оценка эффективности модели на основе полученных статистических характеристик.
Ключевые слова: имитационное моделирование, эквидистантный недвоичный циклический код, мягкое итеративное декодирование, кодовая комбинация, вероятность ошибки на бит, пакет ошибок.

Summary
The article presents the results of a simulation model of cascading codec that corrects single errors and error bursts, caused by fading of the signal. An evaluation of the effectiveness of the model on the basis of the obtained statistical characteristics.
Keywords: simulation, equidistant nonbinary cyclic code, soft iterative decoding, code combination, the probability of error for the bit, package errors.

Актуальность создания имитационных моделей кодеков телекоммуникационных систем обусловлена тем, что именно имитационное (компьютерное) моделирование зачастую оказывается единственным способом получения количественных оценок при обосновании принимаемых решений. Среди способов и методов прикладного системного анализа имитационное моделирование является самым мощным и эффективным инструментом исследования сложных систем.

Имитационная модель должна представлять собой совокупность программно-реализованных модулей, предназначенных для решения одной или нескольких задач из данной предметной области и обладающих функциональной независимостью. Характеристику цели исследования, заданную количественно, назовем целевой функцией, к которой предъявляются ряд требований:

- целевая функция должна оценивать эффективность функционирования системы в целом, а не отдельных ее подсистем;

● универсальность – способность всесторонней характеристики объекта исследования;

● количественное выражение целевой функции одним числом;

● статистическая эффективность – обеспечение возможной наибольшей точности оценки целевой функции;

● физический смысл – возможность последующей интерпретации результатов моделирования;

● простота и доступность вычисления целевой функции;

● существование для всех различных состояний.

В качестве целевой функции при постановке экспериментов на разработанной имитационной модели каскадного кодека выбраны [2]:

1) $P_b = f(bps, n_{ndv}, n_{dv}, I, N_b, SNR, A, N_{err})$ – вероятность ошибки на бит в принятой кодовой комбинации (КК);

2) $P_{ош} = f(bps, n_{ndv}, n_{dv}, I, N_b, SNR, A, N_{err})$ – вероятность ошибочного декодирования КК,

где bps – количество бит на недвоичный символ (длина информационной части кода);

n_{ndv} – длина недвоичного кода;

n_{dv} – длина двоичного кода;

I – количество итераций двоичного декодера;

N_b – количество переданных бит в эксперименте на имитаторе;

SNR – отношение сигнал/шум канала связи, дБ;

A – амплитуда сигнала;

N_{err} – длина пакета ошибок, возникающих при замираниях.

При моделировании процессов кодирования данных, помеховых воздействий, декодирования одновременно изменяются несколько факторов. Исследователь выделяет целевую функцию (в нашем случае – вероятности P_b, $P_{ош}$), которую необходимо исследовать для всех точек факторного пространства.

При имитационном моделировании операций генерации, кодирования, внесения ошибок в передаваемые кодовые комбинации и декодирования каскадного кода каждому структурному элементу имитатора соответствует математический (программный) модуль [1], представляющий собой в общем случае некую совокупность данных и способов работы с ними.

Постановка задачи

Известны:

● алгоритм кодирования/декодирования недвоичного эквидистантного кода [2];

● алгоритм кодирования/декодирования двоичного композиционного итеративного кода [3,4];

● требуемая достоверность оценок статистических характеристик декодирования.

Требуется:

● разработать имитационную модель канала связи с каскадным кодеком;

● получить статистические оценки характеристик декодирования – P_b, $P_{ош}$ с заданной точностью [2].

На этапах разработки и отладки исследуемой модели каскадного кодека в системе программирования QtCreator реализованы следующие функциональные модули имитатора [1]:

● M_1 – модуль генерации передаваемой информации (данных);

● M_2 – модуль кодирования недвоичным эквидистантным кодом;

● M_3 – модуль кодирования двоичным композиционным итеративным кодом;

● M_4 – модуль перфорации закодированного битового потока;

● M_5 – модуль генерации помехового воздействия в линии связи;

● M_6 – модуль внесения пакета ошибок в передаваемый битовый поток;

● M_7 – модуль обратной перфорации закодированного битового потока;

● M_8 – модуль декодирования двоичного композиционного итеративного кода;

● M_9 – модуль декодирования недвоичного эквидистантного кода;

● M_{10} – модуль сбора статистики – расчёта соответствующих оценок статистических характеристик (целевых функций) – P_b, $P_{ош}$, определяющих качество функционирования системы передачи данных, отображения расчётных оценок и формирования из них базы данных (архива).

Интерфейс модели каскадного кодека представлен на *рисунке 1*.

Входными данными (факторами эксперимента) являются:

● количество бит на недвоичный символ (длина информационной части кодека) – bps;

● длина недвоичного кода – n_{ndv};

● длина двоичного кода – n_{dv};

● количество итераций двоичного декодера – I;

● отношение сигнал/шум в канале связи – SNR;

● амплитуда сигнала – A;

● длина пакета ошибок, возникающих при передаче КК по каналу связи – N_{err};

● количество информационных бит, передаваемых по каналу связи – N_b.

Эти параметры формируют факторное пространство эксперимента по оценке качества функционирования канала связи.

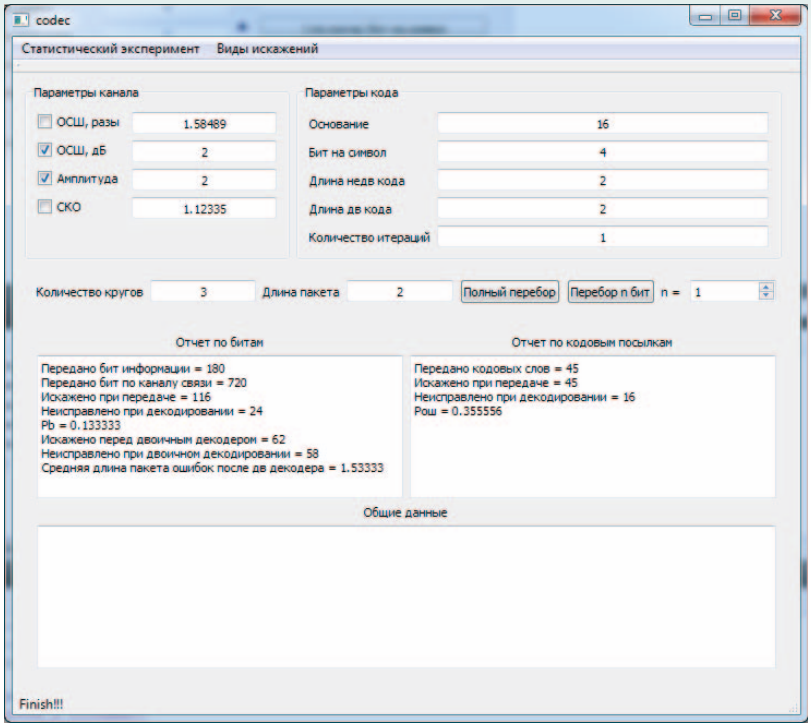


Рис. 1. Интерфейс модели каскадного кодека

Выходными данными модели являются:

- количество переданных бит информации и КК;
- количество искажённых в канале связи и неисправленных после декодирования бит и КК;
- оценка частоты (вероятности) ошибочного декодирования бита сообщения – P_b;
- оценка частоты (вероятности) ошибочного декодирования КК – $P_{ош}$;
- количество искажённых бит информации перед двоичным декодером;
- количество неисправленных бит информации двоичным декодером;
- средняя длина пакета искаженных бит после двоичного декодера.

Архив имитатора представляет собой текстовый файл с информацией вида:

Длина недвоичного кода:	2
Длина двоичного кода:	2
Количество итераций двоичного декодера:	1
Длина пакета ошибок:	2
Количество бит информации:	180
Передано бит по каналу связи:	720
Искажено бит при передаче по кс:	116
Ошибочно декодировано КК:	24
Вероятность ошибки на бит Pb:	0.133333
Передано КК:	45
Искажено КК при передаче:	16
Искажено бит информации перед двоичным декодером:	62
Не исправлено двоичным декодером:	58
Средняя длина пакета ошибок после двоичного декодера:	1.533333

Разработанная имитационная модель функционирует в диалоговом режиме, выходные данные непрерывно уточняются по мере поступления исходных данных. Исследователь (пользователь) ставит эксперименты на имитаторе, варьируя входные параметры и наблюдая значения выходных оценок с целью получения максимального объема информации о системе передачи, что позволяет вводить и исследовать большое число альтернатив, улучшить качество управленческих решений и точнее прогнозировать их последствия.

В результате совместной последовательной работы имитаторов двоичного и недвоичного кодеков на ЭВМ реализована имитационная модель системы цифровой связи с каскадным кодом. Получены исчерпывающие статистические характеристики системы с каскадным кодированием, представленные в *таблицах 1–2*.

Таблица 1
Зависимости вероятностей ошибочного декодирования
от отношения сигнал/шум КК (4,2,2) R =1/4

ОСШ, дБ	Искажено бит	Неисправлено бит	p_b	Неисправлено кодов слов	p_k
0	31463762	1635947	0.0163595	1295730	5,18e-02
1	22514978	747985	0.00747985	618270	2,47e-02
2	15001523	283918	0.00283918	244341	9,77e-03
3	9145302	85729	0.00085729	76489	3,06e-03
4	4996639	19383	0.00019383	17841	7,14e-04
5	2382757	2947	2.947e-05	2802	1,12e-04
6	955879	281	2.81e-06	273	1,09e-05

Таблица 2
Зависимости вероятностей ошибочного декодирования
от отношения сигнал/шум КК (4,2,3) R =1/6

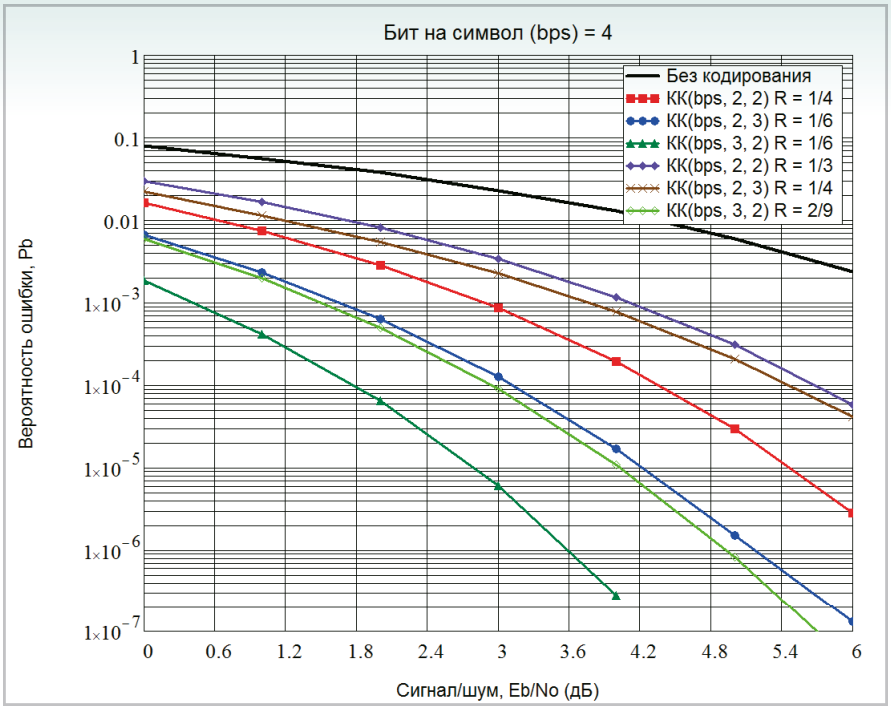
ОСШ, дБ	Искажено бит	Неисправлено бит	p_b	Неисправлено кодов слов	p_k
0	4188303	663331	0.00663331	439166	1,76e-02
1	33767963	233370	0.0023337	158914	6,36e-03
2	22501177	63172	0.00063172	44505	1,78e-03
3	13727731	12627	0.00012627	9183	3,67e-04
4	7503326	1673	1.673e-05	1268	5,07e-05
5	3572844	149	1.49e-06	111	4,44e-06
6	1432940	13	1.3e-07	10	4,00e-07

Таблица 3
Зависимости вероятностей ошибочного декодирования от отношения
сигнал/шум с использованием перфорации КК (4,2,2) R =1/3 sp =1010

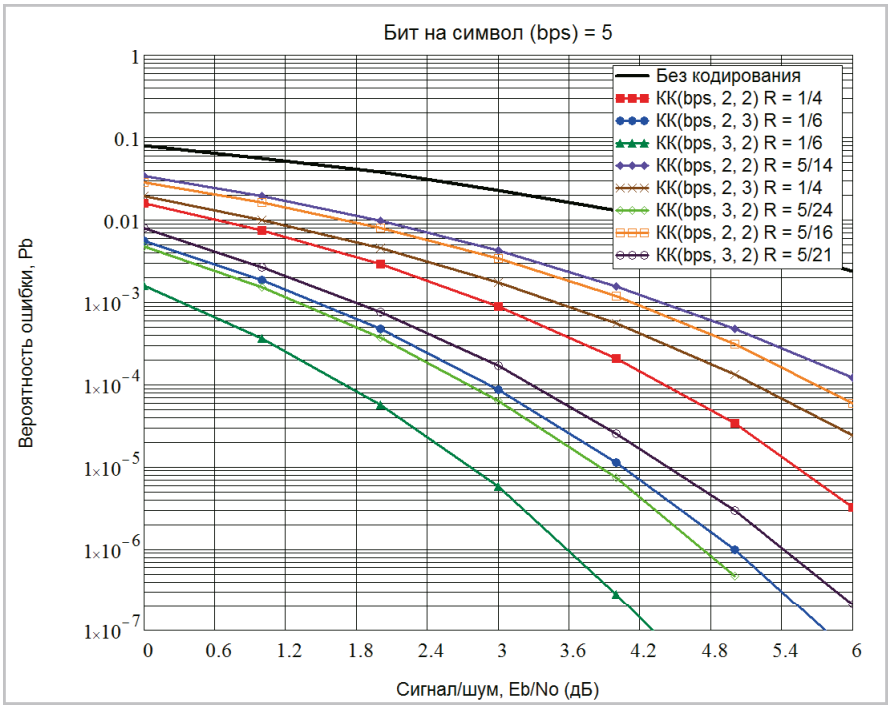
ОСШ, дБ	Искажено бит	Неисправлено бит	P	Неисправлено кодов слов	p_k
0	23589768	2959218	0.0295922	2401830	9,61e-02
1	16884482	1646003	0.01646	1376640	5,51e-02
2	11247873	806807	0.00806807	694372	2,78e-02
3	6861952	337549	0.00337549	295073	1,18e-02
4	3748390	116147	0.00116147	103059	4,12e-03
5	1785147	30784	0.00030784	27557	1,10e-03
6	716181	5832	5.832e-05	5305	2,12e-04

Таблица 4
Зависимости вероятностей ошибочного декодирования
от отношения сигнал/шум с использованием перфорации КК (4,2,3) R =1/4 sp =10101010

ОСШ, дБ	Искажено бит	Неисправлено бит	P	Неисправлено кодов слов	p_k
0	31460184	2217918	0.0221792	1910362	7,64e-02
1	22517019	1149156	0.0114916	1034425	4,14e-02
2	15001920	544754	0.00544754	510372	2,04e-02
3	9148952	225053	0.00225053	217020	8,68e-03
4	4999041	76576	0.00076576	75219	3,01e-03
5	2382284	20725	0.00020725	20567	8,23e-04
6	955170	4094	4.094e-05	4084	1,63e-04

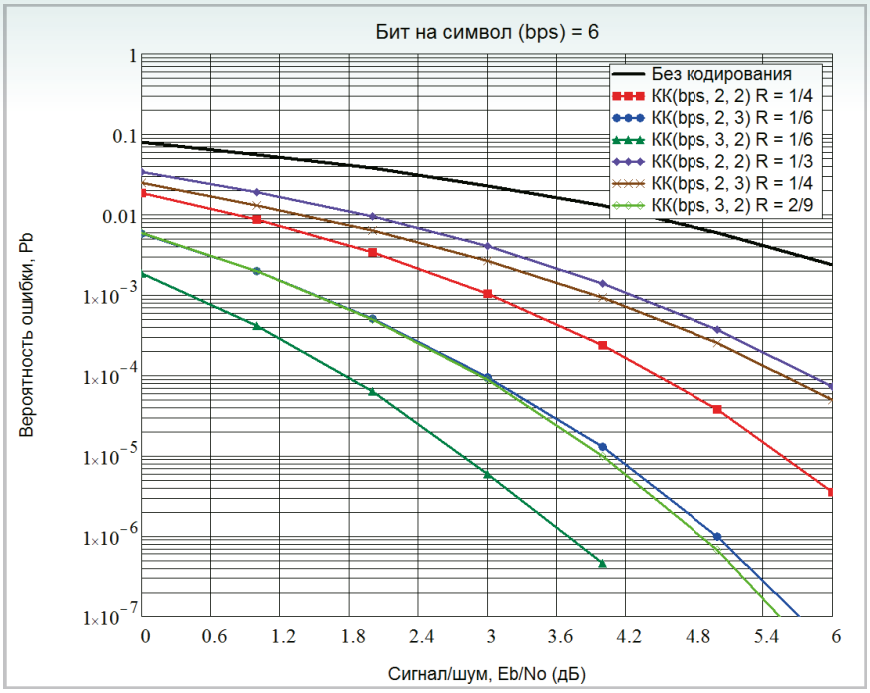


Зависимость вероятности ошибки на бит для кода с длиной информационной части = 4 бита

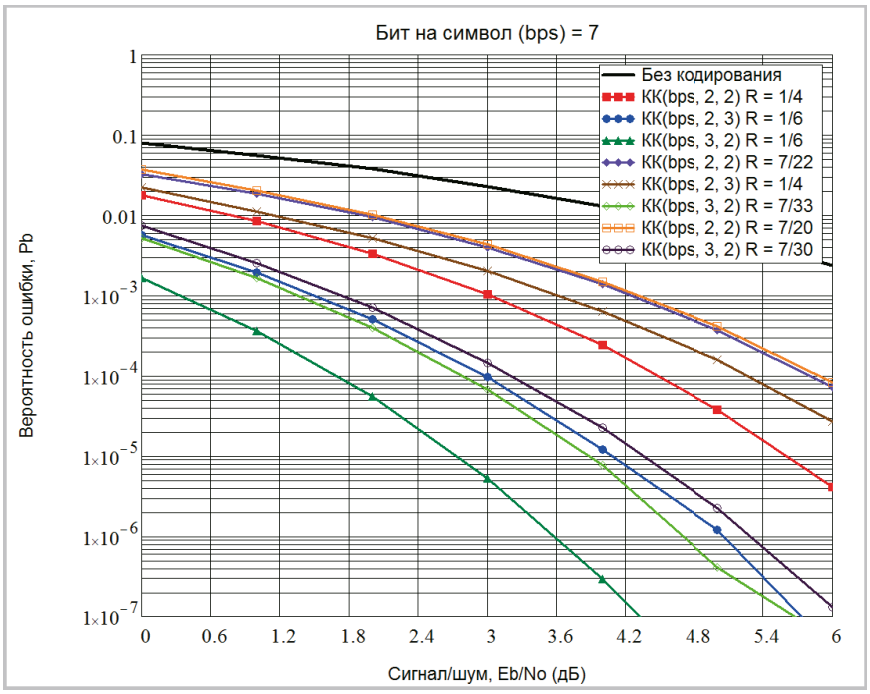


Зависимость вероятности ошибки на бит для кода с длиной информационной части = 5 бит

Рис. 2. Зависимость P_b для bps=4,5

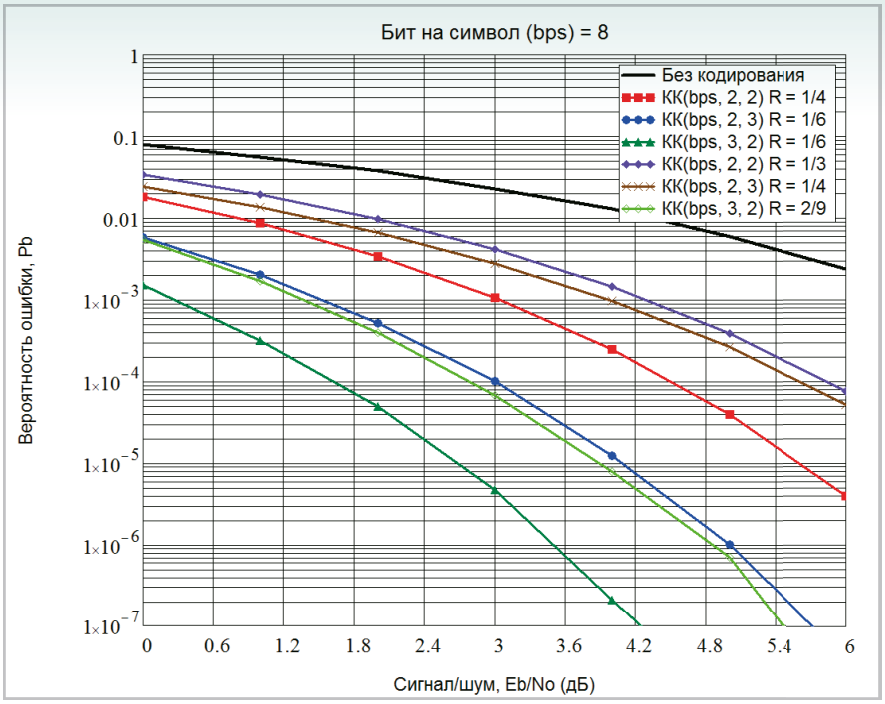


Зависимость вероятности ошибки на бит для кода с длиной информационной части = 6 бит

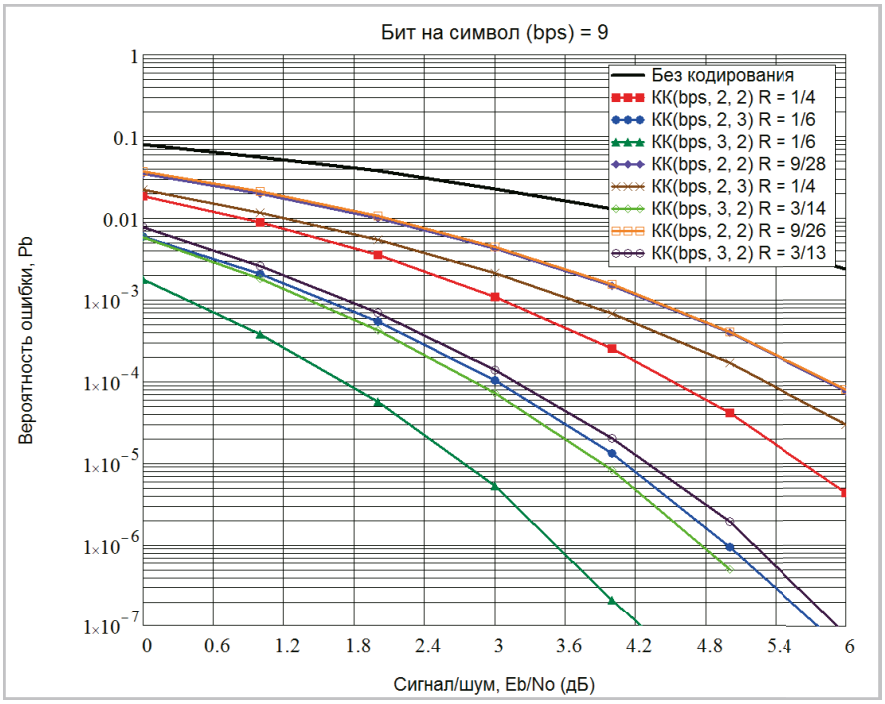


Зависимость вероятности ошибки на бит для кода с длиной информационной части = 7 бит

Рис. 3. Зависимость P_b для bps=6,7



Зависимость вероятности ошибки на бит для кода с длиной информационной части = 8 бит



Зависимость вероятности ошибки на бит для кода с длиной информационной части = 9 бит

Рис. 4. Зависимость P_b для bps=8,9

Обозначения:

bps – количество бит на недвоичный символ;

q – основание недвоичного кода;

n1 – длина недвоичного кода;

n2 – длина двоичного кода (величина обратная скорости двоичного кода);

R – скорость каскадного кода;

p_b – вероятность ошибки на бит;

p_k – вероятность ошибочного декодирования КК;

sp – шаблон перфорации;

КК(bps, n1, n2) – каскадный код с параметрами bps, n1, n2.

Шаблон перфорации составлялся по следующим правилам:

1. Для кодеков с четным bps выкалывался каждый второй проверочный символ двоичного кода.

2. Для кодеков с нечетным bps было применено два шаблона, в которых выкалывался каждый второй проверочный символ двоичного кода, начиная либо с первого проверочного символа, либо со второго. В этом случае из-за нечетности bps скорость кода для двух шаблонов различалась.

На *рисунках 2-4* представлены графики зависимостей статистических характеристик от отношения сигнал/шум для различных конфигураций кодовой комбинации КК(bps, n1, n2).

Выводы

1. Среди рассмотренных конфигураций каскадного кода лучшие показатели декодирования у КК (bps, 3, 2) R=1/6.

2. С увеличением величины bps вероятность ошибки на бит у каскадного кодека с одинаковой конфигурацией остается на одном уровне.

3. С увеличением величины bps вероятность ошибки на кодовое слово у каскадного кодека с одинаковой конфигурацией ухудшается.

4. При применении перфорации качество декодирования падает.

5. С увеличением величины bps вероятность ошибки на бит у каскадного кодека с одинаковой конфигурацией и применением перфорации остается на одном уровне.

6. Среди рассмотренных конфигураций каскадного кода с применением перфорации лучшие показатели декодирования у КК(bps, 3, 2).

7. Качество декодирования в конфигурации КК(bps, 3, 2) с перфорацией совместима с КК(bps, 2, 3) без перфорации, тогда как скорость кода у КК(bps, 3, 2) выше.

8. Качество декодирования в конфигурации КК(bps, 3, 2) с перфорацией лучше на порядок с КК(bps, 2, 2) без перфорации, тогда как скорость кода скорость кода у КК(bps, 3, 2) незначительно ниже.

Также на разработанной имитационной модели был проведен статистический эксперимент по исследованию зависимости вероятности битовой ошибки от длины пакета ошибок. Результаты эксперимента представлены на *рисунках 5–6*.

Проанализировав графики на *рисунках 5, 6* можно сделать следующие **выводы**:

1. КК(bps, 2, 3) не предназначен для работы в канале с большим числом пакетных ошибок. В данном канале связи следует применять КК(bps, 3, 2).

2. С увеличением bps растет и длина пакета ошибок, которые код КК(bps, 3, 2) способен исправить.

3. КК(bps, 3, 2) способен исправлять пакет ошибок длиной N_{err} = bps – 1, а в отдельных случаях и более.

Модель позволяет получить статистические характеристики для пакетов ошибок большой длины. В этом случае длина исправляемого пакета ошибок равна длине информационной части слова.

В *таблицах 3-6* представлены статистические характеристики для пакетов ошибок длины 64, 128 и 256 бит соответственно, где P_b – вероятность битовой ошибки, P_{ks} – вероятность ошибки в приеме кодового слова, длина двоичного кода равна 2, длина недвоичного кода равна 3.

Пример 1

Длина информационной части равна 64 бита, передано бит информации 10^8=11,92 МБ, длина пакета ошибок 64 бита.

Таблица 5

Зависимости вероятностей ошибочного декодирования от отношения сигнал/шум

dB	P_b	P_{ks}
0	0.047147	0.755762
1	0.027024	0.506032
2	0.010437	0.252507
3	0.002837	0.090134
4	0.000591	0.023060
5	0.000111	0.004483
6	2.1318e-05	0.000925
7	9.3492e-06	0.000307
8	3.8397e-06	0.000141
9	9.9992e-07	5.0556e-05

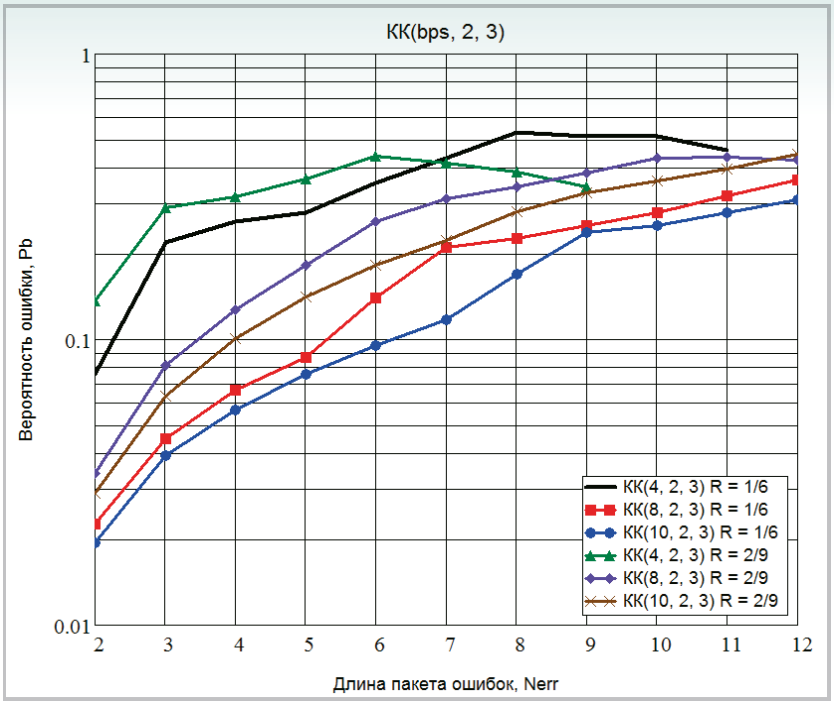


График 1 – Зависимость p_b от N_{err} для каскадного кода (bps, 2, 3)

Рис. 5. Зависимость P_b от N_{err}

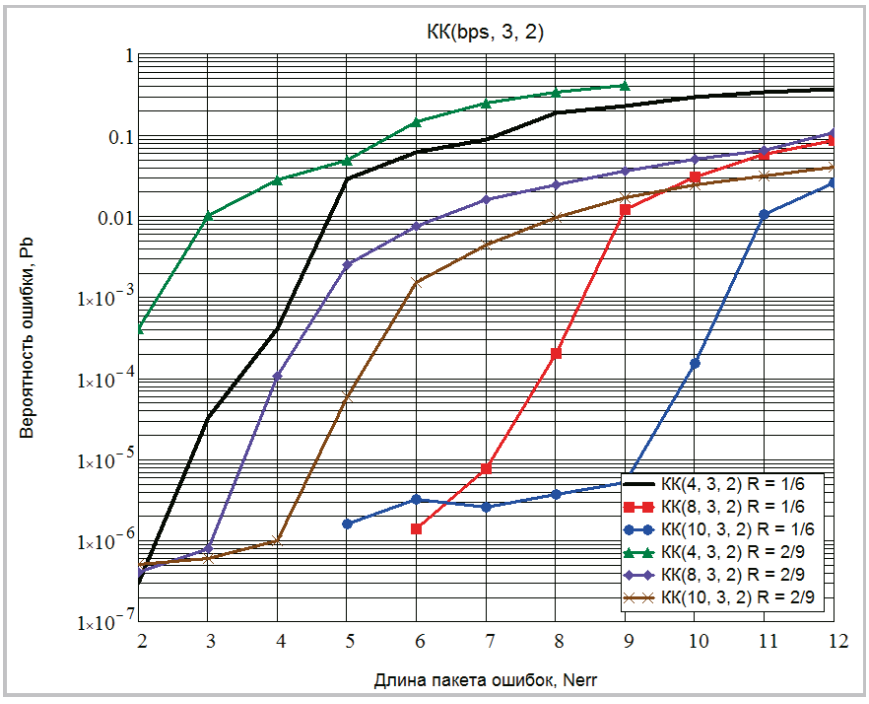


График 2 – Зависимость p_b от N_{err} для каскадного кода (bps, 3, 2)

Рис. 6. Зависимость P_b от N_{err}

Таблица 6

Зависимости вероятностей ошибочного декодирования от отношения сигнал/шум

dB	P_b	P_{ks}
0	0.045215	0.933511
1	0.034237	0.746686
2	0.017119	0.435789
3	0.004419	0.170093
4	0.000753	0.043767
5	0.000109	0.007488
6	1.32378e-05	0.000987
7	2.88952e-06	0.000193
8	6.29896e-07	6.14299e-05
9	2.49959e-07	2.55958e-05

Таблица 7

Зависимости вероятностей ошибочного декодирования от отношения сигнал/шум

dB	P_b	P_{ks}
0	0.039080	0.994410
1	0.033476	0.927779
2	0.026045	0.672484
3	0.008631	0.307687
4	0.001318	0.084240
5	0.000135	0.014182
6	1.17076e-05	0.001630
7	5.99877e-07	0.000136
8	1.38972e-06	2.81542e-05
9	5.99877e-08	1.27974e-05

Пример 2

Длина информационной части – 128 бит, передано бит информации 10^8=11,92 МБ, длина пакета ошибок – 128 бит.

Пример 3

Длина информационной части – 128 бит, передано бит информации 10^8=11,92 МБ, длина пакета ошибок – 256 бит.

Пример 4

Длина пакета ошибок – 64 бита, длина информационной части – 64, 128 и 256 бит, передано бит информации 10^8=11,92 МБ. Передано информационных посылок 1562500, 781250 и 390625 соответственно.

Таким образом, на основании полученных статистических характеристик декодирования каскадного кодека можно сделать вывод о высокой эффективности его работы по борьбе с пакетами ошибок большой длины.

Литература

1. Шлее М. Профессиональное программирование на C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 896 с.

2. Зеленевский Ю.В., Зеленевский В.В., Шмырин Е.В., Савельев К.В. Имитационное моделирование оптимальных недвоичных декодеров // Известия Института инженерной физики, 2014. №2 (32) С. 33-38.

3. Зеленевский Ю.В. Аналитическая оценка статистических характеристик декодирования итеративных кодов. // Инфокоммуникационные технологии, 2014. №1 С.41-43.

4. Зеленевский Ю.В., Зеленевский В.В., Шмырин Е.В. Оценка помехоустойчивости каскадных кодов. М.: Вестник Воздушно-космической обороны, 2015. №4 (8). С.56-58.

Таблица 8

Зависимости вероятностей ошибочного декодирования от отношения сигнал/шум

dB	P_b			P_{ks}		
	64	128	256	64	128	256
0	0.047147	0.033439	0.023976	0.755762	0.887851	0.985363
1	0.027024	0.023421	0.015941	0.506032	0.634508	0.843601
2	0.010437	0.010767	0.010143	0.252507	0.320019	0.464900
3	0.002837	0.002505	0.002930	0.090134	0.110452	0.145440
4	0.000591	0.000381	0.000354	0.023060	0.026366	0.030624
5	0.000111	4.6285e-05	3.0387e-05	0.004483	0.004310	0.004699
6	2.1318e-05	3.9070e-06	2.6220e-06	0.000925	0.000400	0.000511
7	9.3492e-06	1.1891e-06	8.9726e-08	0.000307	2.6859e-05	2.2970e-05
8	3.8397e-06	3.9970e-08	0	0.000141	5.1161e-06	0
9	9.9992e-07	0	3.0906e-07	5.0556e-05	0	2.5522e-06

УДК 621.396

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ СКРЫВАЕМЫХ ДАННЫХ В ВИДЕОПОТОКЕ

THE RESULTS OF MODELLING OF ASYNCHRONOUS MULTIPLEXING OF HIDDEN DATA IN THE VIDEO–STREAM

Анатолий Александрович Ерунов
адъюнкт кафедры сетей
и систем связи космических комплексов
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург, Ждановская наб., д. 13
Тел.: +7(911)289-22-05
E-mail: erun_to@mail.ru

Аннотация

Развитие методов сокрытия данных и расширение приложений цифровой стеганографии требует поиска компромисса между скрытностью и пропускной способностью скрытых каналов передачи данных. В качестве одного из подхода к увеличению пропускной способности предлагается использование асинхронного мультиплексирование скрываемых данных. Полученные результаты моделирования свидетельствуют об увеличении пропускной способности скрытого канала связи до 2.8 раз.

Ключевые слова: цифровая стеганография, скрытые каналы, стегоканалы, асинхронное мультиплексирование, переменная пропускная способность скрытого канала.

Summary

The development of data's concealment and extension of the applied scope of digital steganography demand to search the compromise between concealment and capacity of the hidden channel. As one of the approaches of increasing of capacity of the hidden channel can be using of asynchronous multiplexing technology. The results of modelling evidences of increasing of capacity of the hidden channel more in 2.8 times.

Keywords: digital steganography, the hidden channels, stegochannels, capacity of the hidden channel, asynchronous multiplexing, variable capacity of the hidden channel.

В настоящее время задача защиты информации в условиях воздействия на сети связи кибератак является первостепенной. Ежегодно во всем мире простые граждане и крупнейшие корпорации несут убытки из-за нарушения конфиденциальности передаваемой информации. Наряду с криптографическими методами защиты информации одним из направлений в решении данной задачи является применение методов цифровой стеганографии.

Основной задачей цифровой стеганографии является сокрытие предаваемых данных за счет избыточности различных видов информации, представляемой в цифровом виде и не привлекающей внимания несанкционированных наблюдателей. Информацию, в которой осуществляется скрытая передача, принято называть контейнером [1]. Значительная избыточность видеоданных в сравнении с остальными видами трафика определяет их использование в качестве контейнера для скрытой передачи информации.

Представленный в работе [2] анализ известных методов скрытой передачи информации видеоданных показал, что

1. Наибольшей скрытностью обладают методы встраивания в частотную область видеоданных до сжатия [3–5], что приводит к искажению скрываемой информации в процессе сжатия и обуславливает необходимость ее помехоустойчивого кодирования. Компромиссом, позволяющим разрешить противоречие между пропускной способностью и помехозащищенностью? является кодовое уплотнение, впервые предложенное в работах [6-7];

2. Пропускная способность скрытого канала является переменной и зависит от визуальных

характеристик видеопотока. При этом в открытых источниках ни в одном из методов не оценивалась динамика изменения пропускной способности скрытого канала.

Одним из способов повышения пропускной способности скрытого канала является асинхронное мультиплексирование скрываемых данных. При применении асинхронного мультиплексирования в стегосистеме, разделяемым ресурсом между активными абонентами выступают элементы видео-контейнера–блоки кадров, подлежащие модификации при встраивании данных. Поскольку количество пригодных блоков для встраивания динамически изменяется, реализация асинхронного мультиплексирования скрываемых данных без учета переменной пропускной способности скрытого канала может привести к потери пакетов скрываемых данных и значительному ухудшению качества скрытого информационного обмена. В этой связи, возникает необходимость согласования выходной скорости пакетированных данных абонентов скрытого информационного обмена с переменной скоростью их встраивания в видеоконтейнер. Принцип работы такого асинхронного мультиплексора можно представить в виде системы массового обслуживания *рисунок 1*.

Предлагаемая модель отличается от известных учетом переменной скорости передачи скрываемых данных, которая согласуется с текущим значением канальной емкости видео-контейнера. Под канальной емкостью группового скрытого канала *K* в статье понимается потенциальные возможности видео-контейнера, определяемые, как число типовых скрытых каналов, организуемых в этом контейнере.

Процесс обслуживания пакетированных данных, поступающих от абонентов скрытого информационного обмена, представлен в виде случайного марковского процесса, граф которого изображен на *рисунке 2*.

Для определения значений стационарных вероятностей состояний $p_{k,z,i,j}$ рассматриваемой модели в соответствии с [8] может быть составлена система линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} (\eta + Z*\alpha)p_{0,0,0,0} = \mu_2 * p_{0,0,0,1} + \mu_1 * p_{0,0,1,0} + \nu * p_{1,0,0,0} + \beta * p_{0,1,0,0}; \\ (\eta + Z*\alpha + \mu_2)p_{0,0,0,1} = 2\mu_2 * p_{0,0,0,2} + \mu_1 * p_{0,0,1,1} + \nu * p_{1,0,0,1} + \beta * p_{0,1,0,1}; \\ \dots \\ (K*\nu + Z*\beta)p_{K,Z,B,0} = \eta * p_{K-1,Z,B,0} + a * p_{K,Z-1,B,0} + Z\lambda_1 * p_{K,Z,B-1,0} + \beta * p_{K,Z,B-2,0} \\ \sum_{k=0}^{K}\sum_{z=0}^{Z}\sum_{i=0}^{K-k+B}\sum_{j=0}^{K-k+B-i} p_{k,z,i,j} = 1 \end{cases} \quad (1)$$

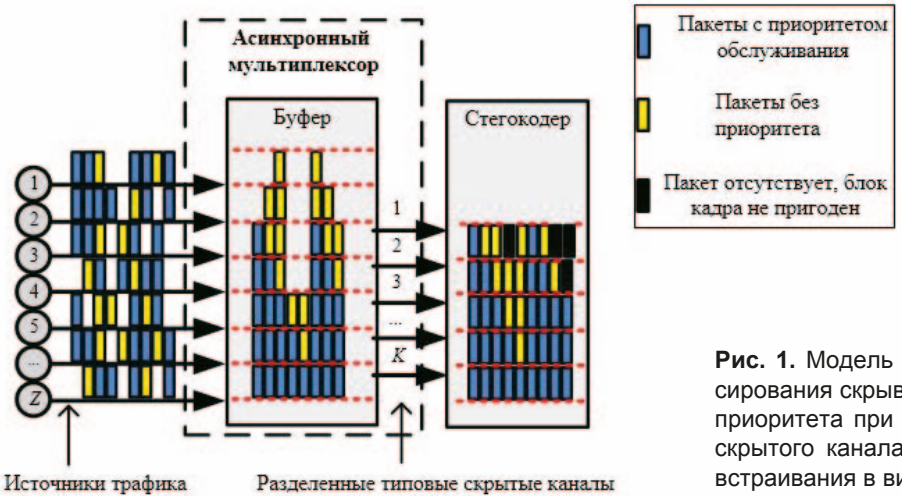
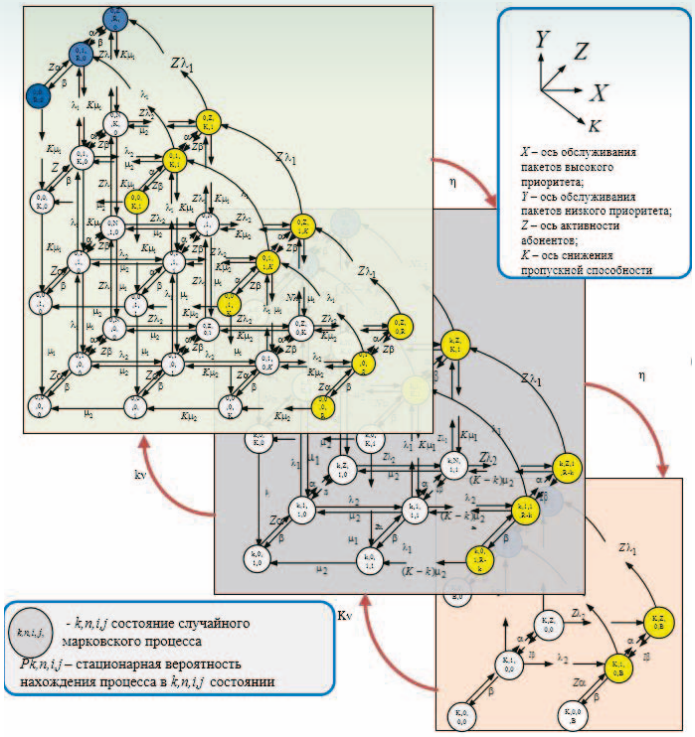


Рис. 1. Модель асинхронного мультиплексирования скрываемых данных с учетом их приоритета при формировании группового скрытого канала с переменной скоростью встраивания в видеопоток



где K – канальная емкость группового скрытого канала передачи данных;
B – объем памяти буфера мультиплексора;
$R=K+B$ – ресурс выделяемый для обслуживания;
Z – количество источников пакетов;
λ_1 – интенсивность поступления пакетов 1 приоритета;
μ_1 – интенсивность обслуживания пакетов 1 приоритета;
λ_2 – интенсивность поступления пакетов 2 приоритета;
μ_2 – интенсивность обслуживания пакетов 2 приоритета;
α – интенсивность активизации источников трафика;
β – интенсивность умолкания источников трафика;
η -интенсивность снижения пропускной способности скрытого канала;
ν – интенсивность восстановления пропускной способности скрытого канала

Рис. 2. Граф случайного марковского процесса обслуживания пакетированных данных в асинхронном мультиплексоре с переменной скоростью передачи данных

После расчёта стационарных вероятностей $p_{k,z,i,j}$ состояний графа, могут быть вычислены характеристики средних длин очереди пакетов разного приоритета в буфере:

$$\overline{q}_1 = \sum_{k=0}^{K}\sum_{z=0}^{Z}\sum_{i=K-k+1}^{K-k+B}(i-K+k)\times\sum_{j=0}^{K-k+B-i}p_{k,z,i,j};$$

$$\overline{q}_2 = \sum_{k=0}^{K}\sum_{z=0}^{Z}\sum_{i=0}^{K-k}\sum_{j=K-k-i+1}^{K-k+B-i}p_{k,z,i,j}\times(j-K+k+i); \qquad (2)$$

– вероятности переполнения буфера пакетами разного приоритета:

$$P_{\text{п}1} = \sum_{k=0}^{K}\sum_{z=0}^{Z}p_{k,z,i,j},\ i=K+B-k;$$

$$P_{\text{п}2} = \sum_{k=0}^{K}\sum_{z=0}^{Z}\sum_{i=0}^{K-k+B}p_{k,z,i,j},\ j=K-k+B-i; \qquad (3)$$

– среднего времени задержки пакетов разного приоритета в буфере:

$$\overline{\omega}_1 = \overline{q}_1/\left[\lambda_1(1-P_{\text{п}1})\right];\quad \overline{\omega}_2 = \overline{q}_2/\left[\lambda_2(1-P_{\text{п}2})\right], \qquad (4)$$

– среднего времени задержки пакетов разного приоритета:

$$T_{з1} = \overline{\omega}_1 + 1/\mu_1;\quad T_{з2} = \overline{\omega}_2 + 1/\mu_2, \qquad (5)$$

Данные характеристики потоков пакетов с высшим и низшим приоритетом определяют качество информационного обмена и являются ограничивающим фактором увеличения пар абонентов информационного обмена Z. Выигрыш от использования мультиплексирования ψ, представляющий отношение допустимого числа источников трафика Z к канальной емкости группового скрытого канала K, при различных ограничениях на $P_{\text{п}}$ и ω представлен на *рисунке 3*.

Таким образом, использование технологии асинхронного мультиплексирования позволяет в зависимости от требуемого качества обслуживания, увеличить число организуемых типовых каналов в групповом скрытом канале по сравнению с технологией кодового уплотнения скрытого канала до 2.8 раз.

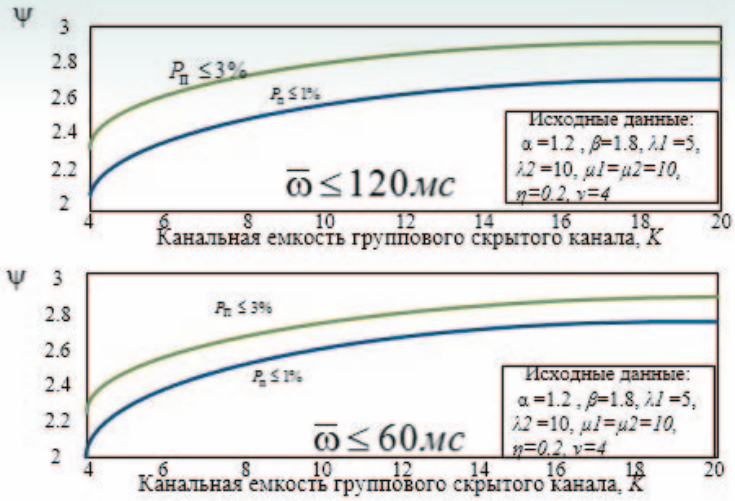


Рис. 3. Выигрыш от мультиплексирования при ограничениях на вероятность потери пакета и время задержки в буфере

Литература

1. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. М.: Солон-Пресс, 2009. 272 с.

2. Абазина Е.С., Ерунов А.А. Сравнительный анализ и классификация методов цифровой и компьютерной стеганографии и перспективные направления ее развития / Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, 2016. Вып. 655. С. 5-16.

3. Koch E., Zhao J. Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling // IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing. 1995. pp. 123-132.

4. Fridrich J. Combining low-frequency and spread spectrum watermarking // Proceedings of the SPIE Conference on Mathematics of Data/Image Coding. Compression and Encryption. 1998. Vol. 3456. pp. 2-12.

5. Небаева К.А. Разработка необнаруживаемых стегосистем для каналов с шумом: дис. … канд.тех. наук:05.12.13. СПб.: СПбГУТ, 2014. 176 с.

6. Цветков К.Ю., Федосеев В.Е., Коровин В.М., Абазина Е.С. Способ скрытой передачи информации с кодовым уплотнением / Патент №2015113684/08, Российская Федерация, МПК H04L 9/00. 2015 г.

7. Абазина Е. С., Ерунов А. А. Результаты моделирования метода скрытой передачи информации с кодовым уплотнением в видеоданных // Системы управления, связи и безопасности, 2015. №2. С. 1-25. URL. http://journals.intelgr.com/sccs/20152/html (дата обращения: 20.03.2017).

8. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: учебник / Л. Клейнрок. Пер. И.И. Грушко; ред. В.И. Нейман. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.

УДК 621.396

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ НАГРУЗКИ НА ЭТАПЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В СЕТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

THE PREDICTION ALGORITHM OF INTENSITY OF A USER LOAD IN THE COURSE OF TECHNOLOGICAL MANAGEMENT OF A COMMUNICATION SATELLITE NETWORK

Дмитрий Романович Уткин
адъюнкт кафедры сетей
и систем связи космических комплексов
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург, Ждановская наб., д. 13
Тел.: +7(981)958-05-44
E-mail: utyan@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается процесс технологического управления в сети спутниковой связи. Показана связь показателя оперативности технологического управления и качества прогноза интенсивности поступления пользовательской нагрузки, полученного с использованием алгоритма на основе механизмов дискретного вейвлет-преобразования.

Ключевые слова: сеть спутниковой связи, нестационарный трафик, вейвлет-преобразование.

Summary

In article process of technological management on the communication satellite network is considered. Communication of an indicator of efficiency technological managements and qualities of the forecast of intensity of the receipt of a user load received with use of an algorithm on the basis of mechanisms of discrete wavelet-conversion is shown.

Keywords: communication satellite network, non-stationary traffic, wavelet-conversion.

Введение

В настоящее время управление ССС с образгизацией обратного спутникового канала осуществляется на технологическом, оперативно-техническом и организационном уровнях. На уровне технологического управления (ТУ) решаются такие задачи как настройка конфигурации коммуникационного оборудования, выявление аппаратных ошибок, распределение пропускной способности каналов связи. При этом процесс ТУ реализуется автоматически без участия человека-оператора. В этой связи качество решения центральной станции (ЦС) по распределению пропускной способности обратного канала напрямую зависит от точности информации о текущем и будущем уровнях пользовательской нагрузки [2, 3].

Процесс технологического управления в ССС

В качестве показателя оперативности ТУ ССС используется коэффициент оперативности ТУ, который определяется как вероятность принятия качественного решения по распределению пропускной способности обратного канала и представляемый в следующем виде:

$$K_{\text{о}} = P(T_{\text{ту}} \le T_{\text{оц}}) = 1 - P(T_{\text{ту}} \ge T_{\text{оц}}), \quad (1)$$

где $T_{\text{ту}}$ – длительность этапа ТУ;
$T_{\text{оц}}$ – среднее время оперативной ценности информации, используемой при принятии решения, то есть оперативной ценности принятого решения применительно к сложившейся оперативной ситуации;

$P(T_{ТУ} \geq T_{ОЦ})$ – вероятность того, что продолжительность этапа ТУ превысит время оперативной ценности принятого решения (риск несвоевременности принятия решения).

В общем случае время этапа ТУ складывается из длительностей последовательно выполняемых частных операций управления, то есть

$$\left[T_{\text{ту}} = \left(t_{\text{сб}} + t_{\text{об}} + t_{\text{пр}} + t_{з} + t_{\text{рпп}} \right) \right] \leq T_{\text{оц}}, \qquad (2)$$

где $t_{\text{сб}}$ – интервал времени, необходимого для сбора информации о поступившем трафике;
$t_{\text{об}}$ – интервал времени, необходимого для обработки информации о поступившем трафике;
$t_{\text{пр}}$ – интервал времени, необходимого для анализа и построения прогноза;
$t_{з}$ – интервал времени, необходимого для формирования запроса резервирования ресурса пропускной способности обратного канала;
$t_{\text{рпп}}$ – интервал времени, необходимого для поиска и принятия решений по распределению пропускной способности обратного канала.

При этом оперативность ТУ ССС в значительной степени определяется длительностью решения четырех задач, а именно обработки информации о трафике, построения прогноза, формирования запроса резервирования ресурса обратного канала, распределения пропускной способности обратного канала и определяется соотношением:

$$T^{*}_{\text{ту}} = T_{\text{ту}} + \sum_{i=1}^{4} \varepsilon_i \xi(\gamma_i) t_i \,, \; \varepsilon_i < 1, \; \sum_{i=1}^{4} \varepsilon_i = 1, \qquad (3)$$

где $t_1 = t_{\text{об}}$;
$t_1 = t_{\text{пр}}$;
$t_1 = t_{з}$;
$t_1 = t_{\text{рпп}}$;
$\xi(\gamma_i) = (\ln P_{\gamma_i} / \ln \gamma_i) - 1, i = \overline{1,4}$ – относительное время задержки при решении i-ой задачи ТУ при существующих задержках на уровне γ_i;
ε_i – весовой коэффициент, определяющий влияние i-ой задачи ТУ на продолжительность процесса управления;
$P\gamma_i$ – величина, определяющая допустимое качество решения частной задачи управления.

Увеличение продолжительности процесса управления из-за задержки информации должно увеличить риск несвоевременного принятия решения [1]. Тогда с учетом (3) показатель оперативности ТУ вычисляется по формуле:

$$K_{\text{о}} \cong \exp\left(-\left[\sum_{i=1}^{4} \varepsilon_i \xi(\gamma_i) b_i \right] \right), \qquad (4)$$

В качестве характеристики потерь при решении задачи прогнозирования целесообразно использовать среднюю ошибку аппроксимации, которая выражается в процентах относительно фактических значений признака, и определяется по формуле вида:

$$\gamma^{*} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{|\lambda(t_i) - \hat{\lambda}(t_i)|}{\lambda(t_i)} \cdot 100\%, \qquad (5)$$

где $\lambda(t_i)$ – фактическое значение интенсивности трафика в момент времени t_i;
$\lambda_{\text{пр}}(t_i)$ – прогнозное значение интенсивности трафика в момент времени t_i. Данный показатель является относительным показателем точности прогноза выражается в процентах и на практике используется для сравнения точности прогнозов, полученных как по различным моделям, так и по различным объектам. Интерпретация оценки точности прогноза на основе данного показателя представлена в *таблице 1*.

Таблица 1

Интерпретация оценки точности прогноза на основе показателя средней ошибки аппроксимации

γ^{*}, %	**Интерпретация точности**
<10	Высокая
10 - 20	Хорошая
20 - 50	Удовлетворительная
>50	Неудовлетворительная

Алгоритм прогнозирования интенсивности пользовательской нагрузки

Алгоритм прогнозирования интенсивности пользовательской нагрузки представлен на *рисунке 1*. Особенностью алгоритма является прогнозирование значений коэффициентов дискретного вейвлет-преобразования (ДВП), а не значений исходной выборки трафика.

При этом чаще всего приходится прогнозировать усредненное значение интенсивности входного потока [4]. Изменения значения ошибки аппроксимации (3) при использовании предлагаемого алгоритма по сравнению с известным алгоритмом на основе метода скользящей средней (СС) при прогнозировании коэффициентов вейвлет-разложения, при различных характеристиках поступающей нагрузки (*таблица 2*), используя различные значения размера скользящего окна (РСО) представлены на *рисунке 2*.

Из представленных результатов следует, что полученные значения ошибки аппроксимации в случае решения задачи прогнозирования с использованием разработанного алгоритма на-

1 Определение предела масштабирования

Шаг 1. Определяется диапазон $j[1, j_{ND}]$, в котором $Q(j_1) = 1 - F_{J-2}(V_{J-1}))$ является неуменьшающейся функцией.

$$V(j_1) = \sum_{j=j_1}^{j_2} \frac{[y_j - (\hat{a}j + \hat{c})]^2}{\sigma_j^2}$$. Если $j_{ND} = 1$, тогда устанавливаем $j_1^* = 1$, иначе

Шаг 2. Вычисляется коэффициент наклона $r_j = Q(j) / Q(j-1)$ для каждого $j \in [2, j_{ND}]$.

Шаг 3. Выбирается некоторый коэффициент f_{ac} названный «коэффициентом стремительного роста», и находится наибольшее j такое, что $r_j > f_{ac}$. Если такого j не существует, тогда устанавливается $j_1^* = 1$.

Если такое j существует, тогда j_1^* приравнивается ему.

В итоге устанавливается $j_1^* = j_1^* + 1$.

2 Прямое дискретное вейвлет-преобразование

$$d_{j-1,k} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(s_{j,2k} - s_{j,2k+1}\right)$$

$$s_{j-1,k} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(s_{j,2k} + s_{j,2k+1}\right)$$

$$j = j^*,\ldots,J$$

3 Настройка прогнозной модели

Оценивание коэффициентов временного ряда на интервале времени [0, $T_{ан}$/2] для заданного размера окна Δt

Прогноз параметров коэффициентов временного ряда на интервал времени [$T_{ан}$/2, $T_{ан}$] для заданного размера окна Δt

Оценка точности прогноза параметров коэффициентов временного ряда на интервал времени [$T_{ан}$/2, $T_{ан}$] для заданного размера окна Δt

Определение оптимального размера временного окна, обеспечивающего наилучшую точность прогноза на интервале времени [$T_{ан}$/2, $T_{ан}$]

4 Пошаговое смещение окна выборки, прогнозирование коэффициентов ДВП на один шаг вперед

$$\hat{d}_{J,k}^{\lambda}(t_i) = \sum_{r=0}^{R} \hat{v}_{J,k,r}^{\lambda}(T_{ан}) \cdot t_i^r$$

$$\hat{s}_{0,k}^{\lambda}(t_i) = \sum_{r=0}^{R} \hat{u}_{0,k,r}^{\lambda}(T_{ан}) \cdot t_i^r$$

$$\lambda_{пр}(t_i) = \tilde{s}_{0,0}^{\lambda}(t_i)\varphi_{0,0}(t_i) + \sum_j \sum_k \tilde{d}_{j,k}^{\lambda}(t_i)\psi_{j,k}(t_i)$$

$$t_i \in (T_{ан},\ T_{пр}]$$

Рис. 1. Алгоритм прогнозирования интенсивности пользовательской нагрузки, поступающей на ЗС ССС

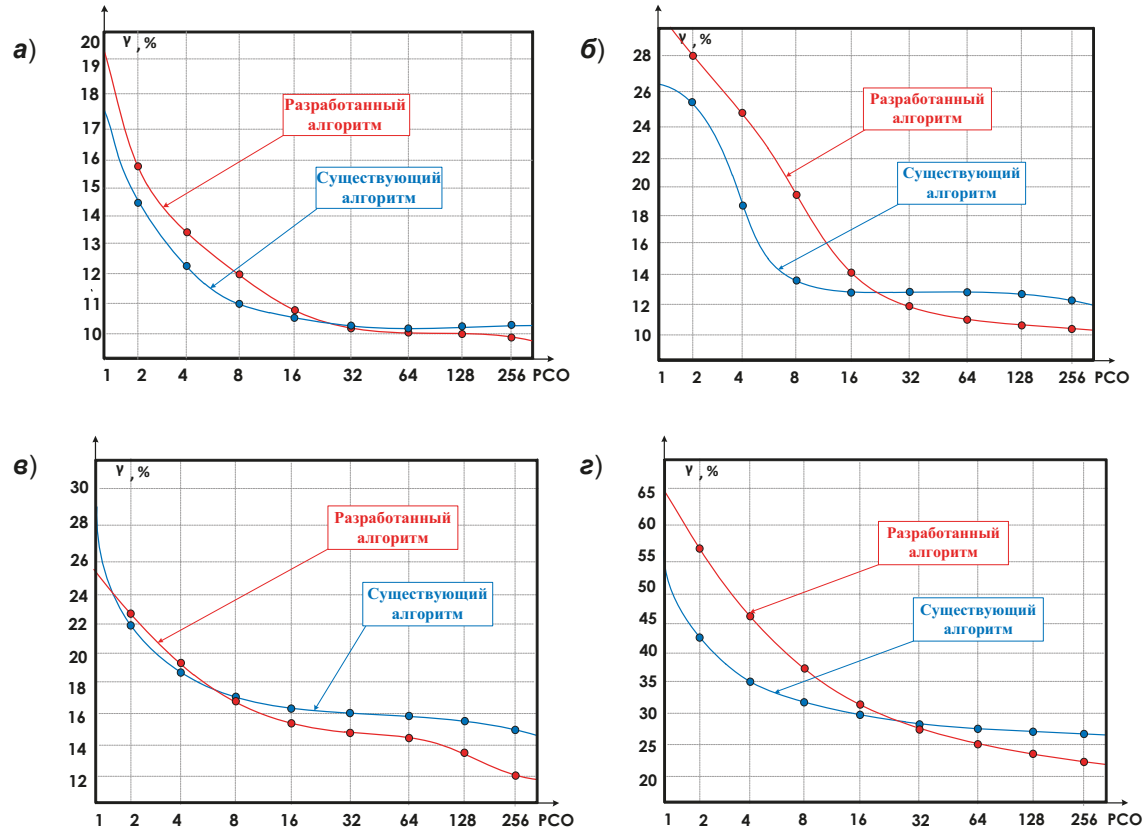


Рис. 2. Средняя ошибка аппроксимации при обратном ДВП, при прогнозировании коэффициентов вейвлет-разложения различными РСО для различных интенивностей входящей (см. таблицу 2) нагрузки

Таблица 2

Характеристики поступающей нагрузки

Выборка трафика	МОЖ, $M[\lambda(t_i)]$ (пак.)	Дисперсия, $D[\lambda(t_i)]$ (пак.)	Стандартное отклонение, S (пак.)	Коэффициент вариации, V	Коэффициент самоподобия, H
а)	20,078	402,638	20,065	0,999	0,58354
б)	12,015	201,599	14,199	1,182	0,86763
в)	8,262	118,014	10,863	1,315	0,87582
г)	6,777	64,082	8,005	1,181	0,87366

ходятся в требуемом интервале (до 10%) при прогнозировании коэффициентов первого, второго, третьего уровней вейвлет-разложения скользящими окнами 256 и 128. В зависимости от динамики поступающего трафика, изменения нагрузки, выигрыш в эффективности использования разработанного алгоритма по сравнению с известными установлен в диапазоне 5–20%.

Заключение

В статье рассмотрен процесс ТУ ССС. Требуемый уровень оперативности ТУ обеспечивается за счет построения качественного прогноза интенсивности пользовательской нагрузки поступающей на ЗС, с использованием механизмов на основе ДВП. Использование предложенного алгоритма, позволяет обеспечить требуемый уровень оперативности ТУ ССС в условиях повышенной пользовательской нагрузки.

Литература

1. Владимиров В.И. Информационные основы радиоподавления линий радиосвязи в динамике радиоэлектронного конфликта: монография. Воронеж: ВИРЭ, 2003. С. 97-104.

2. Новиков Е.А. Оперативное распределение радиоресурса спутникаретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Информационноуправляющие системы, 2014. № 2 (69). С.7986.

3. Новиков Е.А. Оценка пропускной способности спутника-ретранслятора при резервировании радиоресурса с упреждением // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2014. № 3 (15). С. 62-69.

4. Шелухин О.И. Смолинский С.М., Осин А.В. Самоподобие и фракталы / под ред. Шелухина. М.: Радио и связь, 2000. 368 с.

УДК 338.268

МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЦЕЛЕВЫЕ ИНДИКАТОРЫ ПРОЕКТОВ ЦЕЛЕВЫХ ПРОГРАММ

A METHODOLOGY FOR IDENTIFYING FACTORS INFLUENCING TARGET INDICATORS OF PROJECTS OF TARGETED PROGRAMS

Юрий Николаевич Артамонов
кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 115998, г. Москва,
ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7(499)706-81-25

Николай Михайлович Емелин
заслуженный деятель науки и техники РСФСР
доктор технических наук, профессор
заместитель директора по научной работе
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 115998, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7(499)706-81-24

Аннотация
В статье рассматривается методика выделения факторов, влияющих на целевые индикаторы проектов целевых программ. Приводятся результаты апробации этой методики на примере проектовфедеральной целевой программы «Исследования иразработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».
Ключевые слова: факторы, временные ряды, проекты, целевые программы.

Summary
The article deals with methodology for identifying factors influencing target indicators of projects of targeted programs. The results of approbation of this methodology are given on the example of the projects of the federal targeted program «Research and development in priority areas of development of the scientific and technological complex of Russia for 2014-2020 years».
Keywords: factors, time series, projects, targeted programs.

Для управления реализацией проектов целевых программ необходимо проводить анализ факторов, влияющих на достижение программных значений их целевых индикаторов.

Выделение факторов, оказывающих влияние на целевые индикаторы проектов (определяют целевое качество проектов), предлагается осуществлять с помощью методики, включающей следующие основные шаги:

- разложение временных рядов целевых индикаторов на составляющие;
- анализ трендовых, сезонных и случайных составляющих целевых индикаторов;
- проверка временных рядов на стационарность;
- прогнозирование уровней стационарного временного ряда;
- анализ регрессионных связей целевых индикаторов и влияющих факторов;
- построение моделей влияния для целевых индикаторов.

Данная методика может быть автоматизирована с использованием существующих средств статистического анализа [1, 3, 5, 7]. В частности, может быть использована среда статистических вычислений R [3].

Порядок применения предлагаемой методики покажем на примере реализации проектов в рамках мероприятия 2.3 «Организация участия в крупных международных научных и научно-технических мероприятиях» федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 –2020 годы».

С использованием временных рядов [1-7] на основе данных о реализации проектов и достигнутых по кварталам значениях целевых инди-

каторов с 2014 по 2016 года (таблица 1) [11] осуществляется выделение трендовых, сезонных и случайных составляющих.

Таблица 1
Фактические ежеквартальные значения целевых индикаторов

Индикатор	И2.3.1	И2.3.2	И2.3.3
I.2014(факт)	6	3591	149
II.2014(факт)	1	101	29
III.2014(факт)	5	1320	73
IV.2014(факт)	18	3006	124
I.2015(факт)	0	0	0
II.2015(факт)	0	0	0
III.2015(факт)	0	48	3
IV.2015(факт)	14	2376	140
I.2016(факт)	0	0	0
II.2016(факт)	0	0	0
III.2016(факт)	1	48	10
IV.2016(факт)	8	1451	113

На *рисунке 1* представлено разложение временного ряда для целевого индикатора И2.3.1 «Количество конференций, симпозиумов, выставок» на трендовую, сезонную и случайную составляющие. Аналогично на *рисунках 2* и *3* представлены соответствующие разложения для целевых индикаторов И2.3.2 «Суммарное количество участников» и И2.3.3 «Количество публикаций в средствах массовой информации и периодических научных изданиях».

Из *рисунков 1–3* видно, что если исходить из аддитивной модели составляющих целевого индикатора, то все три целевых индикатора имеют трендовую тенденцию к снижению. При этом существует ярко выраженная сезонная составляющая: первые три квартала она имеет отрицательные значения на фоне тренда и случайных колебаний, последний четвертый квартал, как правило, сезонная составляющая имеет положительные значения. Данный факт можно объяснить тем, что под конец года осуществляется подведение итогов по достижению плановых значений целевых индикаторов. Указанную тенденцию сезонной составляющей следует отнести к негативным дестабилизирующим факторам, поскольку это может привести к возрастанию неопределенности достижения плановых значений целевых индикаторов до последнего квартала.

В то же время, с одной стороны, это указывает на неравномерность распределения результатов в ходе реализации проекта, а, с другой стороны, может быть следствием выполнения в рамках мероприятия 2.3 одноэтапных контрактов, которые позволяют получить плановый результат именно под конец года, уделяя остальное время на подготовительные мероприятия.

Из *рисунка 1* видно, что поведение целевого индикатора достаточно стабильно: при плановых значениях в 13,14,15 единиц случайные колебания совершаются в диапазоне от –0.5 до 1 единицы (6–7% от планового значения). Целесообразно считать данный фактор оказывающим положительное влияние.

Дополнительная проверка временного ряда для целевого индикатора И2.3.1 на стационарность на основе теста Дики-Фуллера [4, 7] показывает, что гипотезу о нестационарности ряда для И2.3.1 следует отвергнуть с вероятностью ошибки первого рода p=0.01. Это указывает на то, что среднее значение данного целевого индикатора на временном отрезке реализации Программы является постоянным.

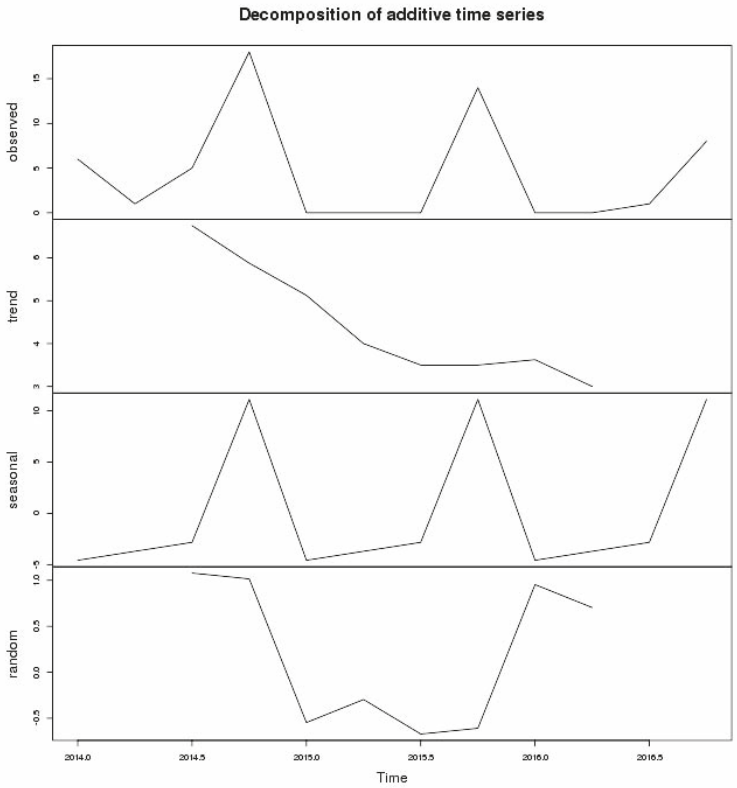


Рис. 1. Разложение на составляющие целевого индикатора И2.3.1

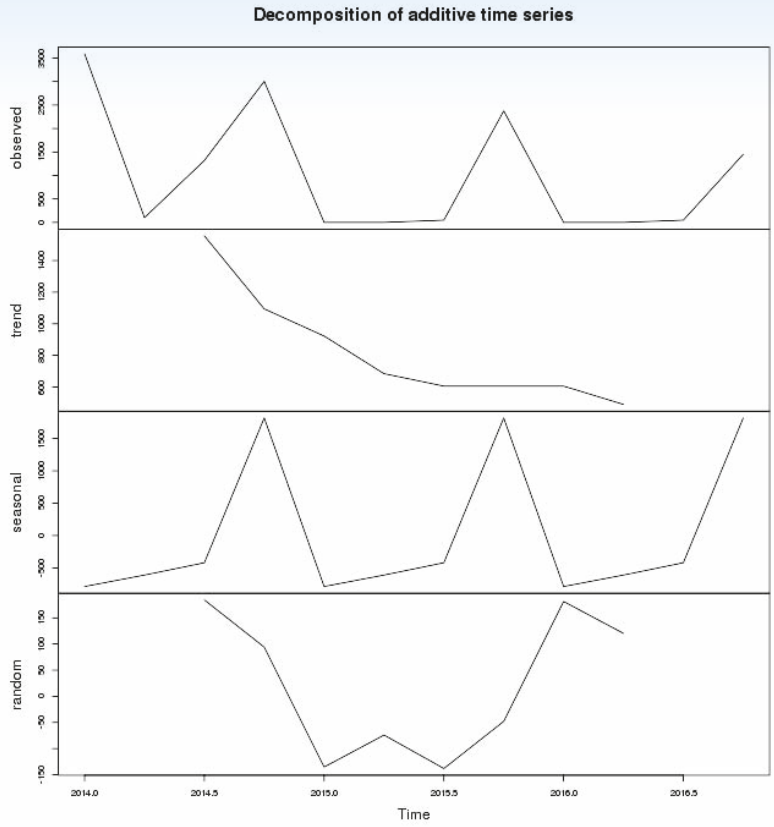


Рис. 2. Разложение на составляющие целевого индикатора И2.3.2

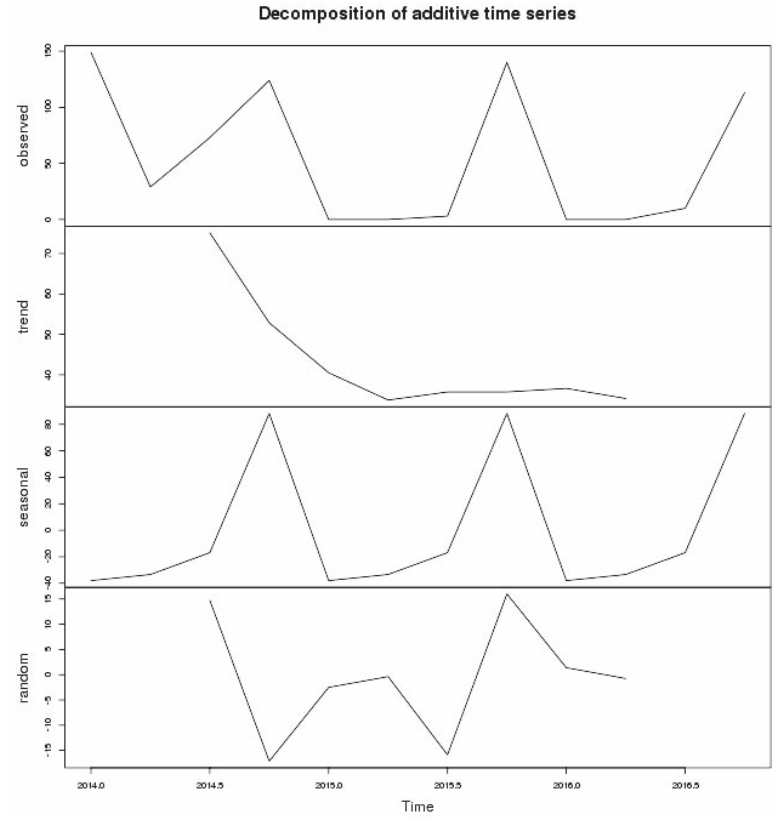


Рис. 3. Разложение на составляющие целевого индикатора И2.3.3

Все вышеприведенное позволяет использовать традиционные способы прогнозирования уровней стационарного временного ряда. На *рисунке 4* представлено прогнозное значение целевого индикатора на конец 2017 года на основе метода экспоненциального сглаживания (в среде R использовался метод HoltWinters [3, 7]) с доверительными интервалами на уровне значимости 0.95. Используя *рисунок 4*, можно уточнить прогнозное значение целевого индикатора И2.3.1, указав диапазон от 5 до 15 единиц на конец 2017 года, который будет покрыт с вероятностью 0.95.

Из *рисунков 2* и *3* следует, что случайные колебания целевых индикаторов И2.3.2, И2.3.3 осуществляются на уровне от –150 до 150 единиц при плановом значении более 2000 единиц (менее 15% от планового значения); на уровне от –15 до 15 единиц при плановом значении более 100 единиц (менее 15% от планового значения) соответственно. В то же время проверка временных рядов на стационарность на основе теста Дики-Фуллера показал, что для целевого индикатора И2.3.2 при p=0.35 гипотеза о нестационарности ряда не отвергается. Аналогично для целевого индикатора И2.3.3 при p=0.34 также не отвергается гипотеза о нестационарности временного ряда. Это свидетельствует о наличии тенденции изменения среднего значения этих целевых индикаторов во времени, что затрудняет использование более точных по сравнению с линейной моделью (на временном отрезке в год) методов прогнозирования данных целевых индикаторов и требует более широкого спектра статистических наблюдений для суждения о складывающейся долговременной тенденции изменения этих целевых индикаторов.

Для анализа регрессионных связей [2, 4, 5, 7, 8, 10] в рамках мероприятия 2.3 была использована выборка контрактов за 2015, 2016 годы [11]. Соответствующие данные представлены в *таблице 2*.

При использовании ряда методов статистического анализа важное значение имеет нормальность компонент исходных данных. Поэтому перед проведением основных расчетов была выполнена проверка соответствующих показателей по финансированию, а также целевых индикаторов И2.3.1, И2.3.2, И2.3.3 на нормальность с использованием теста Шапира-Уилка [4, 7, 9]. Полученные результаты свидетельствуют, что нормальным следует признать только показатель по финансированию. Все целевые индикаторы существенно отклоняются от нормального распределения. Поэтому для выявления корреляционных связей использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена. На *рисунке 5* показана коррелограмма искомых показателей на основе коэффициента корреляции Спирмена.

Из *рисунка 5*, а также проведя дополнительные исследования на проверку значимости коэффициентов ранговой корреляции, можно сделать следующие выводы:

- между уровнем финансирования и целевым индикатором И2.3.3 «Количество публикаций в средствах массовой информации и периодических научных изданиях» при значении p=0.02096 подтверждается средняя прямая статистическая связь;
- между целевыми индикаторами И2.3.2 «Суммарное количество участников» и И2.3.3 при значении p=0.02768 также подтверждается средняя прямая статистическая связь. Таким образом, увеличение количества участников проводимых конференций, симпозиумов сопровождается в среднем увеличением количества публикаций, что является достаточно логичным выводом.

Как было показано, больший уровень финансирования проектов в рамках мероприятия 2.3 способствует увеличению количества публикаций в средствах массовой информации. Используя эту статистическую связь, можно предложить адекватную модель регрессионной

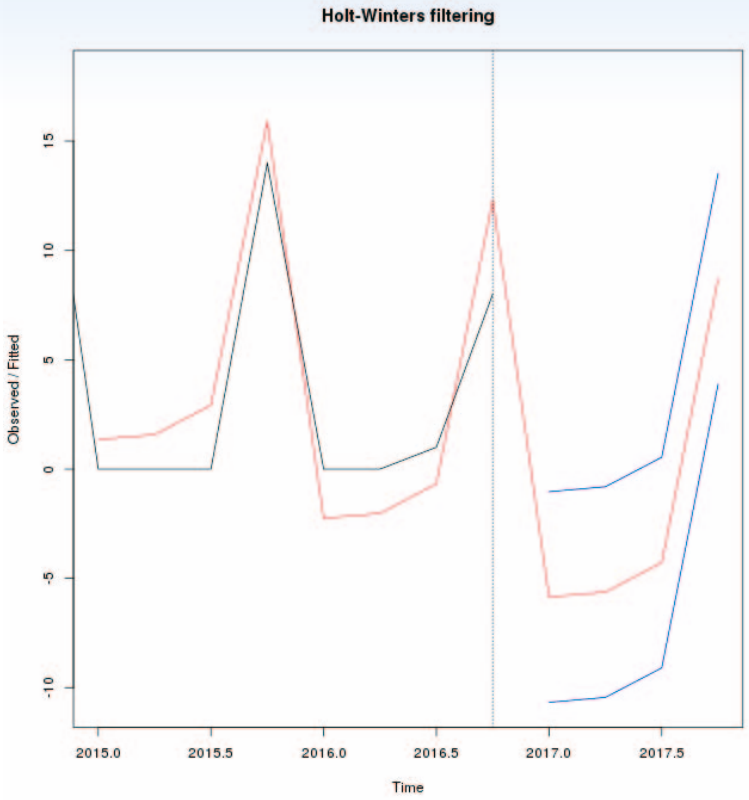


Рис. 4. Прогнозное значение целевого индикатора И2.3.1 на конец 2017 года на основе выявленного фактора стационарности временного ряда

Таблица 2

Данные о реализации проектов 2015, 2016 гг. в рамках мероприятия 2.3

Проект	Финансирование	И 2.3.1	И2.3.2	И2.3.3
1	3	1	48	10
2	12,5	5	276	74
3	3,75	1	0	15
4	8	1	1175	19
5	6,115	1	0	5
6	3,5	1	0	4
7	4,25	1	0	9
8	3,5	1	306	24
9	8	1	1146	13
10	8,39	4	468	28
11	1,625	2	69	8
12	1,925	1	29	10
13	7,12	1	0	10
14	11,952	1	0	16

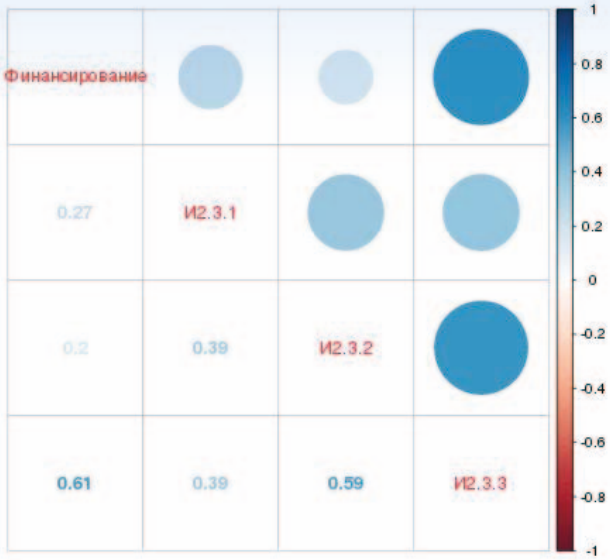


Рис. 5. Коррелограмма показателей мероприятия 2.3 на основе коэффициента ранговой корреляции Спирмена

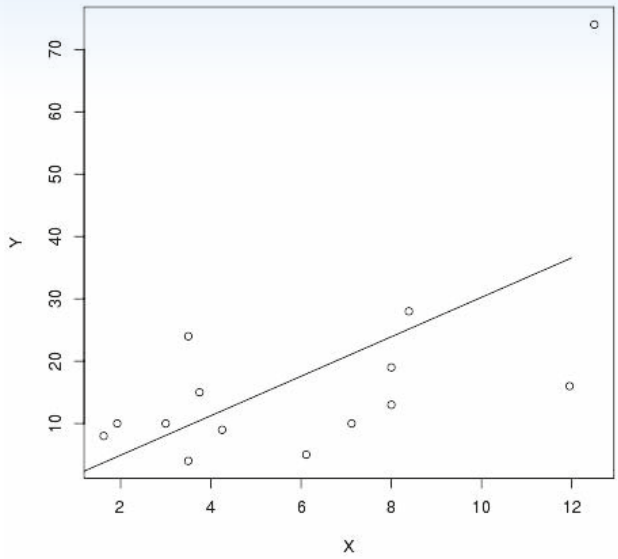


Рис. 6. Модель регрессионной зависимости между уровнем финансирования и значением целевого индикатора И2.3.3

зависимости между результативным признаком И2.3.3 (Y) и факторным признаком – финансированием (X):

$$Y(X) = -1.409 + 3/166 \cdot X.$$

На *рисунке 6* представлена выявленная статистическая зависимость между уровнем финансирования проекта и достигаемым по проекту значением целевого индикатора И2.3.3.

Следует также сделать вывод, что значение целевого индикатора И2.3.1 «Количество конференций, симпозиумов, выставок» не связано с уровнем финансирования проекта и, видимо, является следствием содержательной компоненты проекта. В то же время больший уровень финансирования способствует проведению более масштабных мероприятий, следствием чего является большее количество участников и публикаций. Следовательно, при ограниченном финансовом ресурсе в рамках мероприятия 2.3 целесообразно проводить небольшое количество крупных международных конференций, симпозиумов, выставок с контролем самого количества таких мероприятий (значение целевого индикатора И2.3.1) в соответствии с плановыми значениями по Программе. В целом, предлагаемая методика позволяет осуществлять выделение факторов, оказывающих влияние на целевые индикаторы проектов, тем самым обеспечивая оперативное управление реализацией проектов целевых программ.

Литература

1. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М.: «Статистика», 1977. 200 с.

2. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 432 с.

3. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. Тольятти: «Кассандра», 2013. 289 с.

4. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.

5. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы. М.: Финансы и статистика, 2003. 352 с.

6. Носко В.П. Эконометрика. Введение в анализ временных рядов. М.: НФПК, 2002. 271 с.

7. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Статистический анализ данных на компьютере. М.: ИНФРА-М, 1998. 528 с.

8. Артамонов Ю.Н., Емелин Н.М., Малахов А.А. Исследование межотраслевого распространения результатов работ, выполняемых в сфере наноиндустрии, и связи тематических направлений деятельности национальной нанотехнологической сети с отраслевыми производственными технологиями. Российские нанотехнологии. 2016. Т. 11. №1-2. С. 4-11.

9. Артамонов Ю.Н. Управление индикативными параметрами целевых программ на основе механизмов бутстреп-анализа // Известия Института инженерной физики, 2015. №1(35). С. 71-75.

10. Артамонов Ю.Н. Исследование параметрических моделей управления образовательной деятельностью. В сборнике: виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн. Материалы III Международной научно-практической конференции: Электронный ресурс. Общая редакция: В.А. Немтинов. 2016. С. 297-304.

11. Официальный сайт федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»: http://fcpir.ru/monitoring_and_analytics/monitoring_program.php

УДК 519.6:004.93

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ НА СЕРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО КООРДИНАТАМ ДВИЖЕНИЯ ТОЧЕК

DETERMINATION OF THE NUMBER OF OBJECTS ON A SERIES OF IMAGES ACCORDING TO THE COORDINATES OF THE MOVEMENT OF POINTS

Ирина Олеговна Глотова
студентка магистратуры
Московский авиационный институт
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Николай Сергеевич Кукин
кандидат технических наук
начальник лаборатории
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: n.s.kukin@mail.ru

Аннотация

Предлагается решение задачи определения количества объектов по серии изображений при условии, что априорная информация о каких-либо внешних характеристиках тел отсутствует. Проверка эффективности была проверена с помощью экспериментальных данных.

Ключевые слова: серия изображений, координаты движения точек, сингулярное разложение, связи между точками.

Summary

Presents solution to the problem of detection objects by series of image without any priori information about external characteristics. Testing the effectiveness was tested using experimental data.

Keywords: series of image, moving points on a coordinate grid, singular decomposition, connection between points.

Введение

Выделение объектов является одной из самых распространенных задач обработки изображения. Она является актуальной в различных областях науки и техники. В частности, это связано с тем, что умение вычислительной машины находить различные объекты значительно уменьшает временные затраты на выполнение задач распознавания и сравнения.

Для распознавания объектов на изображении применяют различные внешние признаки, такие как цвет, форма или шаблон [1, 2, 7]. Однако, при таком подходе появляется необходимость в хранении заданных характеристик искомого фрагмента в памяти компьютера, что зачастую является невозможным при решении разного рода задач [5]. Также для распознавания объектов можно использовать не одно изображение, а серию. Тогда появляется возможность получения данных о перемещениях меньше одного пикселя [4].

Данная работа посвящена определению количества объектов на серии изображений по координатам движения точек.

Постановка задачи

В данной статье рассматривается задача определения принадлежности точек к различным объектам на серии изображений при условии, что какая-либо априорная информация о самих объектах отсутствует.

В этой связи был разработан алгоритм, основными этапами которого является вычисление расстояния и дисперсии между каждой парой точек, а также построение матрицы связей. Для проверки работоспособности разработанно-

го алгоритма был собран вибрационный стенд, который имитирует перемещение различных объектов на плоскости. В качестве самих объектов выступали предметы с произвольно нанесенными цветными метками. Это необходимо для того, чтобы специальное программное обеспечение могло зафиксировать с помощью камеры покоординатное перемещение каждой точки, которые в совокупности представляют собой изображение.

В ходе исследования были рассмотрены две картины:

Вариант 1. На трех подвижных объектах было отмечено по две точки (всего шесть подвижных точек);

Вариант 2. на статичном фоне было отмечено четыре точки, а на подвижном объекте - две точки.

Алгоритм определения связи между точками

В качестве входных данных для алгоритма выступали координаты точек $\{x_i(k), y_i(k)\}_{k=1:N;\ i=1:T}$, зафиксированные в дискретные моменты времени.

После получения исходных данных определяются расстояния между каждой парой точек

$$r_{ij}(k) = \sqrt{\left(x_i(k) - x_j(k)\right)^2 + \left(y_i(k) - y_j(k)\right)^2}, \quad (1)$$

где T – количество точек;
N – количество временных интервалов измерения координат.

Затем необходимо вычесть постоянную составляющую расстояний (1):

$$r_{ij}^*(k) = r_{ij}(k) - \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} r_{ij}(k). \quad (2)$$

Следующим этапом алгоритма является вычисление дисперсии расстояний (2) между i-той и j-той точками по формуле:

$$d_{ij} = \begin{cases} 0, & i = j \\ \sum_{k=1}^{N} r_{ij}^*(k)^2 \cdot (N-1), & i \neq j \end{cases} \quad (3)$$

Для того, чтобы объединить точки в некоторые объекты, необходимо установить некоторое пороговое значение δ для (3), так как точки имеют разную силу связи между собой [3]. Тогда можно получить матрицу $D^*=\{d_{ij}^*\}_{i,j=1:T}$, элементы которой вычисляются по формуле:

$$d_{ij}^* = \begin{cases} 1, & d_{ij} > \delta \\ 0, & d_{ij} < \delta \end{cases}. \quad (4)$$

Для правильного выбора порогового значения δ предлагается воспользоваться следующими рекомендациями. Для того, чтобы ограничить рассматриваемый диапазон δ, необходимо определить максимальный и минимальный порядки значений из (3). После этого можно определить сингулярные числа [6] матрицы D^* при различных пороговых значениях из выбранного интервала. Тогда, при правильно выбранном δ, они будут принимать целые значения, а их сумма будет равна количеству объектов на рассматриваемой серии изображений.

Однако стоит учесть, что не при любых экспериментальных данных можно получить целые значения сингулярных чисел. В этом случае для выявления количества объектов на изображении следует вычислить сумму сингулярных чисел, которые больше или равны 1. При этом необходимо задавать различные пороговые значения из рассматриваемого диапазона. После этого можно построить график зависимости δ от вычисленной суммы.

Таким образом, алгоритм выявления количества объектов на изображении заключается в следующем:

1) получение экспериментальных данных в виде двумерных массивов перемещений для каждой точки;
2) вычисление векторов расстояний между точками;
3) вычисление матрицы связей между точками D;
4) задание порогового значения δ;
5) формирование матрицы D^*;
6) вычисление сингулярных чисел матрицы D^*;
7) корректировка порогового значения δ, при необходимости;
8) вычисление ранга матрицы D^* и определение количества групп взаимосвязанных точек.

Результаты моделирования

Сначала был промоделирован случай, когда все шесть точек были подвижны и принадлежали трем разным объектам. В результате выполнения алгоритма был получен график, представленный на *рисунке 1*.

Как видно из *рисунка 1*, значение, в котором график носит постоянный характер, равно трем, что соответствует количеству объектов.

При отработке условия вычисления суммы целых сингулярных чисел, также было получено значение, равное трем.

Также был промоделирован случай, когда четыре точки оставались неподвижными, а две на-

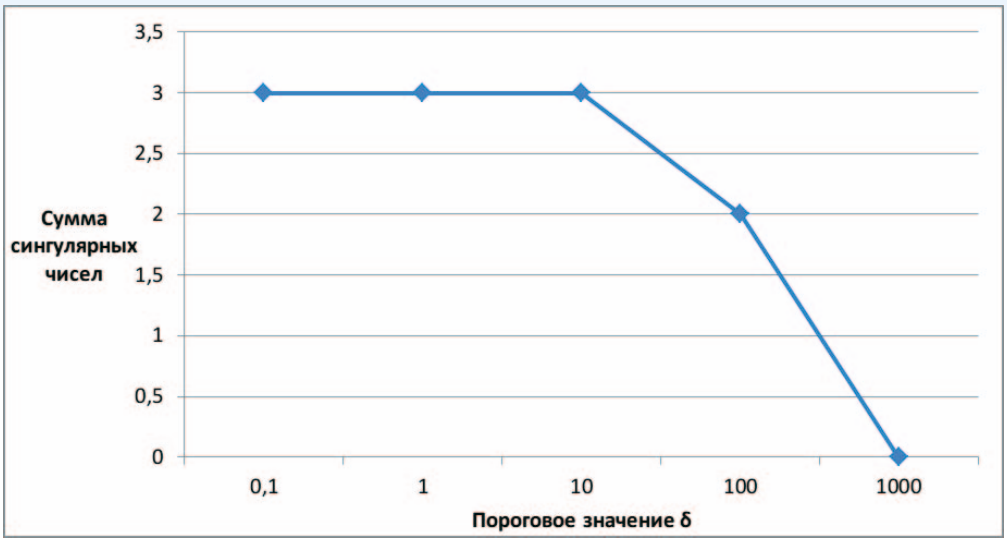


Рис. 1. График зависимости порогового значения δ от суммы сингулярных чисел матрицы *D** в случае, когда рассматриваемые точки принадлежат трем разным объектам

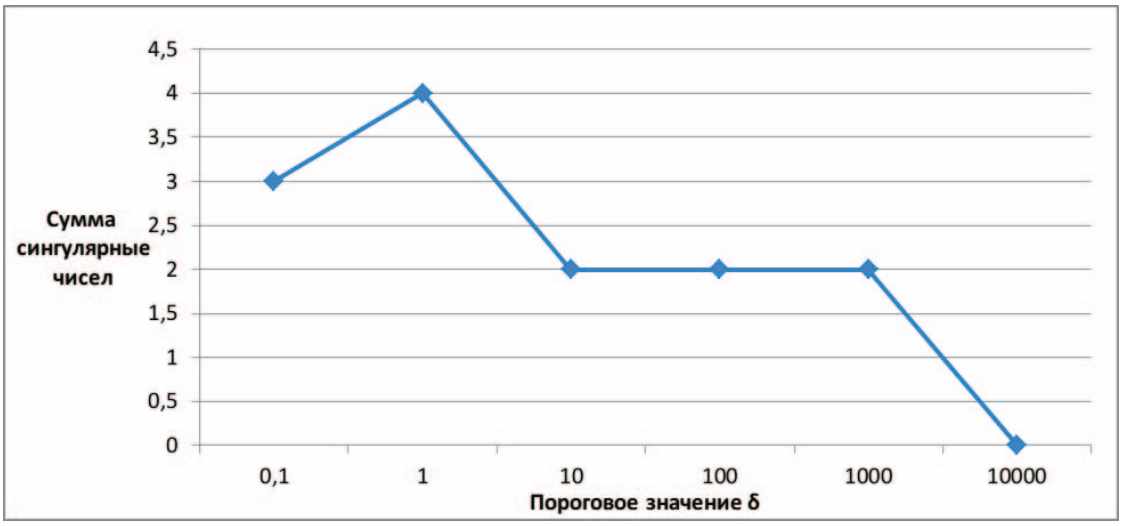


Рис. 2. График зависимости порогового значения δ от суммы сингулярных чисел матрицы *D** в случае, когда четыре точки оставались неподвижными, а две находились в движении

ходились на подвижном объекте. Результат выполнения алгоритма представлен на *рисунке 2*.

Значение, в котором график носит постоянных характер, в этом случае равно двум.

При вычислении суммы целых сингулярных чисел было также получено значение, равное двум.

Таким образом, с помощью алгоритма, представленного в настоящей статье, удалось определить группы точек, принадлежащих трем разными объектам в первом случае, и две группы точек, одна из которых представляет подвижный объект, а вторая – фон, во втором случае.

Заключение

В данной статье предложен алгоритм определения связей между точками по серии изображений. Смоделировано два варианта: точки принадлежат разным подвижным телам и часть точек являются фоном, а часть принадлежит одному телу, которое находится в движении.

Преимуществом разработанного алгоритма является возможность выявления отдельных объектов без хранения разного рода априорной информации. Также предложенный подход позволяет находить тела ранее неизвестной формы.

В дальнейшем предполагается доработка алгоритма для возможности количественного определения силы и характера связей между точками на изображении. Это позволит оценивать слабые места тел, а также выявлять дефекты.

Литература

1. Глумов Н.И., Мясников Е.В., Копенков В.Н., Чичева М.А. Метод быстрой корреляции с использованием тернарных шаблонов при распознавании объектов на изображениях // Компьютерная оптика, 2008. Том 32. №3. С. 277-282.

2. Завьялов Р. А., Сенюшкин Н.С. Автоматическое распознавание образов бортовыми оптическими системами многоцелевых комплексов мониторинга // Вестник УГАТУ , 2012. Том 16. № 6(51). С. 12-16.

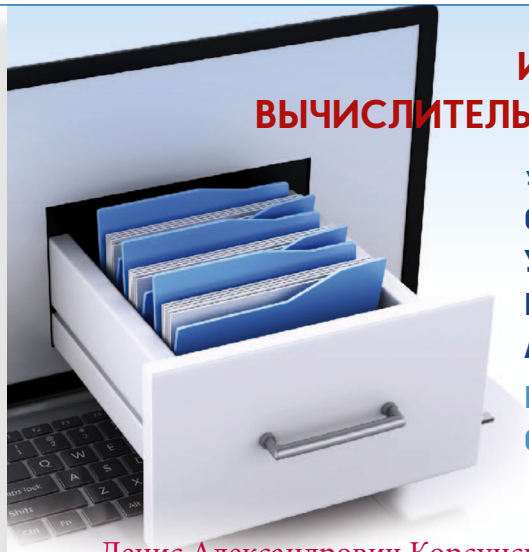
3. Кукин Н.С., Глотова И.О. Построение математической модели определения механических связей между точками объекта, представленном на изображении // Известия Института инженерной физики, 2017. №1(43). С. 77-79.

4. Мурадова А.Р., Кукин Н.С. Детектирование перемещения объекта на расстояние меньше одного пикселя по серии его изображений // Известия Института инженерной физики, 2016. №4(42). С. 36-39.

5. 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.

6. Стренг Г. Линейная алгебра и ее применение, М.: Мир, 1980. 454 с.

7. Шемагина О. В. Методы распознавания образов в задаче анализа изображений и видео по содержанию: Автореф. дис. канд. техн. наук. Нижний Новгород. 2016. 28 с.



ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.725

ОБНАРУЖЕНИЕ ОШИБОК В ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С МИНИМАЛЬНЫМИ АППАРАТУРНЫМИ ЗАТРАТАМИ

DETECTION OF ERRORS IN MEMORY DEVICES OF INFORMATION–MEASURING SYSTEMS

Денис Александрович Корсунский
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д.1а
Тел.:+7(4967)35-31-93
E-mail: info@iifrf.ru

Вячеслав Анатольевич Рыженков
кандидат технических наук
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: info@iifrf.ru

Аннотация

Предложена регулярная процедура построения алгебраического линейного кода для обнаружения ошибок в запоминающих устройствах информационно-измерительных систем, которая обеспечивает высокое значение вероятности обнаружения одиночных и двойных ошибок (Робн1=1, Робн2>0,9) при сокращении информационной и аппаратурной избыточности. Получены математические выражения для оценки параметров разработанного кода.

Ключевые слова: корректирующий алгебраический линейный код, одиночные и двойные ошибки, информационные разряды, контрольные разряды, синдром ошибки.

Summary

A regular procedure for constructing algebraic linear code to detect errors in memory devices information and measurement systems that provides high value of probability of detection of single and double faults (Robn1 = 1, Robn2> 0.9), while reducing redundancy of information and instrumental. The mathematical expression for the estimation of the parameters of the developed code.

Keywords: algebraic linear correction code, single and double errors, data bits, check digits, the error syndrome.

Постановка задачи

Информационно-измерительная система (ИИС) является совокупностью функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств, для получения измерительной информации [2, 6, 7].

ИИС, в отличие от отдельных измерительных приборов с ограниченными функциональными возможностями, имеют в своём составе ЭВМ, которая осуществляет централизованное автоматизированное (автоматическое) управление объектом исследования, процессом измерения и обработкой информации [1].

Так как эффективность ИИС в значительной степени характеризуется достоверностью информации, которая обрабатывается в данных системах, то особую актуальность приобретает вопрос обеспечения достоверности функционирования запоминающих устройств (ЗУ) данных систем.

Опыт эксплуатации показывает, что в ЗУ наиболее вероятным событием является возникновение одиночных и двойных ошибок (на одиночные ошибки приходится до 80%, на двойные ошибки до 20-25% и на ошибки прочей кратности до 2%) [3, 4, 5].

В настоящее время в рассматриваемых системах используется целый ряд методов обнаружения ошибок. Анализ существующих методов обнаружения ошибок в ЗУ показывает, что структурные методы обнаружения ошибок, такие как:

мажоритарный метод, дублирование, парафазная логика, перекрестная логика обладают высокой обнаруживающей способностью, высоким быстродействием, однако требуют больших аппаратурных затрат [3].

Использование алгебраических линейных кодов с d=3, позволяет обнаруживать одиночные и двойные ошибки, сократить аппаратурные затраты резервного оборудования (требуется 30% от исходных аппаратурных затрат), однако его использование приводит к неоправданной информационной избыточности [3].

Для сокращения информационной избыточности, кода, обнаруживающего одиночные и двойные ошибки, может использоваться контроль по модулю, позволяющий обнаруживать все одиночные ошибки, а двойные ошибки с определенной вероятностью для каждого модуля соответственно: $P_{мод3}=0,5$; $P_{мод5}=0,75$; $P_{мод7}=0,833$; $P_{мод11}=0,9$.

Недостатком данного контроля являются большие аппаратурные и временные затраты, связанные с операцией деления для получения остатка (организации переносов в пирамидальной схеме свертки, построенной на сумматорах).

Таким образом, существует противоречие, с одной стороны, между необходимостью повышения обнаруживающей способности встроенных средств контроля и, с другой стоны, ростом информационной, аппаратурной и временной избыточности, что приводит к снижению их эффективности.

Если использовать кодовый контроль для обнаружения одиночных и двойных ошибок, то достоверность определяется выражением [1]:

$$D_{\Phi}(t) = \left[P_{ИСХ}(t)P_K(t) + P_1P_{ОБН1}(1 - P_{ИСХ}(t)P_K(t)) + \right.$$
$$\left. + P_2P_{ОБН2}(1 - P_{ИСХ}(t)P_K(t))\right] P_{РО}(t), \quad (1)$$

где $P_{ИСХ}(t)$ – вероятность безотказной работы исходной схемы;

$P_K(t)$ – вероятность безотказной работы схемы контроля (схемы кодирования и элементов памяти для хранения значений контрольных разрядов);

$P_{РО}(t)$ – вероятность безотказной работы решающего органа (схемы формирования значений контрольных разрядов относительно считанной информации и схемы сравнения переданных и сформированных значений контрольных разрядов декодирующего устройства, обнаруживающего ошибки);

$P_{обн1}$ – вероятность обнаружения одиночных ошибок;

$P_{обн2}$ – вероятность обнаружения двойных ошибок;

P_1 – вероятность возникновения одиночной ошибки;

P_2 – вероятность возникновения двойной ошибки.

Для разрешения выявленного противоречия, необходимо повышать обнаруживаю способность средств контроля, или сокращать их аппаратурные затраты (повышать безотказной работы средств контроля), или одновременно улучшать данные показатели.

Таким образом, существует необходимость решения научной задачи, заключающейся в разработке по разработке научно-методического аппарата для повышения достоверности функционирования устройств хранения и передачи информации на основе использования алгебраического кода, при сокращении информационной и аппаратурной избыточности:

$$D_{\Phi}(t) \succ D_K(t) \,\big|\, r \le r_K;\ C \le C_K;\ P_{ОБН2} \succ P_{ОБН2M}, \quad (2)$$

где $D_{\Phi}(t)$ – достоверность функционирования устройства хранения информации, контролируемого на основе предлагаемого методического аппарата;

$D_K(t)$ – достоверность функционирования устройства хранения информации, контролируемого алгебраическим линейным кодом с кодовым расстояние d=3;

r – информационная избыточность, при использовании предлагаемого методического аппарата;

$r_к$ – информационная избыточность, при использовании алгебраического линейного кода, обнаруживающего одиночные и двойные ошибки;

C – аппаратурные затраты при использовании предлагаемого методического аппарата;

C_K – аппаратурные затраты при использовании алгебраического линейного кода, обнаруживающего одиночные и двойные ошибки;

$P_{ОБН2M} = 0,9$.

1. Правила построения корректирующих кодов, обнаруживающих одиночные и двойные ошибки при минимальной избыточности

Правило 1. Двоичное слово Y, содержащие k информационных символов, разбивается на m=k/b информационных блоков (под информационным блоком будем понимать число информационных разрядов, не превышающих значение b). Пусть b кратно k.

Полученные информационные блоки представляют в виде информационной матрицы:

$$\begin{matrix} y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mb} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2b} \\ y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1b}. \end{matrix}$$

В результате имеем информационную матрицу, имеющую m-строк и b-столбцов. Пусть: z=(b+m), m≥b.

Очевидно, что для построения кода длины n, обнаруживающего все одиночные и двойные ошибки, необходимо иметь r=]$\log_2(n+1)$[проверок (контрольных разрядов). В этом случае имеем алгебраический линейный код (код Хэмминга) с минимальным кодовым расстоянием d=3, проверочная матрица которого состоит из всех различных ненулевых векторов длины r.

Для обнаружения любой комбинации двойных ошибок необходимо и достаточно, чтобы все столбцы проверочной матрицы были различны.

Свойство 1. Уменьшение проверочных символов в коде Хэмминга до значения: $r^*=r-i$, при сохранении длины n, непременно ведет к образованию повторяющихся столбцов в проверочной матрице, и, как следствие, невозможности обнаружения некоторой части двойных ошибок.

Правило 2. Минимизация числа контрольных разрядов (при которой сохраняется $P_{ОБН2}>0{,}9$) осуществляется логарифмированием суммы строк и столбцов информационной матрицы:

В этом случае число контрольных разрядов, определяется выражением:

$r^*=\log_2 z/$

Правило 3. Для построения минимизированного кода с $r^*=r-i$ проверками, обнаруживающего все одиночные ошибки и не обнаруживающего минимальное число двойных ошибок, необходимо построить проверочную матрицу, включающую столбцы всех ненулевых векторов длины r^*, а для получения длины n дополнить ее β столбцами.

Правило 4. Для сокращения аппаратурных затрат на построение декодирующего устройства необходимо дополнять столбцы проверочной матрицы, столбцами содержащими наименьшее количество единиц.

Свойство 2. Если n делится без остатка, количество повторений одного и того же столбца в проверочной матрице равно:

$$\alpha=\frac{n}{2^{r^*}-1}\ . \qquad (3)$$

Свойство 3. Одинаковые столбцы будут давать $\binom{\alpha}{2}$ – необнаруженных двойных ошибок.

Свойство 4. Если при делении n имеем остаток β, то имеем β столбцов, у которых число повторений равно $\alpha+1$, для которых число необнаруженных двойных ошибок равно

$$\binom{\alpha+1}{2}.$$

Свойство 5. Число необнаруженных двойных ошибок для кода длины n определяется выражением:

$$\varphi=\binom{\alpha}{2}\left(2^{r^*}-1-\beta\right)+\beta\binom{\alpha+1}{2}\ . \qquad (4)$$

Следовательно, вероятность появления необнаруженных комбинаций кода составляет:

$$P_e=\frac{\varphi}{\binom{n}{2}+n}\ . \qquad (5)$$

Рассмотрим построение кода на примере кодирования 12 информационных разрядов. В этом случае, при построении информационной матрицы, потребуется три столбца и четыре строки (z=7), тогда $r^*=3$.

Проверочная матрица H для рассматриваемого кода имеет вид:

$$H=\left|\begin{array}{cccccccccccc}
r_3 & r_2 & r_1 & y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 & y_6 & y_7 & y_8 & y_9 & y_{10} & y_{11} & y_{12} \\
0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1
\end{array}\right|$$

Проверки для формирования значений контрольных разрядов определяются выражением:

$r_1 = y_3 \oplus y_6 \oplus y_7 \oplus y_8 \oplus y_9 \oplus y_{10} \oplus y_{11}$;

$r_2 = y_2 \oplus y_4 \oplus y_5 \oplus y_8 \oplus y_9 \oplus y_{10} \oplus y_{11}$;

$r_3 = y_1 \oplus y_4 \oplus y_5 \oplus y_6 \oplus y_7 \oplus y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}$.

Для рассматриваемого кода, в *таблице 1* представлены значения синдромов при возникновении одиночных и двойных ошибок в информационных и контрольных разрядах относительно кодового слова:

$У_к$=000 000 000 000 000 (три последних разряда являются контрольными). Анализ *таблицы 1* показывает, что из 120 возможных ошибок не обнаруживаются 9 двойных ошибок (выделены жирным шрифтом), или 7,5% от возможного числа ошибок. Вероятность обнаружения двойных ошибок составляет $P_{ОБН2}$= 0,915.

Таким образом, при кодировании двенадцати информационных разрядов предлагаемым методом, для обнаружения одиночных и двойных ошибок потребует три контрольных разряда.

При использовании предлагаемого методического аппарата аппаратурные затраты коди-

Таблица 1

Значения синдромов

№ п/п	Номер ош-го раз-да	E	№ п/п	Номер ош-го раз-да	E	№ п/п	Номер ош-го раз-да	E
1	1	001	41	**2 и 14**	**000**	81	6 и 12	100
2	2	010	42	2 и 15	011	82	6 и 13	001
3	3	100	43	3 и 4	111	83	6 и 14	110
4	4	001	44	3 и 5	111	84	6 и 15	100
5	5	011	45	3 и 6	001	85	7 и 8	011
6	6	101	46	3 и 7	001	86	7и 9	011
7	7	101	47	3 и 8	010	87	7 и 10	010
8	8	110	48	3 и 9	010	88	7 и 11	010
9	9	110	49	3 и 10	011	89	7 и 12	100
10	10	111	50	3 и 11	011	90	7 и 13	001
11	11	111	51	3 и 12	101	91	7 и 14	101
12	12	001	52	**3 и 13**	**000**	92	7 и 15	100
13	13	100	53	3 и 14	110	93	**8 и 9**	**000**
14	14	010	54	3 и 15	101	94	8 и 10	001
15	15	001	55	**4 и 5**	**000**	95	8 и 11	001
16	1 и 2	110	56	4 и 6	110	96	8 и 12	111
17	1и 3	101	57	4 и 7	110	97	8 и 13	010
18	1 и 4	011	58	4 и 8	101	98	8 и 14	100
19	1 и 5	010	59	4 и 9	101	99	8 и 15	111
20	1 и 6	100	60	4 и 10	100	100	9 и 10	001
21	1 и 7	100	61	4 и 11	100	101	9 и 11	001
22	1 и 8	111	62	4 и 12	010	102	9 и 12	111
23	1 и 9	111	63	4 и 13	111	103	9 и 13	010
24	1 и 10	110	64	4 и 14	001	104	9 и 14	100
25	1 и 11	110	65	4 и15	010	105	9 и 15	111
26	**1 и 12**	**000**	66	5 и 6	110	106	**10 и 11**	**000**
27	1 и 13	101	67	5 и 7	110	107	10 и 12	110
28	1 и 14	010	68	5 и 8	101	108	10 и 13	011
29	**1 и 15**	**000**	69	5 и 9	101	109	10 и 14	101
30	2 и 3	110	70	5 и 10	100	110	10 и 15	110
31	2 и 4	001	71	5 и 11	100	111	11 и 12	110
32	2 и 5	001	72	5 и 12	010	112	11 и 13	011
33	2 и 6	111	73	5 и 13	111	113	11 и 14	101
34	2 и 7	111	74	5 и 14	001	114	11 и 15	110
35	2 и 8	100	75	5 и 15	010	115	12 и 13	101
36	2 и 9	100	76	**6 и 7**	**000**	116	12 и 14	011
37	2 и 10	101	77	6 и 8	011	117	**12 и 15**	**000**
38	2 и 11	101	78	6 и 9	011	118	13 и 14	110
39	2 и 12	011	79	6 и 10	010	119	13 и 15	101
40	2 и 13	110	80	6 и 11	010	120	14 и 15	011

рующего устройства составят 19 сумматоров по mod 2.

Аппарата аппаратурные затраты декодирующего устройства составят 22 сумматора по mod 2 (19 сумматоров по mod 2 для формирования значений контрольных разрядов относительно считываемых информационных разрядов, и 3 сумматора по mod 2 для сравнения переданных и сформированных контрольных разрядов). Итого – 41 сумматор по mod 2.

С учетом того, что для построения одного сумматора по mod 2 требуется четыре простейших логических элемента, аппаратурные затраты на построение кодирующего устройства составят 76 л.э., а декодирующего устройства (решающего органа) 88 л.э.

Проведем оценку аппаратурных затрат на построение ОЗУ с обнаружением одиночных двойных ошибок на основе кода Хэмминга (декодирующее устройство используется только для обнаружения ошибок).

Для обеспечения кодового расстояния d=3 (условие коррекции одиночной ошибки или обнаружения одиночных и двойных ошибок) количество контрольных разрядов r=n-k определяется из следующего неравенства:

$$2^{r-1} < 1+k+r \le 2^r, \text{ или } r =]\log_2(n+1)[\quad . \quad (12)$$

Для построения данного кода построим таблицу формирования множеств по Хэммингу (таблица 2) для 5 основных контрольных разрядов.

В левом столбце *таблицы 2* приведены номера разрядов, а в каждой строке столбцов 0, 1, 2, 3, 4 приведены их двоичные эквиваленты. Множества E_1, E_2, E_3, E_4, E_5 образуются из совокупности номеров тех разрядов, в двоичном представлении которых в рассматриваемом столбце стоит единица.

Из полученных множеств следует, что на первом месте в каждом из них стоит контрольный разряд. В результате имеем логические функции формирования контрольных разрядов по коду Хэмминга:

$$r_1 = y_3 \oplus y_5 \oplus y_7 \oplus y_9 \oplus y_{11} \oplus y_{13} \oplus y_{15} \oplus y_{17};$$

$$r_2 = y_3 \oplus y_6 \oplus y_7 \oplus y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{14} \oplus y_{15};$$

$$r_3 = y_5 \oplus y_6 \oplus y_7 \oplus y_{12} \oplus y_{13} \oplus y_{14} \oplus y_{15};$$

$$r_4 = y_9 \oplus y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12} \oplus y_{13} \oplus y_{14} \oplus y_{15};$$

$$r_5 = y_{17};$$

Таким образом, для кодирования информации кодом Хэмминга потребуется 25 сумматоров по mod 2, или 100 л.э.

Аппаратурные затраты декодирующего устройства (решающего органа) при использовании кода Хэмминга составят 30 сумматора по mod 2, или 120 л.э.

Заключение

При использовании кода Хэмминга для обнаружения одиночных и двойных ошибок

Таблица 2

Формирования множеств по Хэммингу

Номера разрядов	4	3	2	1	0	Множества по Хэммингу
1	0	0	0	0	1	
2	0	0	0	1	0	E_1={1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17}
3	0	0	0	1	1	
4	0	0	1	0	0	E_2= {2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15}
5	0	0	1	0	1	
6	0	0	1	1	0	E_3 = {4, 5, 6, 7, 12, 13, 14,15}
7	0	0	1	1	1	
8	0	1	0	0	0	E_4= {8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15}
9	0	1	0	0	1	
10	0	1	0	1	0	E_5 = {16, 17}
11	0	1	0	1	1	
12	0	1	1	0	0	
13	0	1	1	0	1	
14	0	1	1	1	0	
15	0	1	1	1	1	
16	1	0	0	0	0	
17	1	0	0	0	1	

в 12-разрядном двоичном слове потребуется 5 контрольных разрядов, а при использовании предлагаемого методического подхода, потребуется 3 контрольных разряда.

Аппаратурные затраты на кодирование и декодирование информации, при использовании кода Хэмминга, составят 55 сумматоров по mod 2, а при использовании предлагаемого методического подхода 41 сумматор по mod 2.

Если накопитель ЗУ содержит М-двоичных кодовых наборов и учитывая, что для хранения значения одного разряда требуется один элемент памяти (триггер, включающий четыре простейших логических элемента) и два логических элемента И (для записи и считывания информации), то для хранения значений контрольных разрядов в накопителе информации (пусть М=1000 слов памяти), при использовании кода Хэмминга потребуется 5000 триггеров, а при использовании предлагаемого подхода 3000 триггеров.

Таким образом, предлагаемый методический подход позволяет обеспечить высокую вероятность обнаружения двойных ошибок (достоверность функционирования ЗУ) при сокращении информационной и аппаратурной избыточности.

Литература

1. Павлов А.А., Неустроев С.С., Роберт И.В., Рягин С.Н, Царьков А.Н., Сорокин Д.Е., Бурмистров А.А., Иванов Д.Д. Обнаружение ошибок устройств хранения и передачи информации // Известия Института инженерной физики, 2016. №1(39). С. 59-66.

2. Павлов А.А., Бурмистров А.А., Царьков А.Н., Корсунский Д.А., Сорокин Д.Е., Неустроев С.С., Роберт И.В. Тестово-кодовая коррекция ошибок устройств хранения информации измерительных систем // Измерительная техника, 2016. №9. С.15-18.

3. Павлов А.А., Царьков А.Н., Рягин С.Н., Роберт И.В., Сорокин Д.Е., Иванов Д.Д., Кудрявцев Д.С. Анализ эффективности тестово-кодовой коррекции ошибок устройств хранения информации информационно-измерительная систем // Известия Института инженерной физики, 2015. №4(38). С. 47-58.

4. Павлов А.А., Павлов П.А., Царьков А.Н., Хоруженко О.В. Функционально-кодовый контроль ошибок в автоматизированных системах измерительной техники // Измерительная техника, 2009. №9. С. 3-5.

5. Павлов А.А., Царьков А.Н., Хоруженко О.В., Павлов П.А. Метод контроля ошибок в устройствах хранения и передачи информации автоматизированных систем измерительной техники // Измерительная техника, 2010. №11. С. 21-25.

6. Раннев Г.Г., Тарасенко А.П. Методы и средства измерений. М.: Академия, 2004. 336 с.

7. Щербаков Н.С. Достоверность работы цифровых устройств. М.: Машиностроение, 1989. 224 с.

8. Naseer R., Draper J. Parallel Double Error Correcting Code Design to Mitigate Multi-Bit Upsets in SRAMs // Information Sciences Institute University of Southern California, IEEE Trans Device. Mater 2008. Vol. 6. P. 222-225.

9. Hagbae K., Kang G. Shin Evaluation of Fault Tolerance Latency from Real-Time Application's Perspectives // IEEE Transactions on computers, January 2000. Vol. 49. №1. P. 55-64.

УДК 530.145

СПИН–ЭЛЕКТРОННЫЕ И ЯДЕРНЫЕ КУБИТЫ. КВАНТОВОЕ ЗАПУТЫВАНИЕ NV–ЦЕНТРОВ АЛМАЗА

SPIN–ELECTRON AND SPIN–NUCLEAR QUBITS. QUANTUM ENTANGLEMENT IN NV–CENTERS OF DIAMOND

Геннадий Германович Волков
доктор физико-математических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
ФГБУ Петербургский институт
ядерной физики им. Б.П. Константинова
Адрес: 188300, Ленинградская обл.,
г. Гатчина, Орлова роща, д. 1
Тел.: +7(813)714-60-25
E-mail: gennadii.volkov@rambler.ru

Сергей Владимирович Смуров
доктор технических наук, профессор
Первый заместитель генерального директора
по научной работе – главный конструктор
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: svs@mail.ru

Аннотация
В статье обсуждаются спин-электронные и спин-ядерные квантовые структуры в NV-центрах алмаза и анализируется цикл контрольных экспериментов над квантовыми двухуровневыми системами в этих центрах, которые могут использоваться в виде кубитов для создания квантовых сетей и квантовых компьютеров.

Ключевые слова: квантовые сети, обвитие, спин-электрон, спин-ядра, кубит-кутрит.

Summary
The article discusses spin-electron and spin-nuclear quantum structures in NV-centers of diamond and analyzes the net of the control experiments on the quantum two-level systems in these centers, which can be used as qubits to create quantum networks and quantum computers.

Keywords: quantum networks, entanglement, spin-electron, spin-nucleus, qubit-qutrit.

Введение

Удивительные особенности квантовых измерений и квантового запутывания открывают огромные перспективы для практического использования достижений квантовой физики в создании квантовых сетей, квантовых компьютеров, прорыва в атомной биологии и медицине [1, 2, 3, 4]. На протяжении многих лет квантовая запутанность по-прежнему остается интересным объектом как с теоретической, так и с экспериментальной точки зрения. В настоящее время ведутся интенсивные поиски возможностей практического применения квантовых запутанных состояний, включая квантовые вычисления и квантовую телепортацию. Известно, что в классической и квантовой механике понятие чистых состояний связано с их полной определенностью в теории, которую сама теория допускает. Так если в классической механике чистое состояние представляется точкой в фазовом пространстве, то в квантовой механике это состояние есть вектор (функция) в комплексном векторном пространстве. Отметим, что в квантовой механике вводятся как физико-геометрическое расширение понятия состояния (от частицы-точки к многомерному объекту, описываемому вектором или волновой функцией), так и математическое расширение, связанное с теорией комплексных чисел и их философским смыслом [5]. Одной из самых ярких отличительных особенностей квантовой механики от клас-

сической является описание композитных систем. Для композитной системы, которую можно было бы считать чистым состоянием, ее составляющие части могут не являться чистыми. Такие состояния принято называть запутанными или переплетенными. Понятие запутанности для смешанных квантовых состояний можно определить как невозможность представления этого смешанного состояния в виде совокупности незапутанных чистых состояний. Дополнительной особенностью понятия запутанности является ее нелокальность, эта особенность запутанности вызывала громкие обсуждения при зарождении квантовой механики, которая является объектом постоянного интереса экспериментальных проверок неравенств Белла в пространственно-временной динамике для совершенно различных по природе двухчастичных смешанных квантовых состояний.

Электронная структура и энергетический спектр *NV*-центра с шестью электронами

Для построения точной спектральной модели *NV*-центра (*рисунок 1*) в формализме первооснов квантового описания был широко использован метод теории групп симметрий и их представлений, который в соответствии с экспериментом позволил понять в адиабатическом приближении энергетические уровни и симметрии стационарных состояний электронов [6-14]. Адиабатическое приближение предполагает разделение независимого описания многоэлектронной системы *NV*-центра и движения его ядерного остова в кристаллическом алмазе, учет которого можно будет проводить поэтапно: сначала рассматривается движение «быстрой» электронной системы в фиксированной системе координат ядерного остова *NV*-центра, а затем производится учет поправок влияния «медленной» системы – остова и самой кристаллической решетки алмаза. Электронная система *NV*-центра в алмазе содержит шесть электронов: по одному электрону поставляют три атома углерода C^{12}, имеющие ядерный спин $I=0$, два электрона – атом азота N^{14} с ядерным спином $I=1$, и один электрон захватывается из кристаллической среды алмаза. В результате, спиновая система *NV*-центра включает спины шести электронов и спин ядра азота N^{14} [15-18].

Электрон-спиновая структура *NV*-центра строилась на основе молекулярных моделей, теории групп симметрий и представлений.

Дефект кристалла алмаза, вызванный отсутствием одного атома углерода и заменой одного соседнего атомом азота, приобретает точечную тригональную C_{3v}-симметрию, образованную разорванными ковалентными связями: тремя – с 3-мя атомами углерода и одной – с атомом азота. В кристаллическом поле дефекта, в прямом соответствии разложения приводимого представления $\Gamma = (4, 1, 2) = 2(1, 1, 1) + (2, -1, 0)$ – 4-х разорванных связей на неприводимые представления группы C_{3v}, можно построить электронные орбитали – $a'_1, a_1, (e_x, e_y)$ (*рисунок 2*), из которых две орбитали – a'_1, a_1 являются полностью симметричными, преобразующимися по одномерному неприводимому представлению $A_1 = (1, 1, 1)$, и дважды вырожденная электронная орбиталь (e_x, e_y) – преобразуется по двумерному неприводимому представлению $E = (2, -1, 0)$.

Шесть электронов в отрицательно заряженном *NV*-центре в основном невозбужденном, возбужденном и дважды возбужденном состо-

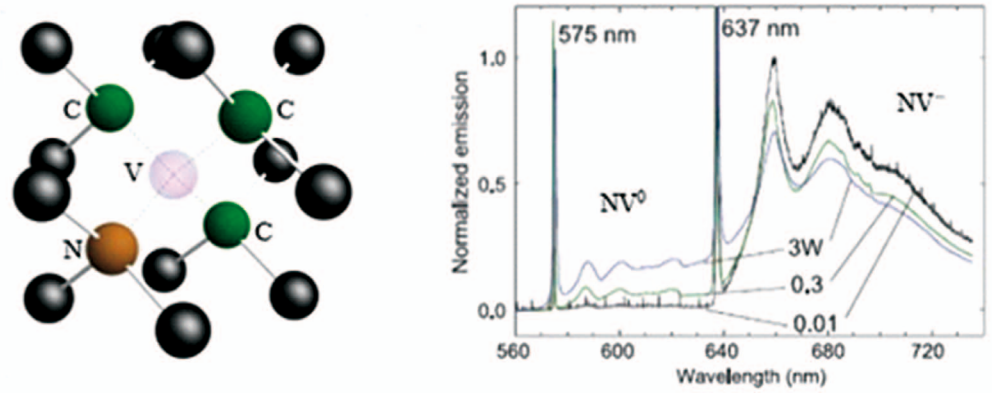


Рис. 1. Структурная модель *NV*-центра в алмазе и соответствующие спектры нейтрального *NV*-центра *NV*(0) с 5 электронами и отрицательно заряженного *NV*-центра NV(–) = NV с 6 электронами при криогенной температуре

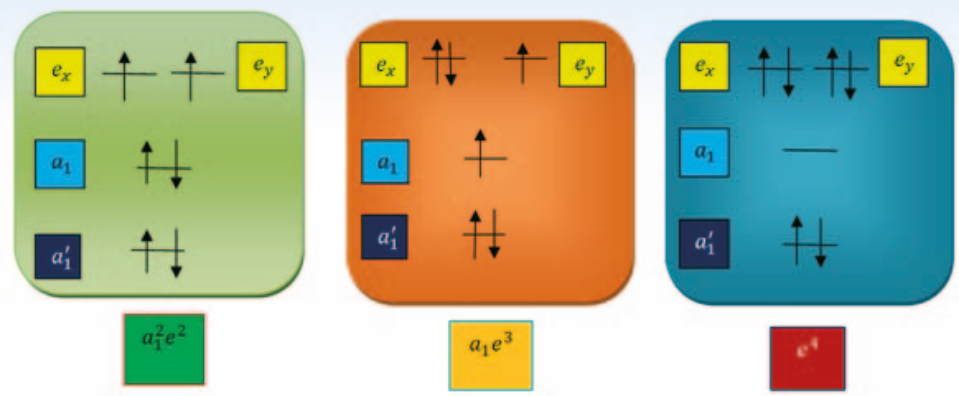


Рис. 2. Электронные орбитали в основном невозбужденном, возбужденном и дважды возбужденном состояниях

яниях оккупируют три электронные орбитали, как показано на *рисунке 2*.

Кулоновское электрон-ионное взаимодействие на групповом методе предсказывает упорядочивание уровней с энергией, то есть возрастание с энергией уровней в последовательности – a'_1, a_1, (e_x, e_y) [6-10, 13], как указано на *рисунке 2*. Более детальные расчеты в теории функциональной плотности количественно подтверждают качественные выводы группового подхода.

Описание динамики электрон-электронных спиновых взаимодействий в *NV*-центре требует расчетов на основе волновых функций соответствующих электронных состояний, где также используется теория симметрий этих взаимодействий. Так можно оценить влияние кулоновского взаимодействия двух электронов на упорядочение триплетных и синглетных состояний в основном состоянии и оценить энергетический вклад обменного электрон-электронного взаимодействия [6-14]. Эти выводы согласуются с динамикой образования орто-гелия и пара-гелия.

В основном невозбужденном состоянии по два электрона находятся на одномерных орбиталях $a'_1(|\uparrow\downarrow\rangle)$ и $a_1(|\uparrow\downarrow\rangle)$, образующих синглеты спин $S = 0$. Два остальных электрона находятся на двумерной орбитали, расположенной энергетически выше упомянутых синглетов и образующих триплеты $S = 1$ и синглеты $S = 0$. В простейшей модели невзаимодействующих электронов конфигурацию основного и возбужденного состояний определяют как $a_1^2e^2$ и $a_1^1e^3$, соответственно, которые имеют вырожденные спин-триплет и спин-синглет состояния. Вырождение снимается кулоновским взаимодействием, которое расщепляет на энергию 1,945 эВ спин-триплет основных невозбужденных состояний $3A_2$ от спин-триплет возбужденных состояний $3E$. Точные положения состояний модельно зависимы [6-14], поэтому имеются разногласия в отношении определения синглетных состояний. Очень важны точные оценки влияния на энергетический спектр электронных уровней колебания кристаллической решетки, в связи с чем разделяют эксперименты при криогенной и комнатной температурах.

В соответствии с построенными орбиталями *NV*-центра приведем спин-электронную ($2S + 1$) структуру (рисунки 3-5) [9, 10], в которой находятся 15-состояний, включающие спин-триплеты $S = 1$ и спин-синглеты $S = 0$ и их дальнейшие пути возможных расщеплений [6-14].

На *рисунке 3* сплошными линиями показаны оптические переходы, идущие через дипольное взаимодействие, штриховыми линиями – нерадиационные переходы, идущие через промежуточные синглетные состояния.

В приведенной схеме оценки положения уровней и их подуровней, как в основном, так и в возбужденном состояниях, сделаны с использованием группы тригональной $C_{\infty v}$-симметрии и ее неприводимых представлений [9, 10, 13].

Описание состояний NV-центров, представленных на *рисунках 2-5*.

$a_1^2e^2$ **– основное состояние**

S = 1

$$\left|e_xe_y - e_ye_x\right\rangle \otimes \left\{\begin{matrix} |\alpha\alpha\rangle \\ |\alpha\beta + \beta\alpha\rangle \\ |\beta\beta\rangle \end{matrix}\right| A_2 \otimes (A_2 + E) = A_1 + E \rightarrow \left\| 3A_2 . \right. \quad (1)$$

S = 0

$$\left.\begin{matrix} |e_xe_x - e_ye_y\rangle \\ |e_xe_y - e_ye_x\rangle \\ |e_xe_x - e_ye_y\rangle \end{matrix}\right\} \otimes (|\alpha\beta\rangle - |\beta\alpha\rangle) \left| \begin{matrix} E \otimes A_1 = E \\ A_1 \otimes A_1 = A_1 \end{matrix} \right. \rightarrow \left\| \begin{matrix} 1E \\ 1A_1 \end{matrix} \right. . \quad (2)$$

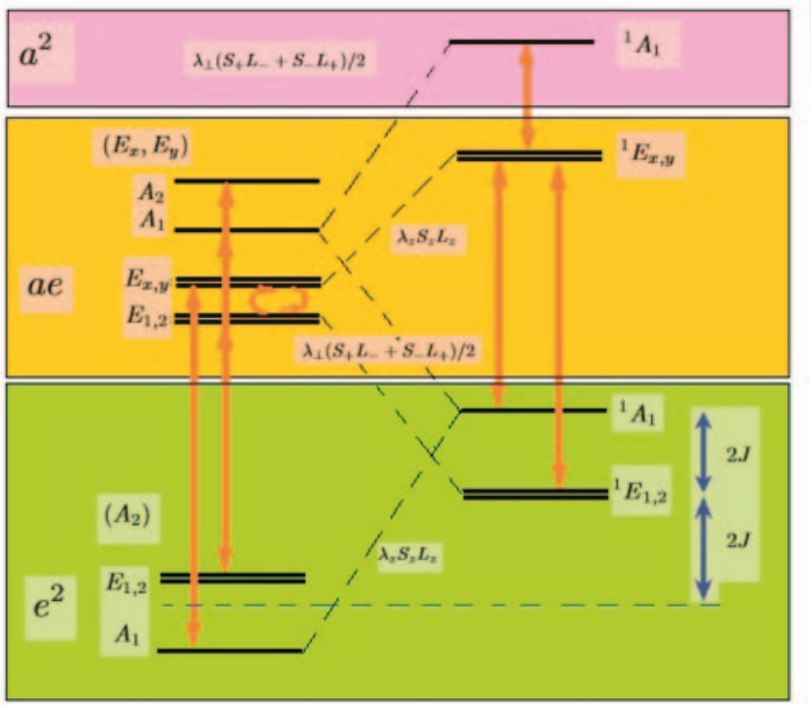


Рис. 3. Триплет-синглетная схема (Мазе) электронных уровней NV-центра

a_1e^3 – возбужденное состояние

$S = 1$

$$\left(S=1 \left\| \left| ae_x - e_x a \right\rangle \otimes \left\{ \begin{matrix} \left|\alpha\alpha\right\rangle \\ \left|\alpha\beta - \beta\alpha\right\rangle \\ \left|\beta\beta\right\rangle \end{matrix} \right\| (A_2 + E) = E + A_1 + A_2 + E \right\| 3E \right)$$

$$\left| ae_y - e_y a \right\rangle \otimes \left\{ \begin{matrix} \left|\alpha\alpha\right\rangle \\ \left|\alpha\beta + \beta\alpha\right\rangle \\ \left|\beta\beta\right\rangle \end{matrix} \right| E \otimes (A_2 + E) = E + A_1 + A_2 + E \rightarrow \| 3E;$$

$$\left| ae_y - e_y a \right\rangle \otimes E \otimes \left\{ \begin{matrix} \left|\alpha\alpha\right\rangle \\ \left|\alpha\beta + \beta\alpha\right\rangle \\ \left|\beta\beta\right\rangle \end{matrix} \right| (A_2 + E) = E + A_1 + A_2 + E \rightarrow \| 3E. \qquad (3)$$

S = 0

$$\left. \begin{matrix} \left| ae_x + e_x a \right\rangle \otimes \left(\left|\alpha\beta\right\rangle - \left|\beta\alpha\right\rangle \right) \\ \left| ae_y + e_y a \right\rangle \otimes \left(\left|\alpha\beta\right\rangle - \left|\beta\alpha\right\rangle \right) \end{matrix} \right| \; E \otimes A_1 = E \rightarrow \| 1E, \qquad (4)$$

где e^4 – дважды возбужденное состояние.

S = 0

$$\left|\alpha\alpha\right\rangle \otimes \left(\left|\alpha\beta\right\rangle - \left|\beta\alpha\right\rangle \right) \| A_1 \otimes A_1 = A_1 \rightarrow \| 1A_1. \qquad (5)$$

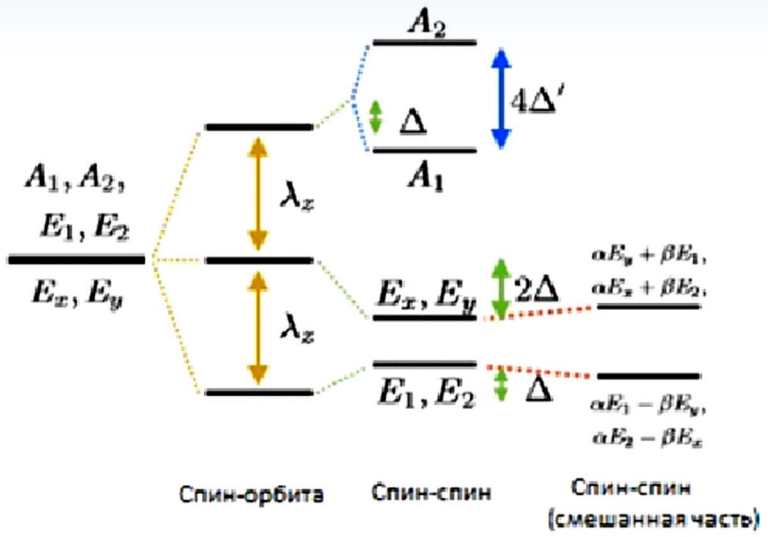


Рис. 4. Возможная схема расщепления возбужденных триплетных состояний за счет тонкого спин-орбитального и сверхтонкого спин-спинового взаимодействий [9, 10]

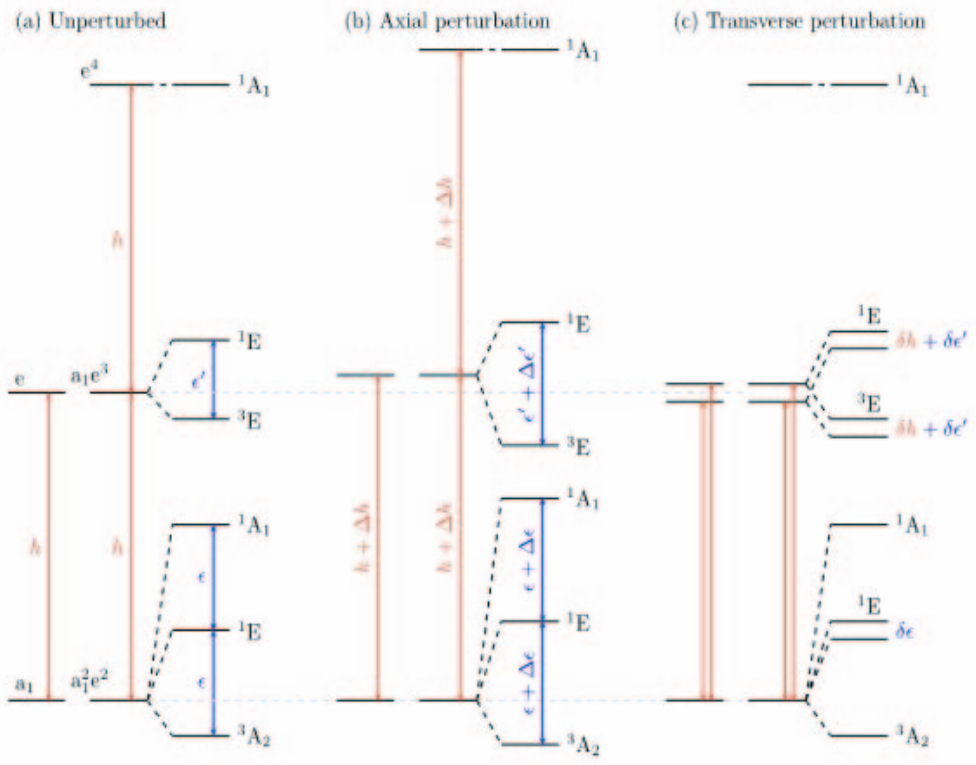


Рис. 5. Возможная схема расщепления триплетных состояний за счет тонкого спин-орбитального взаимодействия, а также аксиального и поперечного динамических механизмов решетки, которые могут изменять статус Cauu-симметрии NV-центра [13]

Результаты контрольные экспериментов со спинами электронов

Выше приведены принятые в научной литературе основные характеристики *NV*-центров, которые получены как при комнатной, так и при криогенной температурах. Эти характеристики *NV*-центров помогают получить полную информацию о спин-электронной структуре и динамике как основных, так и возбужденных состояний, что и, как следствие, понять возможность манипулировать спин-электронными и спин-ядерными кубитами (*рисунки 3-5*) [7-20]. Как обычно, приводится энергетический спектр, где указываются электронные уровни основного и возбужденного состояний с указанием промежуточных синглетных уровней (*рисунки 6а* и *6б*).

На *рисунке 6а* представлена общая схема энергетических уровней *NV*-центра, где выделено спин-спиновое D = 2,88 МГц и D = 1,4 МГц расщепление триплетов на два подуровня $ms = 0$ и $ms = \pm 1$ для основного $|g\rangle$ и возбужденного $|e\rangle$ состояний, соответственно. Включение магнитного поля производит дальнейшее расщепление уровней с $ms = +1$ и $ms = -1$.

На рисунке 6б изображен нормированный эмиссионный спектр ансамблей нейтральных и отрицательно заряженных *NV*-центров, возбужденных лазером 532 нм при комнатной темпера-

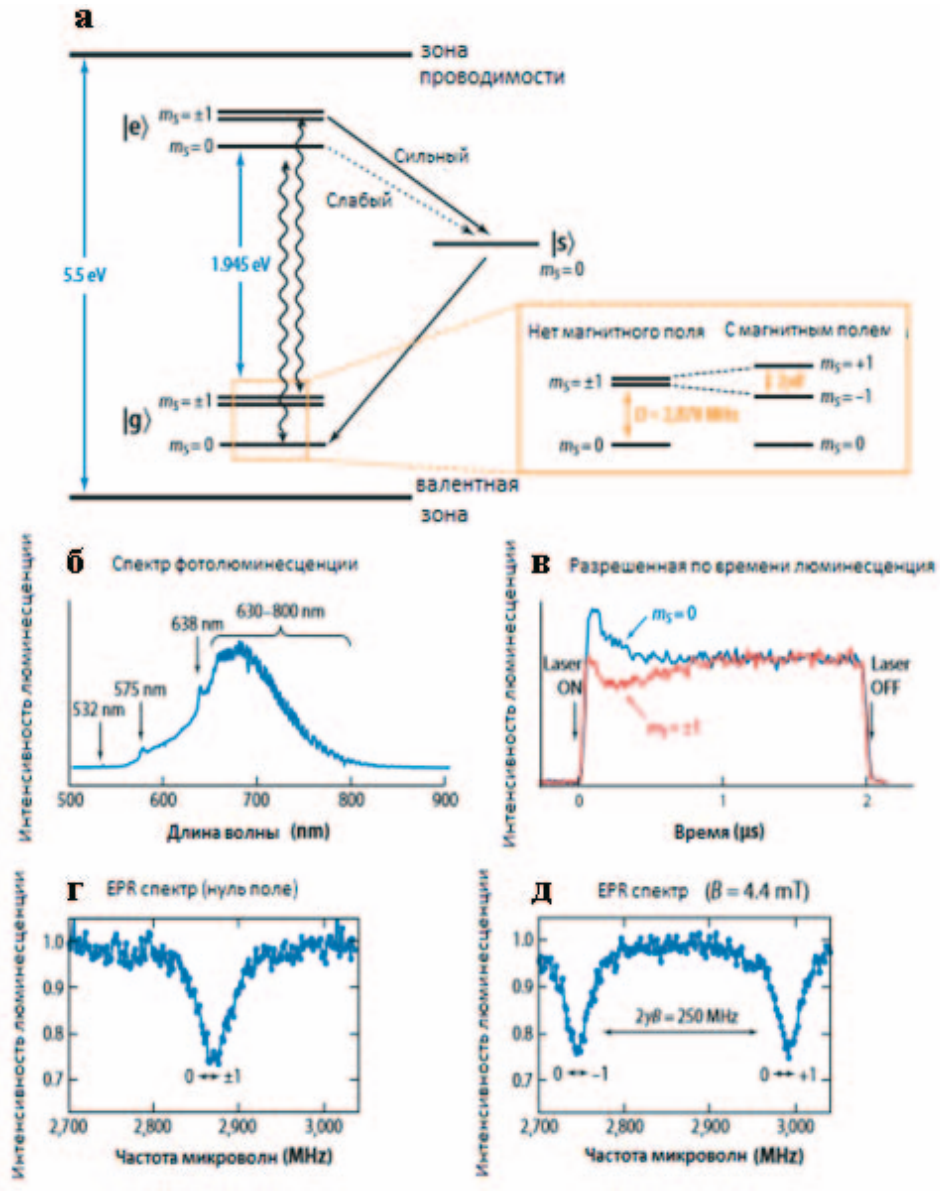


Рис. 6. а) общая схема энергетических уровней *NV*-центра; б) спектр фотолюминесценции; в) временная зависимость флуоресценции для чистых начальных спиновых состояний ms = 0 и ms = ±1; г), д) ERP спектр

туре. Нулевые фононные линии этих центров – 575 нм и 637 нм, соответственно.

На рисунках 6г и 6д показана спектроскопия *NV*-измеренная без внешнего магнитного поля (рисунок 6г) и в присутствии его (рисунок 6д). Если магнитное поле $B = 0$, то резонансная частота равна 2,87 ГГц. Включение магнитного поля в силу эффекта Зеемана расщепляет состояния $ms = +1$ и $ms = -1$ и, соответственно, их собственные резонансные частоты пропорциональны их величине.

Схематическая энергетически-уровневая структура *NV*-центра предполагает переходы электрона между основным ^3A и возбужденным ^3E состояниями, порождая либо поглощение электромагнитного излучения, либо его излучение-флуоресценцию, с нуль-фононным пиком в 637 нм (1,945 эВ). Основное электронное состояние *NV*-центра изучено более глубоко и представляет спин-триплет (полный электронный спин $S = 1$), в котором благодаря анизотропному спин-спиновому взаимодействию можно выделить расщепление синглет- ($ms = 0$) и дублет- ($ms = \pm 1$) спиновых подуровней, соответствующее микро-волновому диапазону частот 2,88 ГГц. Возбужденное электрон-триплетное состояние ^3E *NV*-центра имеет более сложную тонкую структуру, которая возникает из-за спин-спиновых и спин-орбитальных взаимодействий, а также из-за напряжений в кристалле алмаза, влияющих на тонкую структуру возбужденного ^3E-состояния. В дополнение к дискретным электронным возбужденным состояниям, дающим вклад в нуль-фононную линию, наблюдается непрерывный континуум колебательных возбужденных состояний, которые расширяют спектр флуоресценции от 650 нм до 800 нм при комнатной температуре. Метастабильные спин-синглетные состояния, как принимается в качестве гипотезы, должны играть важнейшую роль в динамике облучения *NV*-центра. Нерезонансное возбуждение способствует обоим оптическим переходам $ms = 0$ и $ms = \pm 1$, но, благодаря промежуточному метастабильному синглетному состоянию, популяция $ms = \pm 1$ основного состояния имеет несколько меньший цикл флуоресценции (рисунки 6а и 6в). В результате состояние $ms = \pm 1$ флюоресцируют несколько меньше чем состояние $ms = 0$.

Перечислим кратко уникальные физические свойства *NV*-центра. Важнейшим свойством является значительное время спин-решеточной и спин-спиновой релаксации при комнатной температуре (~1 мс и ~10 мкс, соответственно) и гораздо большее время спин-спиновой релаксации порядка 0,5 с при криогенных температурах. Другим очень важным свойством *NV*-центра является его спин-зависимый характер люминесценции. Он испускает люминесценцию в красной области только при возбуждении из основного состояния с проекцией спина $ms = 0$. Переменное электромагнитное поле с частотой 2,88 ГГц (сверхвысокочастотное излучение) равной резонансной частоте перехода между электронными спиновыми состояниями *NV*-центра ^3A ($ms = 0$) и ^3A ($ms = \pm 1$) вызывает перераспределение спиновой заселенности между этими уровнями.

При возбуждении оптических переходов между основным ^3A и возбужденным ^3E состояниями, которые происходят с сохранением проекции ms электронного спина, имеют место излучательные переходы из состояния ^3E в состояние ^3A с сохранением проекции спина и безызлучательные переходы из состояния ^3E в состояние ^3A через синглетные состояния. Спин основного состояния определяется лазерным возбуждением с последующим измерением флуоресценции спонтанного излучения. Если проекция спина на направление *NV*-оси равна нулю, *NV*-центр будет возбуждаться с переходом на возбужденный уровень $ms = 0$ и затем, испуская фотон длиной 637 нм, будет возвращаться в то же основное состояние с $ms = 0$. Если же *NV*-центр находится в основном состоянии с $ms = \pm 1$, то он будет возбуждаться с переходом в возбужденное состояние с $ms = \pm 1$ и затем будет возвращаться с вероятностью ~20%-40% в основное состояние $ms = 0$ нерадиационным способом, используя переходы через промежуточные синглетные уровни. Это делает возможным оптическую накачку *NV*-центра с $ms = 0$ и последующее определение спинового состояния *NV*-центра с помощью измерения флуоресценции (рисунок 6в). После накачки центра в основном состоянии возможно возбудить его с помощью микроволнового облучения *MW* на спиновой уровень основного состояния. Воздействие внешнего магнитного поля расщепляет вырожденный уровень $ms = \pm 1$ на два подуровня $ms = -1$ и $ms = +1$ (*рисунки 6г* и *6д*).

В излагаемом контексте спин-электронных уровней *NV*-центра исследуются квантовые системы, основанные на двух энергетически расщепленных состояниях, которые имеют различные спиновые свойства. Включение статического и осциллирующего магнитных полей позволяет вращать спины и, тем самым, изменять спиновые состояния *NV*-центра. Так статические магнитные поля B_z, параллельные оси *NV*-квантования, приводят к свободной прецессии и могут изменять угол φ на единичной сфере

Блоха. Осциллирующие магнитные поля, перпендикулярные оси квантования (B_x, B_y), могут изменять популяцию и изменять угол ϑ на сфере Блоха:

$$|q\rangle = \cos\frac{\vartheta}{2}|0\rangle + \sin\frac{\vartheta}{2}e^{i\varphi}|1\rangle. \qquad (6)$$

Это позволяет создать важные протоколы для контроля над такими двухуровневыми квантовыми системами – электронный кубит *NV*-центра, в котором для основного состояния 3*A* могут быть приняты следующие определения: $|g_0\rangle$ – уровень с $ms = 0 \rightarrow |0\rangle$, и дважды вырожденный $|g_1\rangle$ – уровень $ms = \pm 1 \rightarrow |1\rangle$. В результате, можно оценить вероятность соответствующего перехода $|g_0\rangle \rightarrow |g_1\rangle$:

$$P_{g_1} = \frac{\omega_{xy}^2}{\Delta\omega^2 + \omega_{xy}^2}\sin^2\left(\frac{t\sqrt{\Delta\omega^2 + \omega_{xy}^2}}{2}\right), \Delta\omega = \omega - \omega_z,$$
$$tg\,\vartheta = -\frac{\omega_{xy}}{\Delta\omega}, \qquad (7)$$

где $2\,\omega_{xy}\cos(\omega\, t)$ – управляющие осциллирующие микроволновые колебания.

В резонансе на сфере Блоха эта операция соответствует вращениям кубита вокруг оси *OX*:

$$\left|q(t) \geq \cos\frac{\omega_{xy}t}{2}\right|g_0\rangle + i\sin\frac{\omega_{xy}t}{2}\left|g_1\right\rangle, \Delta\omega = 0. \qquad (8)$$

Так вращение на сфере Блоха $|0\rangle \rightarrow |1\rangle$ соответствует π-импульсу ($\omega_{xy}t = \pi$), а вращение в экваториальной плоскости (*XOY*) – π/2-импульс ($\omega_{xy}t = \pi/2$).

Для измерения временных параметров декогерентности системы в качестве таких протоколов требуется проведение следующих измерений:

а) осцилляции популяций с учетом времени декогерентности T_{dec} (осцилляции Раби, *рисунок 7*);

б) энергетические релаксации – измерение времени T_1;

в) полосы Рамсея и измерение T_2^* (*рисунок 8*);

г) спин-эхо (Хан-эхо) корректировка для обратимой дефазировки и измерение T_2^* (*рисунок 9*).

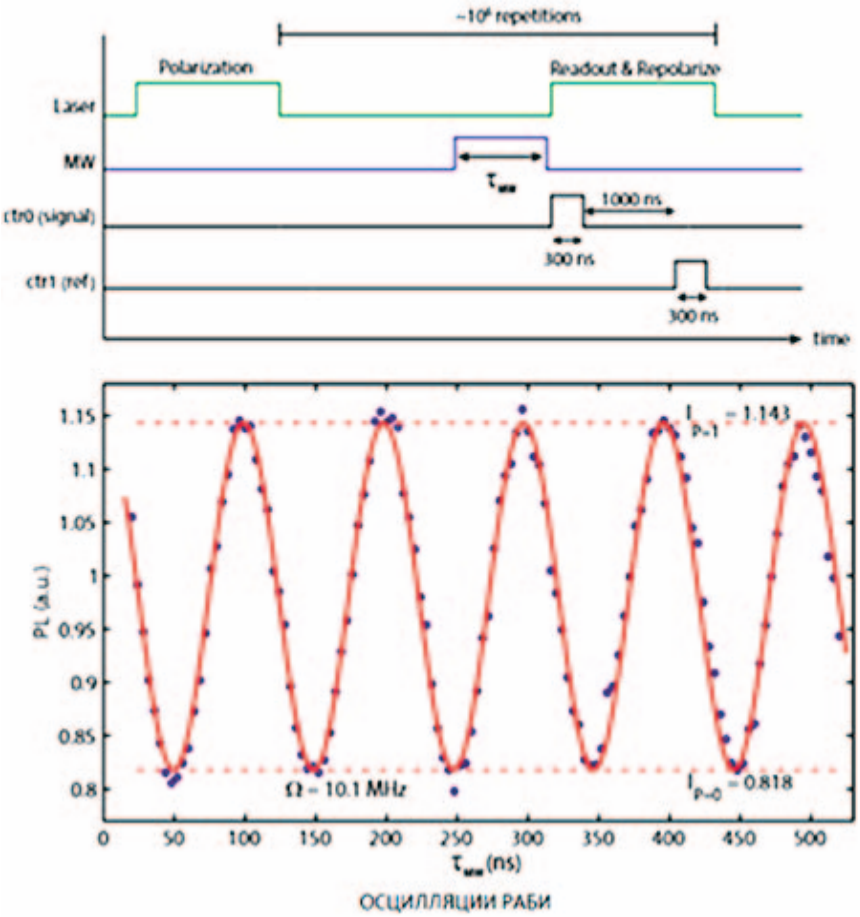


Рис. 7. Контроль над двухуровневой квантовой системой. Управляемые Раби осцилляции. Популяция двухуровневой системы |0> →|1>→|0> осциллирует под управлением π-импульсного микроволнового поля

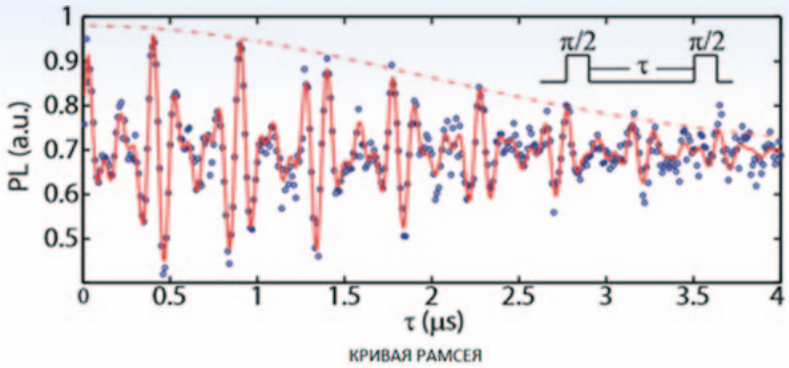


Рис. 8. Контроль двухуровневой квантовой системы (T_2^*). Полосы Рамсея: (инициализация)→π/2→ δ*t* (эволюция)→π/2→измерения

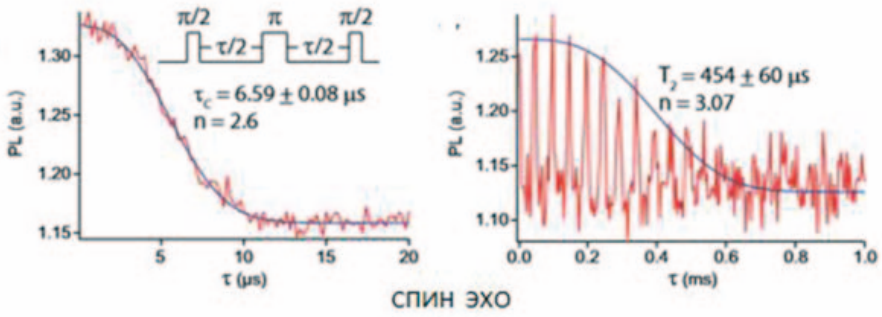


Рис. 9. Контроль над двухуровневой квантовой системой. Спин-эхо импульсные эксперименты: (инициализация) → π/2 → δ*t* (эволюции) → π → δ*t* (рефокусировка) → π/2 → (измерение)

Осцилляции Раби позволяют изучать время декогерентости двухуровневой квантовой системы. Потеря когерентности может быть связана с изменением популяции, ее распадом, которая характеризуется как энергетическая релаксация, (*рисунок* 7, временной параметр $T_1=2\pi/(\Gamma_1)$). Другая причина декогерентности связана с потерей фазовой когерентности, (рисунок 7, временной параметр $T_2=2\pi/(\Gamma_2)$.

Полосы (fringes) Рамсея позволяют определять параметр T_2^* (рисунок 8, $1/(T_2^*) = 1/(2T_1) + 1/(T_2)$).

Спин-эхо позволяет с помощью импульсов рефокусировки возвращать низкочастотную фазовую динамику (рисунок 9, $T_2E^*>T_2^*$).

Экспериментальные границы времени когерентности могут распространяться до 100μs.

Популяция такой двухсторонней системы, первоначально приготовленная в энергетически нижнем состоянии, в дальнейшим под резонансным (или вблизи резонанса) воздействием, начинает осциллировать между этими двумя состояниями (осцилляции Раби с резонансной частотой, $\Delta\omega = \omega - \omega_z = 0$).

Раби-колебания могут быть реализованы расщеплением состояний $ms = \pm 1$ внешним магнитным полем и выбором адресации одного из переходов электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). При этом создается эффективная двухуровневая система, используемая в качестве рассматриваемого кубита. Обычно для этого выбирается переход $ms = 0$ в $ms = -1$, частота которого ниже 3 ГГц [13, 15-18, 20].

Время распада осцилляций Раби характеризуется временем когерентности *NV*-ансамбля – T_2^*.

Далее приводится методика измерений и экспериментальная последовательность импульсов для колебаний Раби. *NV*-центр поляризован в состояние $ms = 0$ с помощью лазерного импульса 532 нм. Затем на длительность τ*MW* подают импульс *MW* для управления вращением когерентного спинового состояния. Оптическое считывание выполняется путем применения другого лазерного импульса и подсчета фотонов испускаемого сигнала. Частота *MW* (ν*MW* = 2802 МГц) настроена на резонансном переходе с $ms = 0$ на $ms = -1$. Данные показывают электронные колебания Раби с частотой ω~0,1 МГц [21]. Для проверки результатов выполняются осцилляции

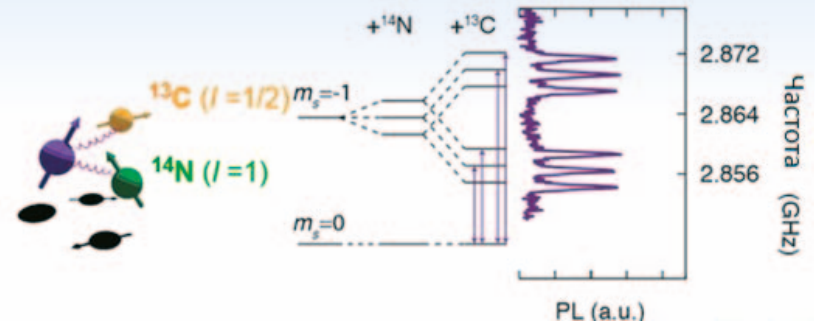


Рис. 10. Диаграммы энергетических уровней спинов азота и углерода

Раби с изменением *MW*. При низких мощностях, даже при резонансе, имеются модуляции к колебаниям Раби, вызванные сверхтонкой связью, связанной с собственным 14*N*-ядерным спином $I = 1$. Сверхтонкая связь приводит к трем частотам Раби, соответствующим каждой из проекций ядерного спинового состояния $mI = –1, 0, +1$.

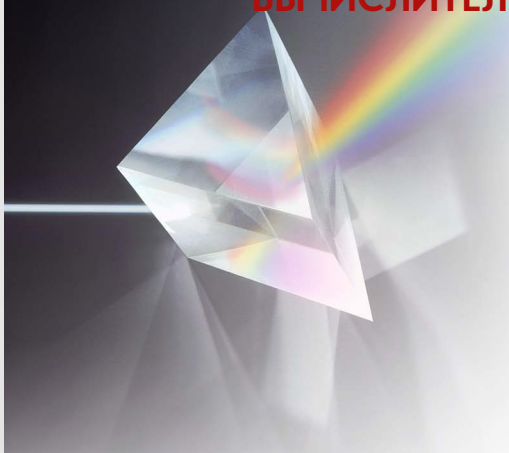
Диаграммы энергетических уровней с включением в рассмотрение ядерных спинов азота $^{14}N(I = 1)$, $^{15}N(I = 1/2)$ и углерода $^{13}C(I = 1/2)$ представлены на *рисунок 10*.

Направляя внешнее магнитное поле B_z по *NV*-оси, вырождение энергетических уровней $ms = –1$ снимается Зеемановским взаимодействием $g_e\mu_B B_Z$ ($g_e\mu_B$ = 2,802 МГц/Тл). Затем сверхтонкое взаимодействие с ядерным спином азота (углерода) расщепляет электронное состояние на подуровни, соответствующие различным проекциям спина ядра (три подуровня $m_I = –1, 0, +1$ для $^{14}N(I = 1)$ и два подуровня $m_I = –1/2, +1/2$ для $^{15}N(I = 1/2)$ и $^{13}C(I = 1/2)$. Благодаря ядерному квадрупольному взаимодействию Q = -4,962 МГц в случае ^{14}N ($Q = 0$ для случая ^{15}N) подуровни $m_I = –1,+1$ расходятся с подуровнем $m_I = 0$. Вырождение оставшихся состояний снимается ядерным Зеемановским взаимодействием с $g_N\mu_N$ ($g_N\mu_N$ = 0,308 кГЦ/Тл для случая ^{14}N и $g_N\mu_N$ = 0,432 кГЦ/Тл для случая ^{15}N) [15-18].

Таким образом, управление двухуровневой квантовой системой, в роли которой в статье рассматриваются спин-электронные и ядерные кубиты *NV*-центров, является важным практическим шагом на пути создания квантовых сетей и квантовых компьютеров.

Литература

1. Ladd T.D. et al. Quantum computers. Nature 464, С. 45–53 (2010).
2. Schirhagl R., Chang K., Loretz M., Degen C. Nitrogenvacancy centres in Diamond: nanoscale sensors for Physics and biology. // Annu.rev. Phys.Chem, 65:83-05 (2014).
3. Duan L.M., Lukin M.D., Cirac J.I. & Zoller P. Longdistance quantum communication with atomic ensembles and linear optics. // Nature 414, С. 413-418 (2001).
4. Hofmann J. et al. Heralded Entanglement Between Widely Separated Atoms // Science 337, С. 72–75 (2012).
5. Смуров С.В., Волков Г.Г., Глотова И.О., Кукин Н.С., Мурадова А.Р. Математические вопросы расширения основ квантовых теорий // Известия Института инженерной физики, 2015. №4(38). С. 71-84.
6. Lenef A., Rand S.C. Electronic structure of the NV-center in diamond: Theory and Experiment // Phys. Rev. B 53, 13441, 1996.
7. Manson N.B., Harrison J.P., Sellars M.J. Nitrogen – vacancy center in diamond: Model of the electronic structure and associated dynamics. // Phys.rev. B74, 104303, 2006.
8. Robledo L., Bernien H., van Weperen I. & Hanson R. Control and Coherence of the Optical Transition of Single Nitrogen Vacancy Centers in Diamond // Phys. Rev. Lett. 105, 177403 (2010).
9. J. Maze Rios. Quantum manipulation of nitrogen-vacancy centers in diamond: from basic properties to applications // Thesis Harvard University (2010).
10. J. R. Maze1, A. Gali, E. Togan, Y. Chu, A. Trifonov, E. Kaxiras and M.D. Lukin. Properties of nitrogen-vacancy centers in diamond: the group theoretic approach // New Journal of Physics 13 (2011) 025025 (24pp).
11. Robledo L., Bernien H., van der Sar T., Hanson R. Spin dynamics in the optical cycle of single nitrogen-vacancy centers in diamond // New Journal of Physics 13 (2), 025013, 2010.
12. Баранов П.Г.. Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и ядерного магнитного резонанса (ЯМР) // Лекции ФТИ им. Иоффе (2010).
13. Doherty M.W., Manson N.B., Delaney P., Jelezko F., Wrachtrup J., Hollenberg L.C.L. The nitrogen-vacancy color center in diamond // Physics Reports 528, 2013.
14. Волков Г.Г., Глотова И.О., Кукин Н.С., Мурадова А.Р. Геометрия и симметрии в квантовании атомарных систем // Известия Института инженерной физики, 2017. №1(43). С. 48-57.
15. Pfaff W. et al. Demonstration of entanglement by measurement of solid-state qubits // Nature Physics 9, С. 29–33 (2013).
16. Togan E. et al. Quantum entanglement between an optical photon and a solid-state spin qubit // Nature 466, С. 730–734 (2010).
17. Pfaff W., Bernien H. Quantum measurements and Enanglement of Spin Quantum Bits in Diamond, Deutschland (2016).
18. Bernien H. et al. Two-Photon Quantum Interference from Separate Nitrogen Vacancy Centers in Diamond // Phys. Rev. Lett. 108, 043604 (2012).
19. H. Bernien, B. Hensen, W. Pfaff, G. Koolstra, M.S. Blok, L. Robledo, T.H. Taminiau, M. Markham, D.J. Twitchen, L. Childress and R Hanson. Heralded entanglement between solid-state qubits separated by 3 meters // Arxiv: 1212/6136(quant-phys) (2012).
20. Васильев А.Н., Смуров С.В., Семенов П.А., Кукин Н.С., Бухтияров А.А., Капусткин Д.О. Экспериментальное наблюдение оптически детектируемого магнитного резонанса в кристалле алмаза с примесями азота // Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40). С. 40-44.
21. Семенов П.А., Васильев А.Н., Бухтияров А.А., Глотова И.О., Кукин Н.С., Смуров С.В., Капусткин Д.О., Мурадова А.Р., Никитин А.К. Исследование осцилляций Раби в кубитах кристалла алмаза с использованием зеленого лазера // Известия Института инженерной физики, 2017. №1(43). С. 25-30.



УДК 519.6

БИНАРИЗАЦИЯ НОСИТЕЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМОЙ ФУНКЦИИ (ОФНФ). МОДЕЛИРОВАНИЕ ОФНФ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАБЛИЦ

BINARIZATION OF THE CARRIER OF AN OPTICAL PHYSICAL NONCLONABILITY FUNCTION (OFNF). MODELING OF OPNF USING SPREADSHEETS

Сергей Иванович Закатин
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Сергей Сергеевич Закатин
кандидат технических наук,
старший преподаватель
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142202, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4976)72-19-11

Александр Владимирович Шикин
научный сотрудник
ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ
Адрес: 111123, Москва, Свободный пр-т, д. 4
Тел.: +7(495)302-94-40

Михаил Сергеевич Закатин
кандидат технических наук
начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д.1а
Тел.: +7(4967) 35-31-93

Вадим Николаевич Черников
начальник управления
ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ
Адрес: 111123, Москва, Свободный пр-т, д. 4
Тел.: +7(495)302-94-40

Дмитрий Владимирович Евсеев
младший научный сотрудник
ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ
Адрес: 111123, Москва, Свободный пр-т, д. 4
Тел.: +7(495)302-94-40

Аннотация
В статье рассмотрены принципы формирования двоичных последовательностей на основе оптических физически неклонируемых функций и методический подход к их моделированию с использованием Excel.

Ключевые слова: физически неклонируемые функции, оптика, спекл, моделирование.

Summary
The article describes the principles of binary sequences based on optical physical Nonclonability functions and methodical approach to their modeling using Excel.

Keywords: physically non cloned functions, optics, speckle, simulation.

Для использования оптической физически неклонируемой функции (ОФНФ) в криптографических системах необходимо преобразовать случайные физические свойства материала, используемого для изготовления ОФНФ, в случайные последовательности двоичных чисел, которые должны обладать определенными свойствами. Это преобразование называют бинаризацией носителя ОФНФ.

Применение получаемой из носителей ОФНФ случайной двоичной последовательности может использоваться в криптографических системах непосредственно в качестве разовых ключей (шифров) или опосредованно – в каче-

стве начального заполнения программных датчиков случайных чисел (ПДСЧ)[1].

Принцип формирования двоичных последовательностей на основе ОФНФ

В общем случае процедура для получения последовательности двоичных чисел из носителя оптической ФНФ состоит в следующем.

Во-первых, необходимо изготовить образец носителя ОФНФ из светопрозрачного, или светоотражающего материала, или из материала обеспечивающего диффузное рассеяние световых лучей при прохождении через носитель или отражении от его поверхности.

Во-вторых, необходимо, используя когерентный или некогерентный источник света получить изображение носителя, которое проецируется на матрицу ПЗС[2] цифрового фоторегистратора, например цифрового фотоаппарата [6].

За время экспозиции изображения каждый ПЗС-элемент (пиксель, субпиксель) заряжается пропорционально количеству попавшего на него света. Аналоговые сигналы с выходов ПЗС-элементов матрицы в аналогово-цифровом преобразователе преобразуются в цифровые отсчеты, которые записываются на носители памяти.

Возможность использования стекловидных веществ в качестве носителей ОФНФ обусловлена тем, что при производстве из них изделий на поверхности (или) и внутри них возникают различного рода дефекты (пороки) однородности среды, которые приводят к изменению оптических свойств изготовленных из них предметов (светопропускание, светопреломление, светоотражение и т.п.). Так, например, согласно [1] возникшие в результате неоднородности стекломассы, отклонения от заданного состава и цвета стекла, наличия прозрачных и не прозрачных кристаллических, стекловидных, инородных или газовых включений дефекты (пороки) подразделяются на 9 групп. Из них при производстве изделий, как правило, оценивают пузырность (определение по [2]) и свильность (определение по [3]), хотя и другие дефекты имеют место быть (см. *рисунки 2* и *3*).

При производстве стекла, предназначенного для потребительских изделий и оптических приборов, стремятся минимизировать количество указанных дефектов. Допустимые нормы дефектов, при этом, методы их обнаружения и измерения оговариваются в стандартах и технических условиях.

Очевидно, что параметры и местоположение этих дефектов зависят от многих случайных факторов технологического процесса. Любое отклонение техпроцесса приводит к повышенной дефектности образца [4, 5]. Физически получить два одинаковых по дефектам образца, например в виде пластины, из одного листа (куска) стекла невозможно. Поэтому носитель ОФНФ изготавливают из светопрозрачного или светоотражающего стекловидного вещества со случайно неоднородной повышенной дефектностью[3].

Под воздействием на этот носитель некогерентного света (*рисунок 1*) получают фотоизображение, которое посредством оптической систе-

[1] Программный датчик случайных чисел (ПДСЧ) – программное или программно-аппаратное средство (изделие), назначением которого является генерация последовательности псевдослучайных чисел и/или формирование массива символов или паролей.

[2] ПЗС – приборы с зарядовой связью.

[3] Здесь мы не рассматриваем возможности получения и обработки 3D-изображений носителя ОФНФ, а также получение его изображений методами оптической томографии [9, 10], т.к. суть извлечения цифровой информации из изображения не меняется.

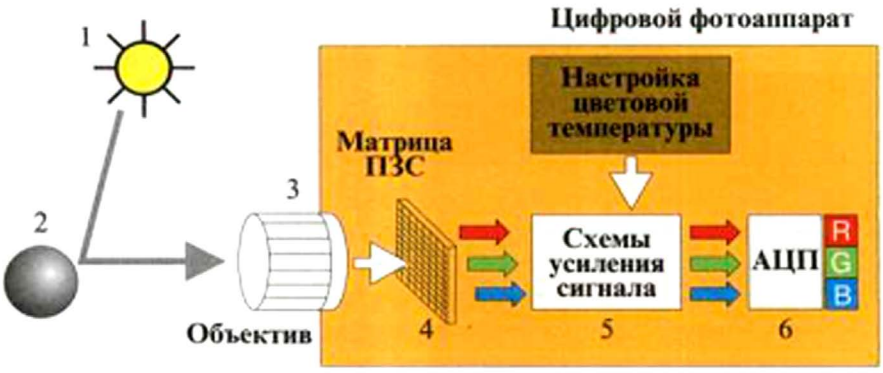


Рис. 1. Получение цифрового изображения оптического объекта

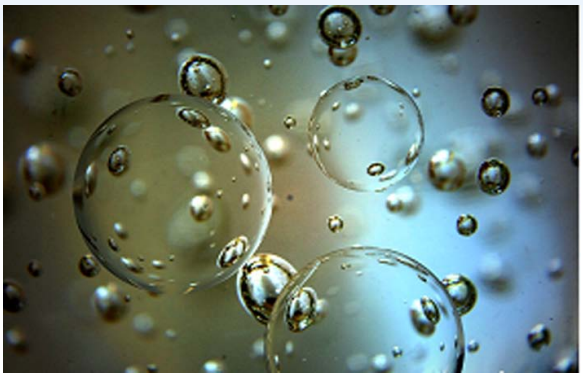


Рис. 2. Пузыри в стекле

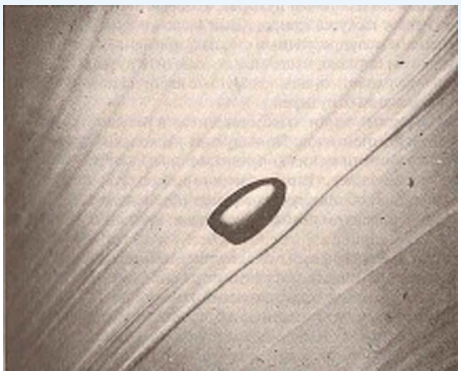


Рис. 3. Пузырек и свили в стекле

мы проецируется на матрицу ПЗС цифрового фоторегистратора (цифровой камеры) [6].

При воздействии на носитель ОФНФ со случайно-неоднородными свойствами рассеивания света когерентного источника света, как правило, получают спекл–интерференционное изображение (*рисунок 4*) [7].

Заметим, что получить спекл–изображение можно не только при облучении носителя ОФНФ лазером. Иногда такое явление реализуется обычным источником света широкого спектрального диапазона с протяженным телом светимости, излучающим частично когерентное излучение с малой длиной временной когерентности

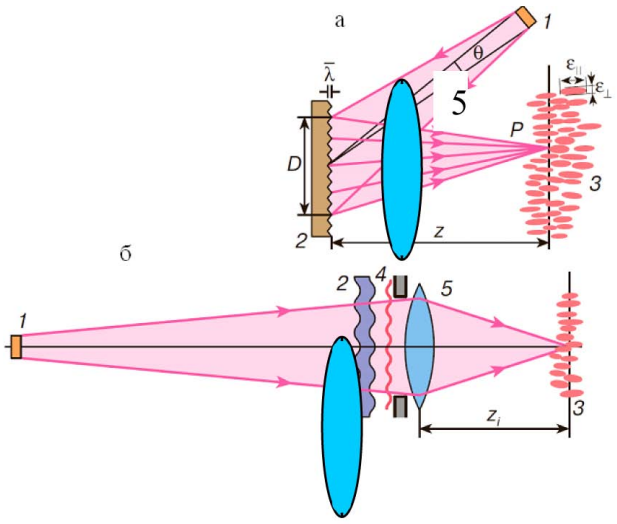


Рис. 4. Получение спекл-интерференционного изображения носителя ОФНФ:
а) со случайно неоднородной отражающей поверхностью; б) со случайно-неоднородной стекломассой. Цифрами обозначены: 1 – источник света, 2 – носитель ОФНФ, 3 – интерференционная область у плоскости ПЗС, 4 – случайно искаженный фронт световой волны, 5 – объектив [7].

и малой областью объемной когерентности [8]. Каждый пиксель (субпиксель) матрицы ПЗС формирует аналоговый сигнал, пропорциональный яркости b попавшей на него части изображения. Этот сигнал в зависимости от режима работы фоторегистратора посредством АЦП преобразуется в двоичное число, разрядность которого иногда называют глубиной цвета:

$$b = \begin{cases} 1 \text{ бит/пиксель в режиме чёрно-белое } (\textit{bitmap} - \text{битовая карта}), \\ 4 \text{ бита/пиксель в режиме 16 оттенков серого или 16 цветов}, \\ 8 \text{ бит/пиксель в режиме 256 оттенков серого или 256 цветов}, \\ 16 \text{ бит/пиксель в режиме } \textit{high color} \text{ (высокий цвет)}, \\ 24 \text{ бита/пиксель в режиме } \textit{true color} \text{ (полный цвет)}. \end{cases}$$

Если изображение покрывает в матрице ПЗС[4] площадку MxN пикселей, то бинаризация носителя ОФНФ состоит в построчном сцеплении значений бит, которое формирует двоичную последовательность:

$$X = \mathop{\&}_{i=1}^{M} \mathop{\&}_{j=1}^{N} \mathop{\&}_{k=1}^{b} x_{ijk} \quad x_{ijk} \in \{0;1\},\ i = \overline{1,M},\ j = \overline{1,N},\ k = \overline{1,b}$$

или сцепление этих значений по столбцам, которое формирует двоичную последовательность:

$$X = \mathop{\&}_{j=1}^{N} \mathop{\&}_{i=1}^{M} \mathop{\&}_{k=1}^{b} x_{ijk} \quad x_{ijk} \in \{0;1\},\ i = \overline{1,M},\ j = \overline{1,N},\ k = \overline{1,b}$$

длиной $L_X = b \cdot M \cdot N$ бит .

Очевидно, что максимальная длина двоичной последовательности определяется разрешением (размером матрицы ПЗС) фоторегистратора (для примера см. *таблицу 1*).

Методический подход к использованию электронных таблиц для моделирования ОФНФ

Рассмотрим методический подход, позволяющий моделировать в электронных таблицах по-

[4] Далее принимаем ПЗС в оттенках серого.

следовательности адекватные, извлекаемым из реальных носителей ОФНФ. Реализация этого подхода позволяет проводить статистические исследования для выработки требований к технологии подготовки стекломассы и изготовления из нее носителей ОФНФ с заданными свойствами. Заказчиком, как правило, определяются требования и методика исследования качества двоичных последовательностей, извлекаемых из носителей ОФНФ, а также формируемых программными датчиками случайных чисел, начальное наполнение которых осуществляется с использованием носителей ОФНФ.

Следует отметить, что в зависимости от задачи исследований может имитироваться либо оптическое изображение ОФНФ с последующей его цифровой обработкой по извлечению двоичной последовательности чисел, либо таблицы значений яркости пикселей (ПЗС-элементов) с последующей их бинаризацией, либо двоичные последовательности адекватные свойствам носителя ОФНФ.

Предположим, что в электронной таблице Excel формируется «картинка» 10×10 ячеек в виде, показанном на *рисунке 5*.

Отключив в Excel изображение сетки, скопируем тело таблицы в буфер обмена и в режиме *bitmap* вставим в программу ACDSee (*рисунок 6*).

При этом формируется bmp файл в оттенках серого, в котором таблица Excel 10x10 представляется в виде рисунка, размерность которого зависит от параметров форматирования электронной таблицы. Ввиду ограниченных возможностей по редактированию цифровых рисунков в программе ACDSee, сохраним созданный файл в текущем формате и откроем его в программе AdobeFotoShop (*рисунок 7*).

С помощью инструментов программы AdobeFotoShop в меню **Изображение– Режим– Битовый формат** устанавливаем глубину цвета 1 бит/канал, тем самым переводим изображение в режим **Черно-белое**.

В меню **Изображение– Размер изображения** выбираем **Интерполяция – По соседним пикселям** и снимаем закладку **Сохранить пропорции**. Устанавливаем размер изображения до значений 10x10 пикселей и устанавливаем масштаб экрана 1000% (*рисунок 8*).

Сохраним вновь полученное изображение с расширением bmp, который используем как исходный для извлечения цифровых данных. Вставим рисунок из этого файла в текущий документ и растянем до видимых размеров (*рисунок 9*).

Используем программу, реализующую КН-алгоритм[5], для извлечения из bmp-файла[6] значений яркости, которые представляются в виде текстового файла с расширением txt.

После преобразования текста получим таблицу (*рисунок 10*) с нулевыми (черными) значениями, сравнение которой с исходной таблицей (*рисунок 5*) подтверждает адекватность проведенных преобразований.

Очевидно, что если ячейки рабочего листа Excel заполнять случайными значениями в соответствии с законами распределения свойств материала, из которого изготавливают носитель ОФНФ, то при описанном методическом подходе нами будут смоделированы двоичные после-

[5] Алгоритм Кукина-Никитина (МОУ «ИИФ»).

[6] Программа позволяет получить цифровую информацию из изображений файлов с другими расширениями, в том числе и из цветных.

Таблица 1

Характеристики некоторых известных матриц ПЗС

Марка камеры	Тип матрицы	Размер матрицы	Разрешение
Canon EOS-1D Mark III	КМОП	28,1 × 18,7 мм	3888 × 2592 (≈10,1 Мпикс)
Canon EOS 5D	КМОП	35,8 × 23,9 мм	4368x2912 ≈12,8 Мпикс
Canon PowerShot G-серии	КМОП	18,7 × 14 мм	4352 × 3264 (≈14,2 Мпикс)
Sigma SD14		20,7 × 13,8 мм	2640 × 1760 (≈4,6 Мпикс)
Sony DSC-D700		6,4 x 4,0 мм	1344 × 1024 (≈1,4 Мпикс)

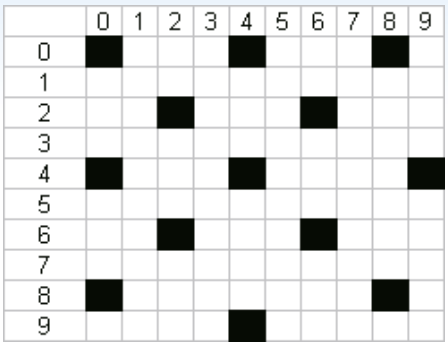


Рис. 5. Моделируемая Excel таблица 10×10 ячеек

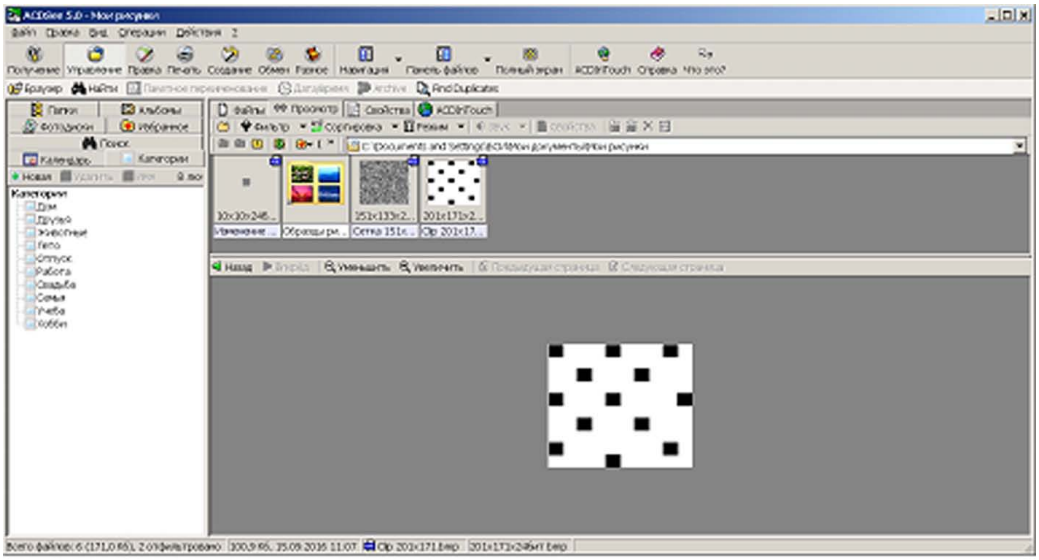


Рис. 6. Изображение рисунка таблицы Excel 10×10
в программе ACDSee имеет размер 201x171 пикселей

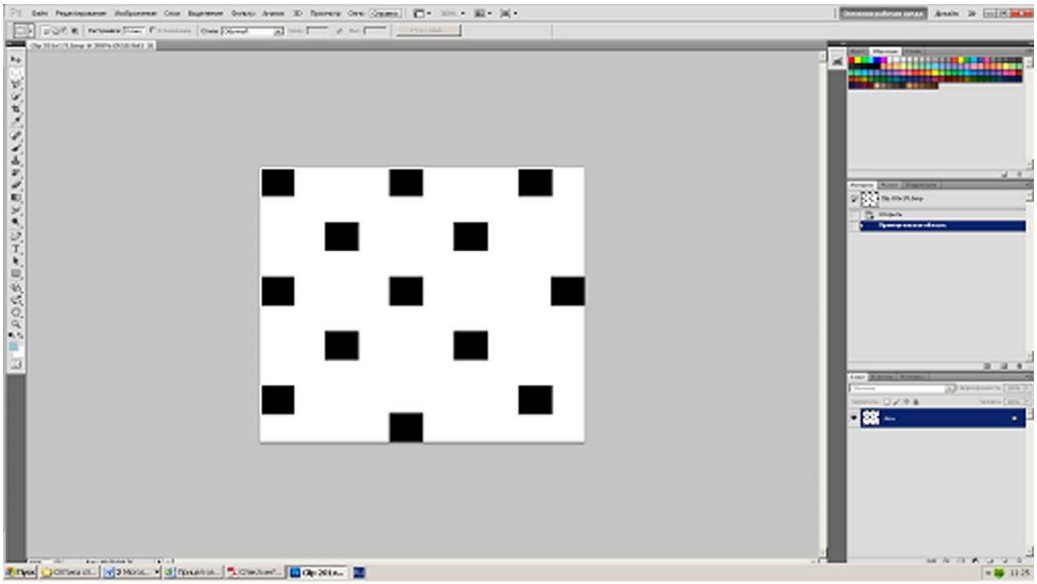


Рис. 7. Изображение рисунка таблицы Excel 10×10 в программе Adobe Fotoshop
имеет размер 201×171 пикселей, глубина цвета 8 бит/канал, режим «RGB»

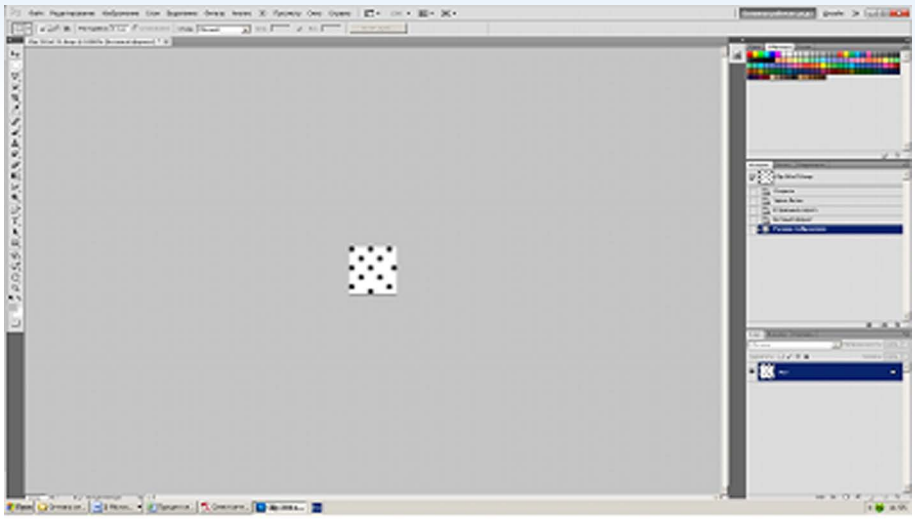


Рис. 8. Вид экрана после проведенных изменений параметров цифрового рисунка

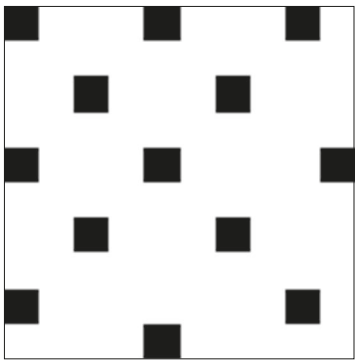


Рис. 9. Растянутое изображение рисунка из bmp-файла таблицы размером 10×10 пикселей

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0								0	
1										
2			0				0			
3										
4	0				0					0
5										
6			0				0			
7										
8	0								0	
9					0					

Рис. 10. Результат обработки моделированного рисунка

довательности чисел, адекватные реальным носителям ОФНФ.

Таким образом, предложенный методический подход позволяет в рабочей книге Excel формировать модели носителей ОФНФ с различной глубиной яркости.

Это позволяет провести статистические исследования без изготовления дорогостоящих реальных образцов ОФНФ и выработать требования к технологическим процессам по изготовлению физически неклонируемых образцов носителей с заданными геометрическими размерами, требуемыми размерами матрицы ПЗС, длины двоичных последовательностей и их статистическими параметрами, а также требования к параметрам распределения случайных факторов в носителе ОФНФ.

Литература

1. ГОСТ Р 54494-2011 Тара стеклянная. Дефекты стекла и изделий из него. Термины и определения.
2. ГОСТ 3522-81. Материалы оптические. Метод определения пузырности.
3. ГОСТ 3521-94. Стекло оптическое. Метод определения бессвильности.
4. Зверев В.А., Кривопустова Е.В., Точилина Т.В. Оптические материалы. Часть 2. Учебное пособие для конструкторов оптических систем и приборов. СПб: СПб НИУ ИТМО, 2013. 248 с.
5. Немилов С.В. Оптическое материаловедение: Оптические стекла. Учебное пособие, курс лекций. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. 175 с.
6. Ядловский А.Н. Цифровое фото. М.: АСТ: Мн.: Харвест, 2005. 304 с.
7. Франсон М. Оптика спеклов. М.: Мир, 1980. 171 с.
8. Рябухо В.П. Спекл–интерферометрия // Соросовский образовательный журнал, 2001. Т. 7. №5. С. 102-109.

УДК 541.65:547.225.6

ХИМИЧЕСКАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОМЕДНЕННЫХ ЛАВСАНОВЫХ НИТЕЙ

CHEMICAL METALLIZATION AND SURFACE MORPHOLOGY OF COPPER COVERED POLYESTER THREADSS

Владимир Петрович Ситников
ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(495)984-74-63
E-mail: sitnicov_vp@mail.ru

Пётр Федотович Ситников
кандидат технических наук, профессор
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(495)984-74-63
E-mail: sitnicov_pf@mail.ru

Наталия Иосифовна Пакуро
кандидат химических наук
старший научный сотрудник
Филиал АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»
Адрес: 103064, Москва,
ул. Воронцово поле, д. 10
Тел.: +7(495)917-22-42
E-mail: pakuro@cc.nifhi.ac.ru

Алан Канаматович Караев
доктор технических наук, профессор
главный научный сотрудник
Финансовый университет при Правительстве РФ
Адрес: 125993, Москва, Ленинградский пр-т, д. 49
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (903) 187-11-16 E-mail: akkaraev@fa.ru

Людмила Федоровна Рыбакова
кандидат химических наук
старший научный сотрудник
Филиал АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»
Адрес: 103064, Москва,
ул. Воронцово поле, д. 10
Тел.: +7(495)917-22-42
E-mail: rybakova@cc.nifhi.ac.ru

Борис Иосифович Нахманович
кандидат химических наук
старший научный сотрудник
Филиал АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»
Адрес: 103064, Москва,
ул. Воронцово поле, д. 10
Тел.: +7(495)917-22-42
E-mail: nahmanovitch@cc.nifhi.ac.ru

Аннотация

Показана возможность химической металлизации поверхности нитей полиэтилентерефталата (лавсана) в растворе с использованием в качестве восстановителя гидразин сульфата, в результате которой получен токопроводящий материал. Элементный состав и морфология поверхности омедненных волокон охарактеризованы методами РФА, РЭМ и РСМА. Показано, что поверхность металлизованных нитей, обработанных разными составами меднения, покрыта пленками меди толщиной порядка 4 мкм с хорошей адгезией. Покрытие является равномерным и бездефектным по всей длине. Электрическое сопротивление отрезков лавсана с медным покрытием составляет 0,4-0,9 ом/см.

Ключевые слова: лавсан, химическая металлизация, металлокомплексы, морфология поверхности.

Summary

The possibility of PET surface of chemical plating yarn (Dacron) in solution using a reducing agent as hydrazine sulfate shows, which is obtained as a result of a conductive material. The elemental composition and morphology of the surface coppered fibers were characterized by XRD, SEM and EPMA. It is shown that the metallized filaments surface treated with different compositions of copper plating, the copper films coated with about 4 micrometers thick with good adhesion. The coating is uniform and defect-free over the entire length. The electrical resistance of Dacron segments with a copper coating is 0.4-0.9 ohm / cm.

Keywords: polyester, chemical plating, metal complexes, surface morphology.

Введение

По мере неуклонного роста производства полимерных материалов, в частности, полиэтилентерефталата (лавсана, ПЭТФ) и расширения областей его использования непрерывно увеличивается применение различных покрытий для придания изделиям необходимых физико-химических свойств. Токопроводящие металлизованные нити лавсана могут явиться перспективными материалами для электроники, электротехнической и других областей современной техники. Они могут быть также использованы в качестве подслоя при гальванической металлизации для получения толстых медных покрытий высокого качества. Химическое меднение известно с конца 19 века и связано это с так называемой реакцией «медного зеркала». Первое медное зеркало было получено в 1857 году нагреванием окиси меди в оливковом масле. В последние годы химическое меднение стало распространенным методом металлизации диэлектриков (пластмасс, керамики). Особенно широко его используют при изготовлении печатных плат, для экранирования корпусов электронных приборов, появляются отдельные сообщения о металлизации тканных и нетканных материалов [1]. В ходе дальнейших поисков были предложены самые разные пары соединений меди и восстановителей. В частности, применялись комбинации щелочных растворов солей меди с такими восстановителями, как глюкоза, сахар, формальдегид, сегнетова соль, этиленгликоль, фенилгидразин, гидроксиламин и другие [2]. Из анализа литературных данных видно, что меднение диэлектриков достаточно ограничено.

Наиболее широко используемым восстановителем химического меднения является формальдегид. Достоинством метода является простота оборудования, доступность и дешевизна используемых реагентов. К недостаткам указанного метода следует отнести нестабильность растворов растворов формальдегида при хранении. Требуется применение стабилзирующих добавок и постоянный анализ используемого реактива для получения систем, отвечающих условиям однородности и устойчивости, что осложняет автоматизацию процесса. Отметим также, что перед металлизацией полимерных диэлектриков их подвергают активированию через стадию введения солей драгоценных металлов ($PdCl_2$ в присутствии $SnCl_2$ или $AgNO_3$) [3].

Исследование последних лет в области химической металлизации пластмасс показали, что применение формалина в качестве восстанавливающего агента может быть успешно заменено использованием гидразина и его производных Растворы для химического меднения с гидразином известны достаточно давно [4]. В основном в этих системах медь связана в аммиачный комплекс, который при температуре 60-90°С вступает во взаимодействие с гидразином. Реакция протекает согласно стехиометрическому уравнению:

$$2CuSO_4 + 6\ NH_4OH + N_2H_4 \cdot H_2SO_4 = 2Cu + 3(NH_4)_2SO_4 + 2N_2 + 3H_2O$$

Литературные данные показывают, что подбор составов и режимов обработки, как правило, носит эмпирический характер. Поэтому актуальной является задача выбора оптимальных составов рабочих растворов меднения и режимов обработки ими поверхности лавсановой нити. Кроме того, необходимо исследовать ряд подходов к изучению закономерностей и определению режима проведения процесса без использования солей драгоценных металлов.

Основной целью данной работы является выбор регламента для создания токопроводящего материала на основе ПЭТФ с медным покрытием и выявление условий протекания процесса восстановления солей меди с малым числом побочных реакций и изучение морфологии поверхности омедненных нитей.

Экспериментальная часть

Химическая металлизация лавсана

Процесс меднения проводили в реакторе, снабженном обратным холодильником, термометром, капельной воронкой, подводом для газов (аргона, азота). В некоторых случаях применялось перемешивание с помощью магнитной мешалки. В этом случае в реактор с растворами меднения помещали стакан с отверстиями на дне и небольшими ножками, в который был помещен образец лавсановой нити. Магнитик – перемешиватель находился в растворе под стаканом с образцом. Исходными веществами для проведения химического осаждения меди на лавсан были : ПЭТФ 980, текс. 220 и 93,5; соли двухвалентной меди (сульфат, хлорид, ацетат), гидроокись натрия, аммиак водный, гидразин сернокислый, глицерин, триэтиленгликоль и полиэтиленгликоли (ПЭГ 400, 600, 4000, 6000,). хлористый метилен, дихлорэтан, изопропиловый спирт, диметилформамид. Используемые реактивы соответствовали требованиям нормативно-технической документации марок «чда», «хч», и «осч». Реагенты, используемые для обезжиривания нитей (хлористый метилен, дихлорэтан, изопропиловый спирт, диметилформамид), очищали по методикам [5]. После очистки

они имели физико-химические характеристики, соответствующие стандартным.

Обезжиривание поверхности нитей.

Процесс осуществляли в вышеописанном реакторе без капельной воронки. Для обезжиривания нити применяли растворители, хорошо удаляющие загрязнения, но инертные по отношению к лавсану. Длина нити варьировалась от 10 до 50 см. Нити взвешивали и помещали в реактор, содержащий 30–50 мл растворителя. Процесс вели в течение 30–60 мин. После удаления растворителя с растворенными примесями нити промывали тем же чистым растворителем, затем ацетоном и высушивали.

Методика 1: нити лавсана были обработаны ультразвуком в водно – спиртовой среде (изопропиловый спирт/вода) в соотношении 1/1 в течение 20–40 мин с помощью диспергатора УЗДН-А. Затем их промывали спиртом, водой и ацетоном.

Методика 2: нити помещали в хлорсодержащие углеводороды (хлористый метилен, дихлорэтан, хлороформ) и выдерживали в растворителе в течение 30–45 мин при температурах от комнатной до температуры кипения растворителя. Растворитель сливали, нити промывали ацетоном и высушивали.

Методика 3: нить лавсана обрабатывали кипящим диметилформамидом, который удаляли горячим. Затем нить промывали кипящей водой и ацетоном для удаления остатков диметилформамида и высушивали.

Щелочная активация нитей лавсана.

При щелочной активации нитей изучали влияние концентраций щелочей, температуры и времени обработки. Предварительно определяли оптимальную концентрацию рабочего раствора щелочи (0.5–1 М). Нити лавсана выдерживали в водных растворах гидроокиси натрия с концентрацией 0.2–1.25 М при температурах 25–80°С в течение 20–60 мин. Затем нить промывали водой до pH 7 ацетоном и высушивали. В другой серии опытов нити лавсана обрабатывали водными растворами аммиака с разными концентрациями при различных температурах и времени обработки. Нити лавсана в щелочных растворах с разными концентрациями нагревали приблизительно со скоростью 3–5 град/мин в течение 20–25 мин до заданной температуры и кипятили в течение времени, указанного в *таблицах 1* и *2*.

Химическое меднение лавсана.

Нити лавсана после обезжиривания и активации обрабатывали водными стехиометрическими растворами реагентов, синтезируемыми непосредственно перед реакцией восстановления.

Таблица 1

Активация поверхности нитей лавсана раствором NH_4OH под действием ультразвука (интенсивность)

Температура, °С	Концентрация, %	Время, ч
22	5 – 6	24
60 – 65	5 – 6	5
60 – 65	12	3
60	24	1

Таблица 2

Активация поверхности нитей лавсана раствором NaOH

Температура, °С	Концентрация, моль/л	Время, мин
35	0.125	35
55 – 60	0.125	35
75 – 80	0.125	35
40	0.25	35
55-60	0.25	35
75 – 80	0.25	35
75 – 80	0.25	60 – 180
75 – 80	0.50	60 – 120
75 – 80	0.75	60 – 120
75 – 80	1.00	60
75 – 80	1.25	60

Так как частицы меди, получаемыми с использованием метода осаждения, как правило, агломерированы, это сказывается на свойствах получаемого омедненного материала. Для выявления условий, влияющих на морфологию и размеры наночастиц меди и их агломератов, были проведены несколько серий экспериментов.

Серия 1. К водным растворам солей меди (0.03–0.2 М) в виде медно-аммиачных комплексов при температуре 22-30°С добавляли триэтиленгликоль или полиэтиленгликоли (ПЭГ 400, 600, 4000, 6000). В полученные растворы помещали предварительно активированные нити лавсана и выдерживали их при комнатной температуре в течение 24 час или при температуре 60–65°С в течение 5 час. При этом нить приобретала синий цвет, который не изменялся при охлаждении. В полученную реакционную смесь при 45-50°С в течение 20–30 мин вводили гидразин сульфат (2 моля на моль Cu^{2+}) в растворе гидроокиси натрия (0.15–0.5 М). Синтезированная таким образом прекурсорная система была пригодна для получения металлизированных нитей лавсана при температуре 70–80° С в зависимости от применяемых стабилизаторов дисперсности.

Серия 2. Меднение проводили также, как в серии 1, при температуре 70–80°С, однако использовали смешанные комплексы меди, содер-

жащие в качестве лигандов Трилон Б и аммиак со значительным избытком этих комплексообразователей. Предварительно смесь растворов прогревали в течение 5–10 мин без использования стабилизаторов (ПЭГ) при температуре 40-50°. Перед прибавлением восстановителя вводили полиэтиленгликоли.

Серия 3. Меднение проводили из смеси водных растворов хлоридов или сульфатов меди (2+) в виде медно-аммиачных комплексов щелочным раствором гидразин сульфата при температуре 50-55°. В отличие от экспериментов серий 1 и 2, процесс осуществляли после выдерживания лавсановых нитей в растворе восстановителя при комнатной температуре в течение 30–40 мин. После смешения реагентов процесс протекал очень медленно. Изменение цвета раствора и нити было еле заметно с постепенным переходом от зелено-голубого до желтоватого и снова переходящего в зелено-голубой (45–60 мин).

Во всех трех сериях экспериментов растворы смешивали постепенно при перемешивании покачиванием. После завершения меднения реакционные растворы охлаждали до комнатной температуры, помещали в охладительную смесь и выдерживали в течение 24 ч при температуре 7–8°С. На следующий день нити промывали холодной дистиллированной водой до отрицательной реакции на ионы $[SO_4]^{-2}$ (проба по реакции с $BaCl_2$) и/ или на ионы Cl (проба по реакции с $AgNO_3$) и высушивали при комнатной температуре на воздухе. Исключение составляли опыты серии 2, где на следующий день нити промывали теплой водой. Высушенные образцы анализировали методом рентгенофазового анализа (РФА).

Во многих случаях в самом начале процесса меднения наблюдалось восстановление меди в объеме раствора. Стенки реактора покрывались слоем медного зеркала или выделялся порошок меди.

Анализ образцов

РФА образцов нитей проводили с использованием CuK_α–излучения на дифрактометре ДРОН-3. Дифрактограммы получали в режиме пошагового сканирования в интервале углов 10–70°.

Определение элементного состава поверхности волокон до и после обработки проводили методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА). С этой целью использовали аналитическую приставку к растровому электронному микроскопу: энергодисперсионный микроанализатор INCA Penta FET-x3 фирмы OXFORD INSTRUMENTS (Великобритания) и исследовали области с латеральными размерами от 0.3×0.3 до 100×100 мкм^2. Анализатор был оборудован кремний-литиевым детектором с азотным охлаждением, разрешение по углероду составляло 129 эВ. Калибровку детектора осуществляли по излучению CoK_α от эталонного металлического кобальта. Измерения элементного состава проводили при энергии электронного зонда 15 кэВ, при этом глубина получения информации λ оценивалась с использованием программы «The Depth of X-ray Production». Так, в случае исходных волокон ПЭТФ λ составляла примерно 3.1 мкм, для покрытых медью – 0.6 мкм.

Морфологию поверхности волокон ПЭТФ исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ). Для получения изображений использовали сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения с автоэмиссионным катодом JSM 7500F фирмы JEOL (Япония). Изображения получали в режиме низкоэнергетических вторичных электронов, поскольку этот режим обеспечивал наиболее высокое разрешение (при энергии первичного пучка 5 кэВ разрешение составляло 1,5 нм). Для исключения эффектов зарядки, а также разрушения объектов (полимерных нитей) под воздействием электронного зонда применяли следующие методические подходы. РЭМ-исследования проводили при низком токе электронного зонда (3×10^{-11} А), что обеспечивалось наличием автоэмиссионного катода с холодной полевой эмиссией. На поверхность объектов методом магнетронного распыления наносили металлическую пленку платины толщиной порядка 5 нм. Напыление тонкой пленки платины проводили с двумя целями: исключить разрушение полимерных волокон под действием электронного зонда, а также их зарядку, возникающую в диэлектрике под действием потока первичных электронов.

Результаты и их обсуждение

Важным показателем, определяющим применение металлизованных нитей лавсана, является получение прочного покрытия. Учитывая, что ПЭТФ устойчив к химическим воздействиям, но легко подвергается кислотно-щелочному гидролизу при повышенных температурах, для получения шероховатой поверхности нити были подвергнуты кипячению в растворе щелочей при температуре 60–80°С. Этот метод был выбран в связи с тем, что процесс металлизации в дальнейшем проводили в щелочных растворах. В упомянутых методах при проводимом щелочном гидролизе происходит расщепление

полимерных цепей с образованием по их концам групп -OH и COOH-. Следует обратить внимание, что концентрированные щелочные растворы для работы не пригодны т.к. они разрушают нити. Наиболее оптимальной оказалась система, содержащая 3–5% водный раствор NaOH при температуре 55–60°C в течение 35 мин. Для улучшения активирующей способности растворов в их состав вводили изопропиловый спирт или триэтиленгликоль. В настоящей работе активирование поверхности нитей лавсана введением солей драгоценных металлов не проводили.

Металлизация активированных лавсановых нитей

Данные РФА для образцов, полученных в сериях 1 и 3, демонстрируют однофазность полученного медного покрытия лавсановых нитей (*рисунок 1*). Дополнительных пиков, связанных с примесными фазами, не обнаружено в пределах точности данного метода. Рефлексы 111 и 200 указывают на кубическую структуру элементарной ячейки металлической меди [8].

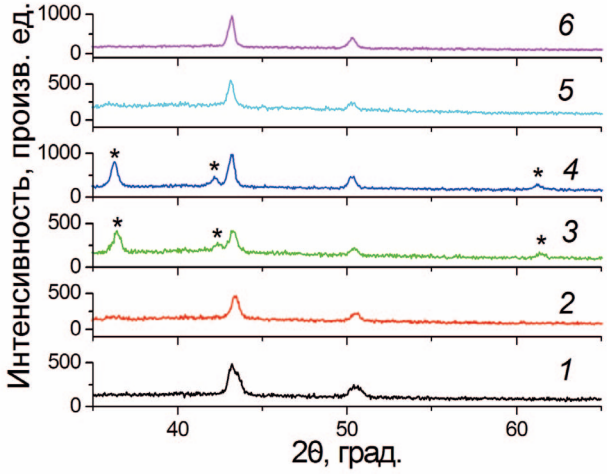


Рис. 1. Фрагменты дифрактограмм образцов, полученных восстановлением $CuSO_4$ (0.03M) гидразин сульфатом в щелочной среде. Серия 1: образцы, полученные при введении в качестве стабилизатора дисперсности триэтиленгликоля (1) и ПЭГ-600 (2). Серия 2: растворы содержали ПЭГ-600, Трилон Б 0.04M (3) и 0.08M (4). Нити отмывали теплой водой (30–35°C). Серия 3: перед началом реакции образцы выдерживали в щелочном растворе гидразин сульфата, затем добавляли компоненты системы, как в Серии 1, но в в качестве стабилизатора дисперсности и пользовали ПЭГ-4000 (5) и ПЭГ-6000 (6).

По окончании реакции металлизированные образцы выдерживали в том же растворе в течение 24 ч при температуре 7–8°C, а затем отмывали холодной водой. Электрическое сопротивление металлизованных нитей составляло 0.4–0.9 ом/см. Исключение составили опыты серии 2, в которых на следующий день нити были промыты теплой водой. При этом наблюдалось потемнение нити и отсутствие у них электропроводности. В спектрах РФА отмечали появление пиков, отвечающих фазам CuO и Cu_2O (*рисунок 1*, дифрактограммы 3 и 4) формирования кристаллической структуры медного покрытия.

Во всех трех сериях экспериментов катионы солей меди связана в аммиачный комплекс, который при температуре 60-80° C взаимодействует с гидразином. Гидразин может служить не только восстановителем, но при достаточно высоких концентрациях одновременно является лигандом ионов меди. Предполагается [2], что восстановление солей меди протекает ступенчато:

$$2Cu(N_2H_4)_y^{+} + ½\ N_2H_4 + 2OH^- \xrightarrow{\text{быстро}} 2Cu(N_2H_4)_y^{+} + 2(x-y)\ N_2H_4 + ½\ N_2 + 2H_2O$$

$$2Cu(N_2H_4)_y^{+} + ½\ N_2H_4 + 2OH^- \xrightarrow{\text{медленно}} 2Cu + 2(y)\ N_2H_4 + ½\ N_2 + 2H_2O$$

Отметим, что использовались растворы меднения только в ходе одного цикла работы. Показано, что большая часть компонентов раствора полезно расходуется. За течением процесса следили по изменению окраски реакционной смеси. Предположительно такое изменение связано с образованием комплексов меди различной валентности.

Если по окончании реакции омедненные нити лавсана сразу отмывали водой, наблюдалось потемнение медного покрытия. По данным РФА, в этих случаях металлизованный лавсан кроме меди содержал значительное количество ее окислов (*рисунок 2*).

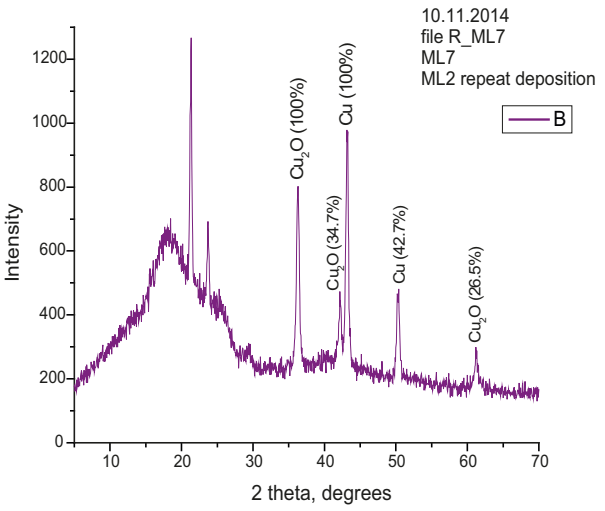
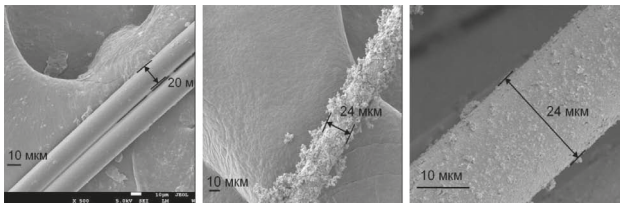


Рис. 2. Дифрактограмма образца омедненного лавсана (серия 3) после отмывания водой сразу по окончании реакции

Исследование морфологии и химического состава поверхности волокон

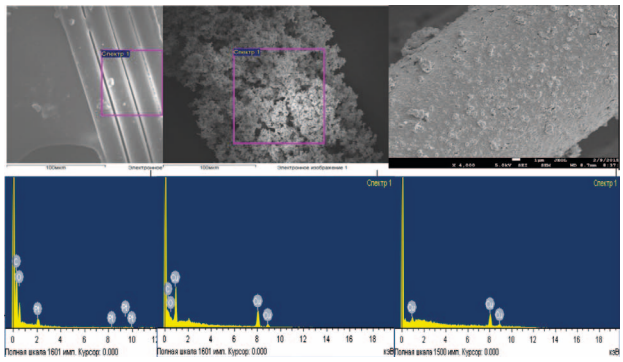
На *рисунке 3* представлены РЭМ изображения исходных и омедненных волокон при малых увеличениях. Сравнительный анализ полученных результатов показал, что размер поперечного сечения (диаметр) волокон после обработки меняется: для исходного волокна диаметр в среднем составляет 20 мкм, в то время как для металлизованных примерно 24 мкм, причем это относится к волокнам, синтезированным как в серии 1, так и в серии 3.



а) б) в)

Рис. 3. РЭМ изображения волокон лавсана: исходные (а), металлизованные в сериях 1 (б) и 3 (в)

Метод РСМА показывает, что элементный состав поверхности исходных и метализованных волокон не одинаков. Как видно из спектров характеристического рентгеновского излучения, для исходных волокон наблюдаются пики углерода и кислорода (*рисунок 4а*). Для омедненных волокон, полученных в сериях 1 и 3 наряду с пиком углерода появляются интенсивные характеристические пики меди (*рисунок 4б, в*). На поверхности волокон из серии 1 имеет место сравнительно малое количество кислорода, порядка 2.34 весовых процентов. По всей видимости это связано с наличием незначительного количества микротрещин на поверхности волокон, обработанных таким способом. Данные количественного РСМА анализа представлены в *таблице 3*, откуда следует, что поверхность метализованных волокон, полученных в серии 3 на 100% состоит из меди.



а) б) в)

Рис. 4. Анализируемые участки и соответствующие спектры характеристического рентгеновского излучения для исходных и металлизованных волокон: исходные (а), волокна серии 1 (б) и серии 3 (в)

По данным РЭМ и РСМА поверхность обработанных волокон покрыта пленкой меди толщиной порядка 3-4 мкм, что находится в согласии с данными РФА.

Таблица 3

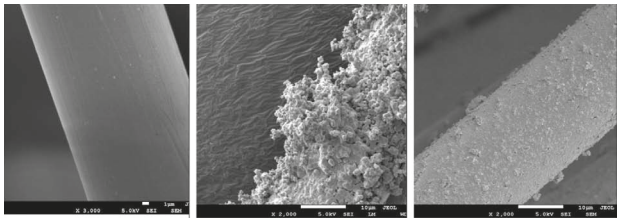
Элементный состав волокон по данным количественного рентгеноспектрального микроанализа

Образец	Концентрация элементов, весовые %		
	C	O	Cu
Исходное волокно	66.30	33.70	0.00
Волокно серии 1	0.00	2.34	97.66
Волокно серии 3	0.00	0.00	100

Большие увеличения выявляют морфологию медных покрытий, которая кардинально отличается от таковой для исходных волокон (*рисунок 5*). Если исходные волокна имеют относительно однородную, гладкую поверхность (*рисунок 5а*), то поверхность омедненных волокон является чешуйчатой. На микро-уровне покрытие образца серии 1 является более рыхлым, чем образца серии 3. В покрытии образца серии 1 (*рисунок 6а*) имеются микротрещины шириной порядка 0.1 мкм и длиной в пределах 1мкм.

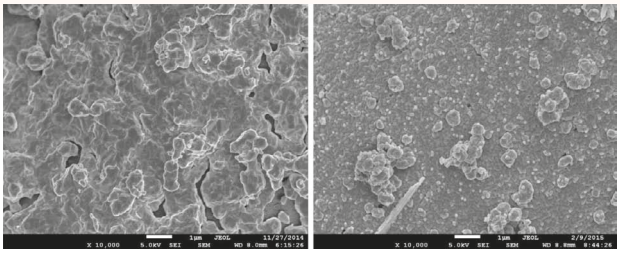
При дальнейшем увеличении видно, что чешуйки, образующие покрытие образца серии 3 (*рисунок 6б*), плотно примыкают друг к другу, Микротрещины отсутствуют, покрытие является равномерным и бездефектным по всей длине волокна.

В случае больших увеличений (×35000–50000) для обоих образцов обнаруживается ха-



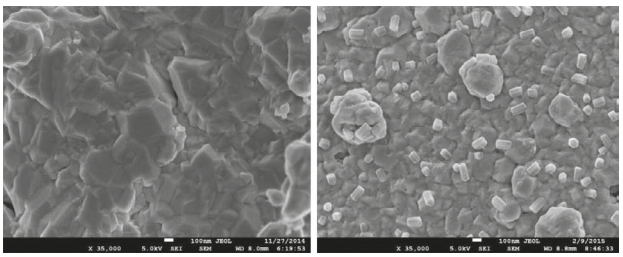
а) б) в)

Рис. 5. РЭМ изображения поверхности волокон: исходные (а), волокна серии 1 (б) и серии 3 (в)



а) б)

Рис. 6. РЭМ изображения поверхности медных покрытий волокон серии 1(а) и серии 3 (б)



а) б)

Рис. 7. РЭМ изображения поверхности медных покрытий волокна серии 1 (а) и серии 3 (б)

рактерная наноструктура, состоящая из кристаллитов с кубическими гранями, что находится в согласии с данными РФА, приведенными выше. Это особенно видно из *рисунка 7а* (образец серии 1) Размеры кристаллитов находятся в пределах от 100 до 500 нм, причем кристаллиты плотно срастаются друг с другом, образуя однородное покрытие. Для образца серии 1 оно является сплошным на нано-масштабе (*рисунок 7а*), а для образца серии 3 как на нано-, так и на микро-масштабе (*рисунки 6б и 7б*).

Заключение

Проведены исследования химической металлизации нитей лавсана в растворе с использованием в качестве восстановителя гидразин сульфата. Для анализа влияния условий восстановления на морфологию и размеры частиц меди и их агломератов были проведены эксперименты, включающие предварительную щелочную активацию поверхности лавсана с последующей металлизацией, осуществляемую из растворов, содержащих соли меди в щелочной среде в присутствии комплексообразователей и стабилизаторов дисперсности. Элементный состав и морфология поверхности металлизованного лавсана охарактеризована РФА, РЭМ, и РСМА.

Показано, что разработанный метод дает возможность получить на нитях лавсана электропроводные медные покрытия, сплошные и однородные как на нано-, так и на микро-масштабе.

Литература

1. Патент RU 2363790. Способ металлизации дисперсных тканных и нетканых материалов / ООО «Гальвика» (RU). Смирнова Н.В. // Б.И. 2009. № 22.

2. Шалкаускас М.И., Вашкялис А.Ю. Химическая металлизация пластмасс. Л.: Химия, 1985. 144 с.

3. Розовский Г.И., Вашкялис А.Ю. Химическое меднение. Вильнюс, 1966. 60 с.

4. Гольдберг М.М. Корюкин А.В. Кондрашов Э.К. Покрытия для полимерных материалов. М.: Химия, 1980. 288 с.

5. Вайсберг А., Проскауэр Э., Риддик Дж., Тупс Э. Органические растворители. Физические свойства и методы очистки. М.: ИЛ, 1958. 1487 с.

6. Jing-Chin Liao, Zhen-Kai Kao // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2012. V. 4. №10. P. 5109-5113.

7. Tho S. Y., Ibrahim K. // Journal Teknolog. 2012. V. 59. Suppl. 3. P. 5.

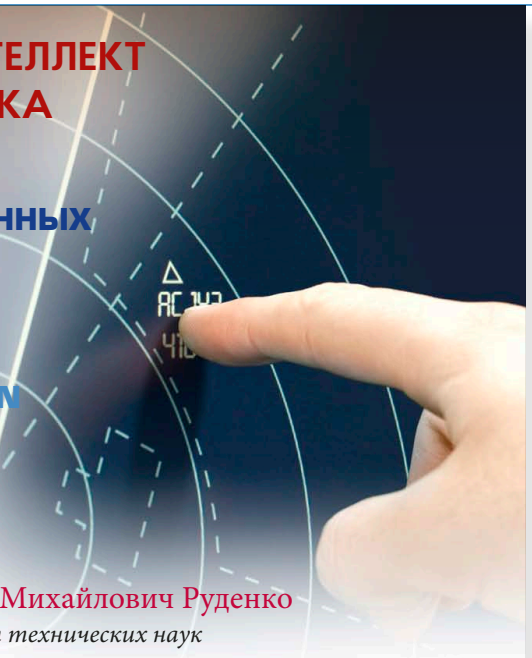
8. Swanson, Tatge. Natl. Bur. Stand. (U.S.), 1953. 539. I. 15.

9. Asbrink S., Lorrby L. // J. Acta Crystallogr. Sec. B 1970., V. 26. P. 8.

10. Restori R., Schwarzenbach D. // J. Acta Crystallogr. Sec. B: Structural Science. 1986. V. 42. P. 201.

11. Honma H., Mizuchima S. // J. Metal. Finish. Soc. Japan. 1983 V. 34. № 6. P. 290-297.

12. Свиридов В.В. Воробьёва Т.Н., Гаевская Т.В., Степанова Л.И. Химическое осаждение металлов из водных растворов / Под ред. Свиридова В.В. Минск: Изд-во “Университетское”, 1987. 270 с.



УДК 004.896

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПО ВЫБОРУ ЗАМКНУТЫХ МАРШРУТОВ НА ГРАФАХ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

THE METHOD OF SOLVING OPTIMIZATION PROBLEMS FOR THE SELECTION OF CLOSED ROUTES ON GRAPHS BASED ON THE GENETIC ALGORITHM

Наталья Владимировна Аллилуева
ведущий специалист
АО «НПП "Радар ММС"»
Адрес: 197375, Санкт-Петербург,
ул. Новосельковская, д. 37
Тел.: +7(968)548-28-59

Эдуард Михайлович Руденко
кандидат технических наук
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(916)851-80-55

Аннотация

В статье рассматривается методика расчета оптимального маршрута БПЛА на взвешенном графе реперных точек с применением генетического алгоритма. Математическая модель задачи маршрутизации основана на построении целевой функции в виде функции одной или нескольких переменных. Аргумент целевой функции представляет собой последовательность номеров реперных точек маршрута. Статья отражает взаимосвязь прикладной задачи мониторинга объектов на местности с математической задачей оптимизации на графах средствами генетического алгоритма.

Ключевые слова: взвешенный граф, реперные точки на местности, планирование и оптимизация маршрута на графе, метод генетического алгоритма, хромосома, ген, целевая функция.

Summary

In the article the technique of calculation of the optimum route of the UAV on a weighted graph with reference points by using a genetic algorithm. A mathematical model of the routing problem based on the construction of the objective function as a function of one or more variables. The argument of the objective function represents the sequence number of the reference points of the route. The article reflects the relationship of applied problems of monitoring objects on the ground with a mathematical problem of optimization on graphs by means of genetic algorithm.

Keywords: weighted graph, reference points on the terrain, planning and optimization of the route on the graph, method of the genetic algorithm, chromosome, gene, objective function.

Актуальность выбранного направления исследования заключается в нарастающей тенденции применения беспилотных авиационных систем, как в интересах Министерства обороны, так и в интересах народного хозяйства. Тенденция к созданию автономных беспилотных авиационных систем приводит к поиску метода выбора оптимальных маршрутов полета беспилотного летательного аппарата (БПЛА) при различных ограничениях: по дальности, времени, расходу бортовой энергии, обходу опасных зон и преград, мониторингу протяженных объектов на местности, дорог, линий электроснабжения, трубопроводов, ограждения охраняемых объектов и т.д.

В самой общей постановке это приводит к математической задаче оптимизации на графе с вершинами в заданных (реперных) точках на

местности и с ребрами, соединяющие эти вершины в связный граф. При этом предполагается, что маршрут является замкнутым и проходящим через все ребра. Каждому ребру графа приписывается определенное число, называемое весом. В теории графов такие графы называются взвешенными. Каждый граф можно считать взвешенным, если его ребрам присвоить вес равный 1. Для задач оптимизации на графе реперных точек на местности ребрам маршрута будет присваиваться вес, равный его протяженности. Для получения на графе всего множества замкнутых маршрутов с минимальным числом ребер достаточно ребрам приписать вес равный 1 и решить задачу нахождения замкнутых маршрутов минимального веса. Следует отметить, что любой замкнутый маршрут можно разрезать в любой промежуточной точке и получит опять замкнутый маршрут с другой точкой начала и окончания маршрута и с тем же значением протяженности.

Целью исследования является разработка методики расчета оптимального замкнутого маршрута на связном взвешенном графе реперных точек на местности.

Исследования по выбору оптимального маршрута на графах имеют обширную литературу, среди которой можно отметить [1, 2]. Известны алгоритмы нахождения кратчайшего пути между вершинами графа Флойда-Уоршелла, Диница, Дейкстры, но они справедливы для разомкнутых маршрутов на графах, а для замкнутого маршрута они дают тривиальный нуль.

При этом следует отметить, что из условия замкнутости маршрута вытекает:

1) отдельные ребра могут встретиться в маршруте по несколько раз;

2) отдельные вершины также могут встретиться в маршруте по несколько раз;

3) количество маршрутов начинающихся и оканчивающихся в фиксированной точке может быть также несколько, отличающиеся порядком следования ребер и их количеством.

Это следует из рассмотрения замкнутых маршрутов на простых графах: перекрестка дорог, квадрата с диагоналями (закрытое письмо, открытое письмо и т.д.).

Такая постановка задачи отличается от традиционной задачи коммивояжера обхода каждого пункта назначения по одному разу.

В связи с этим, возникает необходимость разработки методов, алгоритмов и программ поиска множества замкнутых маршрутов на связном графе и выбора среди них оптимальных маршрутов. Это позволит спланировать маршрут БПЛА и рационально расходовать имеющиеся бортовые ресурсы: топливо, заряд батареи, сэкономить время и уменьшить протяженность полета при облете графа точек на местности.

Поэтому необходимо:

– проанализировать существующие подходы к планированию маршрута полета;

– разработать методику расчета оптимального замкнутого маршрута на графе;

– описать структуру программного обеспечения БПЛА по расчету оптимальных маршрутов.

При анализе существующих подходов к планированию маршрута полета были рассмотрены методы определения оптимальных маршрутов на различных графах. Был сделан вывод, что эти задачи относятся к разделу комбинаторики дискретной математики. Из методов решения подобных задач были рассмотрены, такие как полный перебор, жадные и генетические алгоритмы [3]. Но метод перебора может занять много времени, жадные алгоритмы сходятся к минимуму только на графах типа матроиды.

Поэтому был сделан вывод, что в качестве основного метода нахождения оптимальных замкнутых маршрутов на графах может быть использован метод генетического алгоритма. Этот метод осуществляет целенаправленный поиск минимума у функций произвольной природы: разрывных, непрерывных, дифференцируемых и т.п. Генетические алгоритмы (ГА) – это процедуры, основанные на механизмах естественного отбора, наследования и целенаправленного поиска. В них используется эволюционный принцип выживания наиболее приспособленных особей. Они отличаются от традиционных методов оптимизации несколькими базовыми элементами.

В частности, ГА:

1) обрабатывают не значения параметров самой задачи, а их закодированную форму;

2) осуществляют поиск решения исходя не из единственной точки, а из их некоторой популяции;

3) используют только целевую функцию, а не ее производные либо иную дополнительную информацию;

4) применяют вероятностные, а не детерминированные правила выбора.

Проведение вычислительного эксперимента на основе программного пакета Matlab с использованием модуля «Genetic Algorithm Tool» по применению генетического алгоритма в расчете оптимального маршрута проводился для различных графов.

Если рассматривать применение генетического алгоритма для решения задач по выбору замкнутых маршрутов на графе, задаваемого пе-

ресечением дорог, например, перекрестка, то маршрут полета БПЛА можно задать последовательностью точек его вершин (*рисунок 1*).

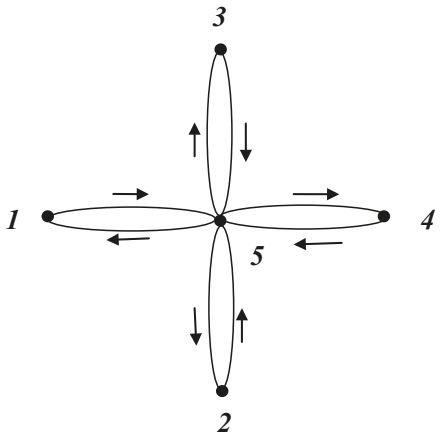


Рис. 1. Граф перекресток дорог

Предполагается при этом, что БПЛА при облете перекрестка двигается постоянно над дорогами. Это означает, что допускаются маршруты только по ребрам графа. Например, маршрут m_1=(1,5,3,5,2,5,4,5,1) проходит по графу, а маршрут m_2=(1,3,2,4,1) не проходит, так как ни одно из ребер не принадлежит графу. Задача определения оптимального маршрута в этом примере заключается в облете графа «перекресток» (рисунок 1) проходя по всем его ребрам с возвратом в исходную вершину.

Важное значение для применения ГА является задание целевой функции. Для ее определения номера вершин графа кодируются двоичным кодом. В терминах теории ГА эти коды представляются собой гены, а маршруты, набранные из них, хромосомами.

Для кодирования 5 точек «перекрестка» требуется три бита, а тремя двоичными битами можно закодировать 2 = 8 точек. Поэтому точки с номерами 0, 6 и 7 не принадлежат множеству вершин графа. Основные точки маршрута имеют следующие двоичные коды: 1=001; 2=010; 3=011; 4=100; 5=101.

Точки: 0=000, 6=110 и 7=111 не являются вершинами графа, но при применении ГА эти наборы могут быть получены при выполнении операций кроссовера, мутации и инверсии.

Целевая функция задается как пройденное расстояние по маршруту. Запрещенные для облета графа маршруты с ребрами, не принадлежащими графу «перекресток», наказываются штрафами.

Целевая функция задается на последовательности номеров вершин, которые трактуются как «маршруты». Среди них могут встретиться и маршруты с недопустимыми для графа ребрами и вершинами.

Так, например, для маршрута **m**=(**0**,5,3,4,3,**7**,3,2,6) после перевода номеров вершин в двоичные коды получаем так называемую хромосому:

ch=(**000** 101 011 100 011 **111** 011 010 **110**).

Этому двоичному набору соответствует двоичное число, которое при переводе в десятичное дает целое число:

$$y(\mathbf{ch}) = 0 + 2 + 2^2 + 0 + 2^4 + 0 + 2^6 + 2^7 + 0 + 2^9 + 2^{10} + 2^{11} + 2^{12} + 2^{13} + 0 + 0 + 0 + 2^{17} + 2^{18} + 2^{19} + 0 + 2^{21} + 0 + 2^{23} = 11419350.$$

В частности «маршруту» (7,7,7,7,7,7,7,7,7) отвечает двоичное число (111 111 111 111 111 111 111 111 111), а при переводе его в десятичное получается наибольшее целое число

$$S = 1 + 2 + 2^2 + 2^3 + 2^4 + \ldots + 2^{23} + 2^{24} + 2^{25} + 2^{26} = 2^{27} - 1 = 134217728512 - 1 = 134217728511$$

кодируемое набором из 27 единиц.

Отсюда получаем число x из отрезка [0, 1],

$$x = \frac{11419350}{134217728511} = 8{,}508079 \cdot 10^{-5},$$

соответствующее маршруту **m** = (**0**,5,3,4,3,**7**,3,2,6).

Можно проверить, что числу x=8,508079·10^{-5} действительно соответствует маршрут **m(x)**=(0,5,3,4,3,7,3,2,6). Умножим это число на 134217728511. Получим при округлении до целого число

$$y = 9{,}17986 \cdot 10^{-5} \cdot 134217728511 = 11419350.$$

Это число переведем в двоичное

$$12321006 = 0\cdot2^{26} + 0\cdot2^{25} + 0\cdot2^{24} + 1\cdot2^{23} + 0\cdot2^{22} + 1\cdot2^{21} + 0\cdot2^{20} + 1\cdot2^{19} + 1\cdot2^{18} + 1\cdot2^{17} + 0\cdot2^{16} + 0\cdot2^{15} + 0\cdot2^{14} + 1\cdot2^{13} + 1\cdot2^{12} + 1\cdot2^{11} + 1\cdot2^{10} + 1\cdot2^{9} + 0\cdot2^{8} + 1\cdot2^{7} + 1\cdot2^{6} + 0\cdot2^{5} + 1\cdot2^{4} + 0\cdot2^{3} + 1\cdot2^{2} + 1\cdot2 + 0\cdot2^{0} =$$

= (000 101 011 100 011 111 011 010 110) = **ch.**

Если этот набор разбить по трем битам, которые называются генами, **ch** = (**ch**$_1$, **ch**$_2$, **ch**$_3$, **ch**$_4$, **ch**$_5$, **ch**$_6$, **ch**$_7$, **ch**$_8$, **ch**$_9$)

и перевести эти тройки в целые числа, то получим набор чисел

m(x) = (0,5,3,4,3,7,4,2,6),

который и определяет маршрут.

Здесь вскрывается дуализм функций одного переменного и функций нескольких переменных: целевая функция от глобального переменного **ch** является функцией одного переменного, а от локальных переменных (**ch**$_i$, i=1…n) является функцией нескольких переменных. Известна теорема А.Н. Колмогорова [4] о представлении непрерывной функции нескольких переменных суперпозицией непрерывных функций одного переменного. Здесь для дискретных функций

справедливо и обратное утверждение, функция многих переменных можно представить как функцию одного переменного. Теорема А.Н. Колмогорова последнее время все чаще встречается в литературе посвященной искусственному интеллекту, в частности, нейронным сетям. Не последнюю роль она играет, как показывает дуализм представления целевой функции, и в генетическом алгоритме.

Таким образом, каждому маршруту **m** будет соответствовать вещественное десятичное число ***x*** из отрезка [0, 1], и наоборот, каждому ***x*** из отрезка [0,1] соответствует некоторый маршрут **m**. Это соответствие является взаимно однозначным.

Перевод двоичного числа **ch** в десятичное ***x*** позволяет определить целевую функцию на множестве вещественных чисел **f(*x*) = f(ch) = f(m).**

Целевая функция на маршруте
m(x) = (**0**,5,3,4,3,**7**,4,2,**6**) задается формулой:

f(m) = f(ch) = c + *a* + *a* + *a* + *c* + c + *a* + c,

где: ***a*** – плечо перекрестка, ***c*** – штраф (c >> a) за перелет в точки 0, 6 и 7. Для задач планирования замкнутых маршрутов можно считать, что $a=1$. Это позволяет запрограммировать целевую функцию, используя операторы цикла и логического перехода. Ниже приведен фрагмент программы:

```
for k=0:7;%цикл по перебору всех генов ch_k в хромосоме ch
A=[m(3*k+1) m(3*k+2) m(3*k+3)];%три бита в k-ом гене ch_k B=[m(3*k+4) m(3*k+5) m(3*k+6)];%три бита в k+1-ом гене ch_k+1
A==B';%сравнение соседних генов (вершин графа)
m1=eval('A==B');%вектор сравнения соседних генов (вершин)
%1 – соответствующие биты в генах совпали,0 – не совпали
m2(k+1)=m1(1)*m1(2)*m1(3);%результат совпадения:
%1 – биты совпали (соседние вершины в ребре равны.Это петля)
%0 – хотя бы один бит не совпал (вершины не равны)
  if m2(k+1);
    zf(k+1)=c;%наложение штрафа за петлю в вершине
    zelf=zf(k+1)+zelf;%добавление штрафа к целевой %функции
    else
    zf(k+1)=a;%добавление веса ребра к целевой функции
    zelf=zf(k+1)+zelf;
    end
 end
```

Методика расчета целевой функции основана на штрафовании ребер, не принадлежащих графу, но которые могут быть сгенерированы ГА и включает в себя следующие пункты:

1. Порядок следования вершин в обозначении ребер не играет роли, так как рассматривается не ориентированный граф. То есть ребра (1,2) и (2,1) это есть одно и то же ребро.

2. Выделяется множество ребер, которые являются допустимыми, то есть входят в состав графа. Для графа «перекресток» это ребра (1,5), (2,5), (3,5),(4,5). Этим ребрам присваивается вес $a > 0$.

3. Определяется множество недопустимых ребер и петель. Для графа «перекресток» это ребра (1,2), (1,3), (1,4), (2,3), (2,4), (3,4) и петли (1,1), (2,2), (3,3), (4,4). Если появляются эти ребра или петли, то им присваивается штрафное значение $c >> a$.

4. Штрафуются ребра, соединяющие граф с изолированными вершинами. В рассматриваемом примере это ребра с вершинами 0, 6 и 7, которые могут появиться при операциях скрещивания (кроссовер), мутации и инверсии над хромосомами в ГА.

5. Присвоение весов a или c организуется при последовательном перебор ребер в цикле, как это показано во фрагменте программы.

На *рисунке 2* показан график целевой функции **f(*x*)** запрограммированной средствами пакета Matlab. Код программы имеет цикл и логические выводы. Причем логические условия в программе встречаются часто, так как приходится накладывать штрафы на появление ребер, не входящие в граф.

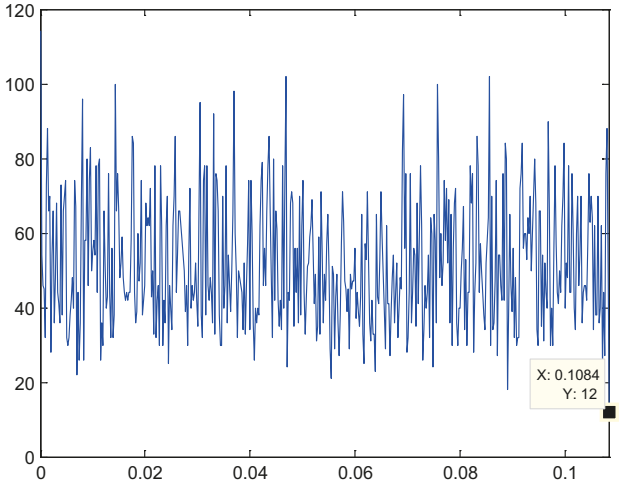


Рис. 2. График целевой функции

Вид целевой функции, приведенный на графике, показывает, что:

Таблица 1

Результаты расчета замкнутых маршрутов на графе «перекресток»

№ п/п	Хромосома	Маршрут
1	(101 100 101 011 101 010 101 001 101)	(5,4,5,3,5,2,5,1,5)
2	(101 010 101 011 101 100 101 001 101)	(5,2,5,3,5,4,5,1,5)
3	(011 101 001 101 010 101 100 101 011)	(3,5,1,5,2,5,4,5,3)
4	(100 101 010 101 001 101 011 101 100)	(4,5,2,5,1,5,3,5,4)
5	(010 101 011 101 100 101 011 101 010)	(2,5,3,5,4,5,3,5,2)

– функция имеет множество локальных минимумов;

– характер функции разрывный;

– задача минимизации относится к задачам дискретной математики;

– для поиска минимума подходит метод ГА.

Применение ГА показало, что хотя данная задача имеет 48 оптимальных решений (24 маршрута начинается с крайних вершин 1, 2, 3, 4 и 24 с центральной точки 5), но при подсчете в 10 вариантах были выявлены только 5 маршрутов (*таблица 1*).

Выводы:

– ГА сходится к минимуму **minf(*x*)=8** (считается, что $a=1$) не всегда;

– алгоритм расчета минимума целевой функции **f(*x*)** одного вещественного переменного из диапазона $0 \le x \le 1$ из-за большой длины хромосомы **ch(*x*)** состоящей из 27 нулей и единиц (битов) не успевает достигнуть минимума равного 8, так как процесс сходимости останавливается из-за вырождения популяции;

– процессу сходимости мешает неопределенность в выборе начальной (она же и конечная) точки маршрута, а также расстановка центральной вершины в маршруте, которая в оптимальном маршруте повторяется через один шаг. В *таблице* три маршрута начинаются с граничных точек графа, два маршрута с центра перекрестка.

Если учесть, что аргумент целевой функции **f(*x*)** меняется на множестве из отрезка [0, 1] и принимает 134217728511 значений, а оптимальных маршрутов 48, то вероятность генерации оптимального маршрута равна

$$48/134217728511=3{,}58\cdot10^{-10},$$

т.е. ничтожно мала. При увеличении числа поколений и числа особей в популяции можно увеличить вероятность нахождения оптимального маршрута, но это увеличит и время вычислений.

Одно из направлений увеличения вероятности сходимости ГА к оптимальному маршруту является распараллеливание процесса вычислений за счет перехода от функции **f(*x*)** одного (глобального) переменного $x=ch$ к функции нескольких (локальных) переменных:

$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9) = (ch_1, ch_2, ch_3, ch_4, ch_5, ch_6, ch_7, ch_8, ch_9)$,

где каждое $x_i = ch_i$ является переменной величиной гена, которая принимает значения во множестве вершин графа

$$\{1,2,3,4,5\} = \{001,010,011,100,110\}.$$

Поэтому целевую функцию **f(*x*)** можно считать также функцией нескольких переменных:

$f(x) = f(ch) = f(ch_1, ch_2, ch_3, ch_4, ch_5, ch_6, ch_7, ch_8, ch_9) = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$.

Для облегчения работы ГА поиск оптимальных маршрутов можно ограничиться маршрутами, начинающимися и заканчивающимися фиксированной вершине, например, с номером $1=x_1=x_9$ и считать, что $x_2=x_4=x_6=x_8=5$. Это значительно сократит число неизвестных до трех (x_3, x_5, x_7) и область их изменения до множества {2,3,4}.

Программа в пакете Matlab имеет вид:

```
Nvars = 3;%ЧИСЛО НЕЗАВИСИМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ
n1=0.1; n2=0.9; nn=0.05; %ГРАНИЦЫ И ШАГ ИЗМЕНЕНИЯ ФАКТОРА КРОССОВЕРА
LB = [2 2 2];%НИЖНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ x3,x5,x7
UB = [4 4 4];%ВЕРХНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ x3,x5,x7
options=gaoptimset('PopulationSize',150,'Generation',40);
for n=n1:nn:n2;
    options = gaoptimset(options,'CrossoverFraction', n);
    [x,fval] = ga(@YpabneniePerek, Nvars,[],[],[],[], LB,UB,[],options)
    record1 = [record1; x];%Добавление нового результата в вектор
    record = [record; fval];%Добавление нового результата в вектор
    end
```

Здесь через YpabneniePerek – обозначен m-файл для целевой функции $F(x_3,x_5,x_7) = (f(1, x_2,$

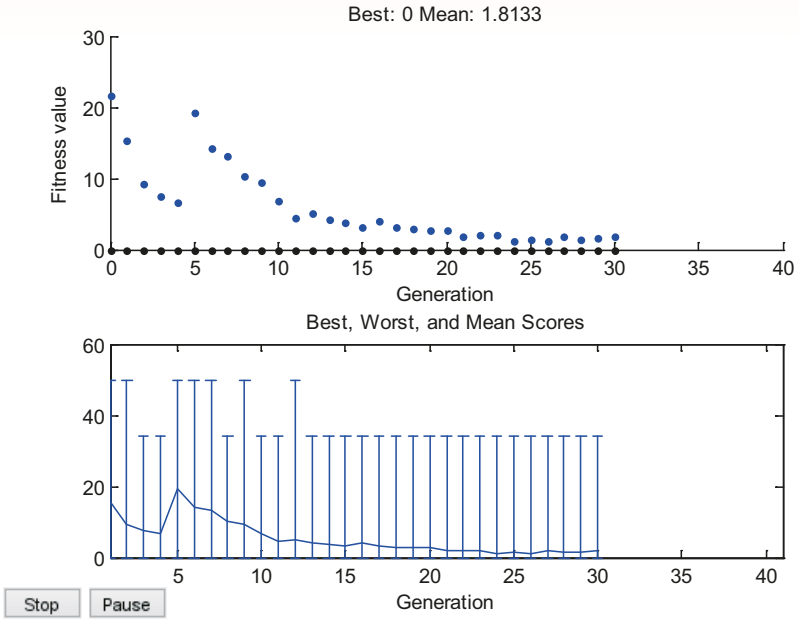


Рис. 3. Графики сходимости ГА

5, x_4, 5, x_6, 5, x_8,1) – 8)^2. Процесс сходимости ГА для функции F(x_3,x_5,x_7) быстро приводит к нулю за малое число поколений Generation<40 (*рисунок 3*).

Ниже приведен трехмерный график сходимости целевой функции при каждом значении фактора кроссовера n (*рисунок 4*).

Значения для переменных (x_3,x_5,x_7) и для оптимальных маршрутов m=(1, x_2, 5, x_4, 5, x_6, 5, x_8,1) приведены в *таблице 2*.

Число перестановок из трех элементов {2,3,4} равно 3! = 6. Из них получено в ходе решения 5 перестановок {2 3 4}, {2 4 3}, {3 2 4}, {3 4 2}, {4 3 2}. Отсутствует перестановка {4 2 3}. Следует заметить, что маршруты могут быть пройдены и в обратном порядке следования и маршрут (1, 5, 4, 5, 2, 5, 3, 5, 1), соответствующий перестановке {4 2 3}, может быть получен при обращения маршрута (1, 5, 3, 5, 2, 5, 4, 5, 1).

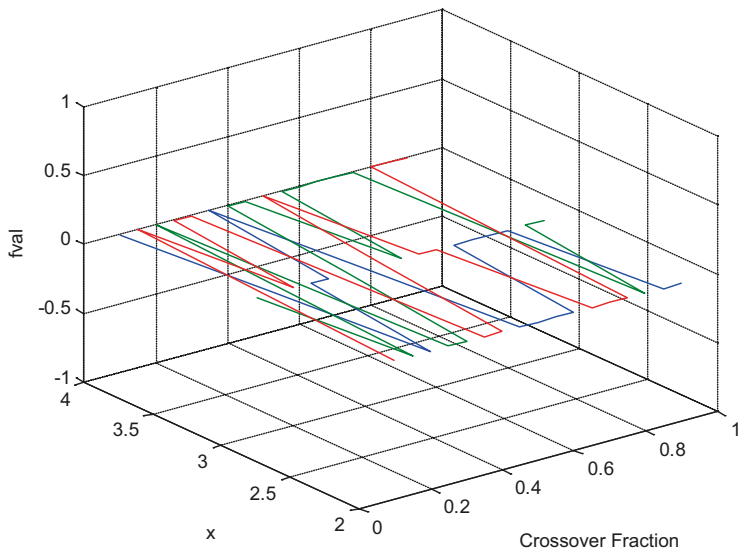


Рис. 4. Трехмерная картина сходимости

Таблица 2

Оптимальные значения
для переменных x_3, x_5, x_7 и маршруты

№ п/п	Переменные x_3, x_5, x_7	Маршруты (1, 5, x_3, 5, x_5, 5, x_7, 5, 1)
1	4 3 2	(1, 5, 4, 5, 3, 5, 2, 5, 1)
2	3 2 4	(1, 5, 3, 5, 2, 5, 4, 5, 1)
3	2 4 3	(1, 5, 2, 5, 4, 5, 3, 5, 1)
4	3 2 4	(1, 5, 3, 5, 2, 5, 4, 5, 1)
5	3 2 4	(1, 5, 3, 5, 2, 5, 4, 5, 1)
6	4 3 2	(1, 5, 4, 5, 3, 5, 2, 5, 1)
7	3 4 2	(1, 5, 3, 5, 4, 5, 2, 5, 1)
8	2 4 3	(1, 5, 2, 5, 4, 5, 3, 5, 1)
9	2 3 4	(1, 5, 2, 5, 3, 5, 4, 5, 1)
10	2 4 3	(1, 5, 2, 5, 4, 5, 3, 5, 1)
11	2 4 3	(1, 5, 2, 5, 4, 5, 3, 5, 1)
12	3 4 2	(1, 5, 3, 5, 4, 5, 2, 5, 1)
13	3 4 2	(1, 5, 3, 5, 4, 5, 2, 5, 1)
14	3 4 2	(1, 5, 3, 5, 4, 5, 2, 5, 1)
15	3 2 4	(1, 5, 3, 5, 2, 5, 4, 5, 1)

Несмотря на простоту задачи планирования маршрута на элементарном графе «перекресток» из ее решения средствами ГА можно сделать следующие выводы:

– ГА при многократном применении может не дать все множество маршрутов обхода графа;

– для повышения эффективности работы ГА необходимо, исходя из геометрии графа, снижать количество независимых переменных в целевых функциях нескольких переменных;

– необходимо сужать область изменения независимых переменных $x_i^{min} \le x_i \le x_i^{max}$, что равносильно отбрасыванию некоторых вершин, в которых уже маршрут побывал и больше туда не попадет;

– необходимо учитывать, что, исходя из решения задачи минимизации на графе, в маршруте некоторые ребра графа встречаются только один раз, другие повторяются ограниченное число раз, отсутствуют петли у всех вершин и это должно быть отражено в написании m-файл для целевой функции;

– ГА, как одно из направлений искусственного интеллекта в поиске минимума целевой функции, не гарантирует в задачах большой размерности и сложности нахождение глобального точного решения, так как его вероятность ничтожно мала на фоне громадного количества возможных вариантов и сходимость ГА к некоторому локальному минимуму должно расцениваться как несомненный успех;

– эффективность работы ГА зависит от кода программы целевой функции. Чем меньше в программе логических условий и циклов, тем меньше время вычисления. Теорема А.Н. Колмогорова дает теоретическое обоснование существованию аналитического представления целевых функций графов, как функции нескольких переменных, в виде композиции непрерывных функций одного переменного. Вид этой функции будет зависеть от геометрии графа. Если целевая функция является аналитической функцией от нескольких переменных, которая на оптимальных маршрутах принимает значение, например 0, а на других отличное от нуля, то код ее программы будет самым простым.

Все перечисленное говорит о том, что метод ГА имеет большие перспективы для решения задач дискретной математики и может быть использован в методике расчета оптимального маршрута БПЛА на взвешенном графе.

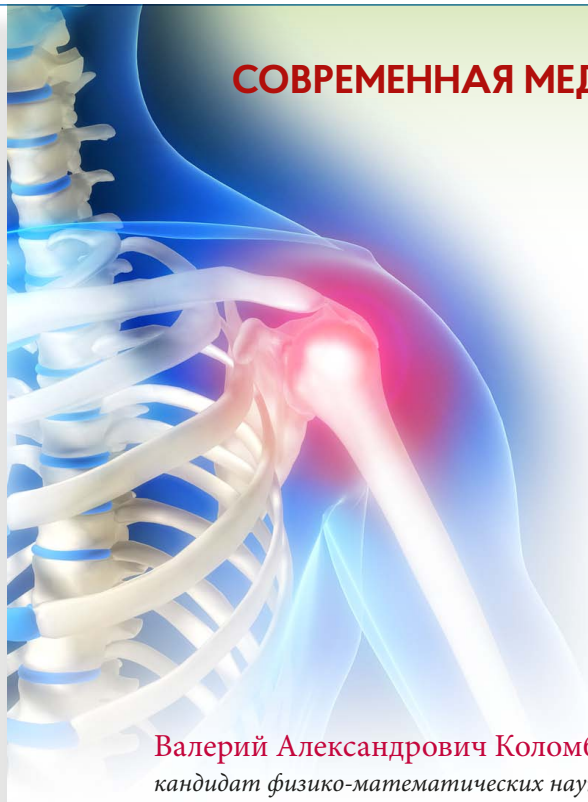
Литература

1. Кристофидес Н. Теория графов. М.: Мир, 1978.

2. Краснов М.Л., Киселев А.И., Макаренко Г.И., Шикин Е.В., Заляпин В.И., Эвнин А.Ю. Вся высшая математика. Учебник. Т. 7. М.: КомКнига, 2006.

3. Н.В. Аллилуева. Применение генетических алгоритмов в решении задачи маршрутизации беспилотного летательного аппарата / Научный журнал АО ТНИИ «Электроника». Вопросы радиотехники, 2016. №1. С. 47-53.

4. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных суперпозициями непрерывных функций одного переменного и сложения // Доклады АН СССР, 1957. Т. 114, С. 953-956.



УДК 519.21

ПРОЯВЛЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УТРАИВАЮЩИХСЯ ПЕРИОДОВ В УВЧ–ТЕРАПИИ

PRESENTATION OF UNIVERSAL SYSTEM OF TRIPLED PERIODS IN UHF–THERAPY

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

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

Александр Николаевич Скавуляк
врач
отделение терапии Пущинской
городской больницы
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, д. 1
Тел.: +7(4967)73-94-64

Евгений Валерьевич Коломбет
младший научный сотрудник
Институт теоретической и экспериментальной
биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,
ул. Институтская, д. 3
Тел. +7(4967)73-94-64

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

Аннотация

Статья посвящена проблеме теоретического обоснования путей воздействия электромагнитных волн на биологические ткани. Обнаружена близость набора частот 40.68 МГц, 27.12 МГц, 13.56 МГц электромагнитных волн, традиционно применяемых в УВЧ-терапии, к набору частот $1/T_{2,-35}$ = 41.513 МГц, $1/T_{1,-36}$ = 27.675 МГц, $1/T_{1,-35}$ = 13.838 МГц, т.е. к соответствующему фрагменту универсальной системы утраивающихся периодов Tn, k; (различия теоретических и экспериментальных частот близки к 2%). Этот результат позволяет подвести многообещающую теоретическую базу под эмпирику УВЧ-терапии.

Ключевые слова: УВЧ, физиотерапия, универсальной система утраивающихся периодов, FCC, ISM, микроволновое излучение.

Summary

The paper is devoted to a problem of theoretical explanation for ways of electromagnetic wave action on biological tissues. Proximity of traditionally applied in field of UHF-therapy a set of frequencies 40.68 MHz, 27.12 MHz, 13.56 MHz of electromagnetic waves to the set of frequencies $1/T_{2,-35}$ = 41.513 МГц, $1/T_{1,-36}$ = 27.675 МГц, $1/T_{1,-35}$ = 13.838 MHz i.e. to a respective fragment of universal period-tripling system is found (differences of theoretical and experimental frequencies near 2%). The result promises hopeful theoretical basis for empirics of UHF-therapy.

Keywords: : UHF, physiotherapy, universal period-tripling system, FCC, ISM, microwave radiation.

В последние годы наблюдается интенсификация исследований различных вариантов [1, 2] универсальной системы утраивающихся периодов (УСУП): среди множества периодов, встречающихся в самых различных астрономических, геофизических, биологических и даже технических процессах, обнаружено ограниченное множество особенных «избранных» периодов – УСУП. Эти периоды занимают широчайший диапазон масштабов. Спектр периодов УСУП, изучаемый нами [1, 3–7], описывается формулой $T_{n,k}=114.6*3^k/n$ лет, где n=1 и 2, а целочисленный параметр k располагается в диапазоне, по крайней мере, от -51 до +15 (*рисунок 1*). Спектр частот УСУП (в единицах 1/год) описывается, соответственно, формулой $f_{n,k}=1/T_{n,k}=n\bullet3^{-k}/114.6$ при тех же значениях n и k.

Рассмотренные в этой статье рабочие частоты приборов, используемых в УВЧ-терапии, практически совпадают с частотами УСУП $1/T_{2,-35}$, $1/T_{1,-35}$ и $1/T_{1,-36}$ (на рисунке они выделены кружками).

На *рисунке 1* отмечены периоды УСУП, обнаруженные к настоящему моменту. В диапазоне 0÷15 значений параметра k найдены периоды различных астрономических, геофизических и биологических процессов, диапазону от –16 до –6 соответствуют периодические процессы, происходящие в памяти человека и, по-видимому, по крайней мере, высших животных, диапазон от –29 до –23 отвечает области слуха человека (и, в частности, определяет существование именно семи главных нот музыкальной октавы), а значения k=–39 и –40 (при n=1) соответствуют чисто техническим периодам: именно эти $1/T_{n,k}$ определили тактовые частоты процессоров современных компьютеров и видеокарт.

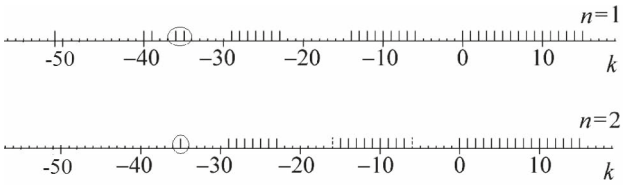


Рис. 1. Спектр универсальной системы утраивающихся периодов

В работе [7] мы уже фактически предсказали существование спектра «резонансных» УСУП-частот перспективных для УВЧ-терапии: «*Хотя известно, что наблюдаемое биологическое действие не очень больших доз микроволнового излучения самых разных длин волн в основном тепловое, тем не менее, обнаруженные особенные частоты $1/T_{n,k}$ можно пытаться рассматривать как возможный источник острой альтернативы этой спокойной картине. После скрупулёзного изучения биологического действия частот $1/T_{n,k}$ вполне может оказаться, что они представляют собой каналы для эффективных «резонансных» физиотерапевтических и прочих воздействий*».

В этой статье мы рассматриваем частоты УСУП $1/T_{2,-35}$=41,512793 МГц, $1/T_{1,-36}$=27,675195 МГц и $1/T_{1,-35}$=13,837598 МГц, расположенные в окрестности правого стыка технической и биофизической зон параметра k (рисунок 1). Оказалось, что перспективные для УВЧ-терапии «резонансные» УСУП-частоты $1/T_{2,-35}$, $1/T_{1,-35}$ и $1/T_{1,-36}$ в действительности уже давно известны и успешно внедрены в практику УВЧ-терапии (*рисунок 2, таблица 1*).

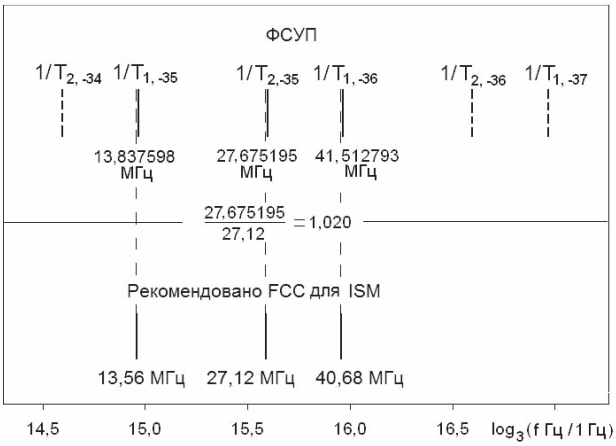


Рис. 2. Сопоставление рабочих частот f приборов, применяемых для УВЧ-терапии, с вычисленными частотами УСУП. Частоты, рекомендованные FCC (Federal Communications Commission) для использования в индустрии (I), науке (S) и медицине (M), лишь на 2% отличаются от соответствующих частот УСУП.

Сейчас УВЧ-терапия – это метод лечения, заключающийся в воздействии на организм электрического поля с частотой 13,56 МГц, 27,12 МГц или 40,68 МГц (длин волн, соответственно, 22.1 м, 11.05 м и 7.37 м). Диапазон УВЧ-волн простирается приблизительно от десятка до сотен мегагерц. Переменное электрическое поле подводится к пациенту посредством конденсаторных пластин (электродов). Лечебным фактором служит энергия, поглощенная тканями организма. Терапевтическое действие определяется не только возникновением тепла в тканях, но и рядом дополнительных физико-химических процессов в тканях организма, приводящих к соответствующим физиологическим реакциям.

В различных тканях человеческого организма образование тепла будет различным даже

Таблица 1

Грубый перечень приборов для УВЧ-терапии, полученный в результате стохастического выбора из сети Интернет. Налицо подавляющее доминирование частот, близких к частотам 13.56 МГц, 27.12 МГц и 40.68 МГц, рекомендованным FCC для применения в индустрии, науке и медицине

Прибор	Частота, МГц	Прибор	Частота, МГц
Physioterm-S	27,12	УВЧ-30-02	40.68
Thermatur 200	27,12	УВЧ-50-02 «Стрела»	27,12±0,16
Sintomatic	27,12	УВЧ-60А «МедТеКо»	27,12±0,013
К-50	27,12	УВЧ-70-01 «Стрела»	27,12±0,6%
SW-400S	27,12	УВЧ-80-«НОВОАН-«ЭМА»	27,12
Ultratherm 908i	27,12	УВЧ-80-4	27,12
УВЧ-30.03-НанЭМА	27,12±0,16	УВЧ-80-04 «Стрела»	27,12±0,6%
«Супертерм ЭП-40»	40,68	«Экстратерм»	40,68
«ЮГ-ВЧГ»	13,56	«Баркас»	13,56
«Яхта-5»	40,68	«Яхта-5»	13,56
Oncocare	13,56	Jasmin 3.1000	13,56
Selectotherm	27,12	Thermotron-RF8	8

при одной и той же частоте, и напряженности УВЧ-поля. Так, в тканях-«диэлектриках», характеризующихся невысокой концентрацией электролитов (нервная, жировая и костная ткани, сухожилия, фасции), нагревание происходит более интенсивно, чем в тканях, которые заметно лучше проводят ток (кровь, лимфа и пр.).

До обнаружения обсуждаемого совпадения частот, проиллюстрированного на *рисунке 2*, оставалось совершенно непонятным, почему частоту в методе УВЧ-терапии указывают с точностью до сотого мегагерца, что сразу задает относительную погрешность порядка 0,03 процента. Частотам, применяемым в УВЧ-терапии, соответствуют длины волн приблизительно 7-22 метра, а это намного превосходит габариты органов и частей тела человека. Поэтому трудно утверждать, что при изменениях частоты на доли процента был обнаружен какой-либо экстремум физического воздействия. Это заставляет нас сформулировать вопрос, каким же способом были выяснены фактически точные значения наиболее эффективных частот УВЧ-терапии. Известно только, что ещё в 1940-х годах в США федеральная комиссия по связи (Federal Communications Commission – FCC, независимое правительственное агентство Соединенных Штатов, созданное, управляемое и уполномоченное в соответствии с уставом Конгресса) выделила для применения в индустрии, науке и медицине (в ISM – Industry, Science, Medicine) частоты …, 13.56 МГц, 27.12 МГц, 40.68 МГц, … см. *таблицу 2* [8-12]. Со временем наибольшую популярность для терапии с применением УВЧ приобрела частота 27,12 МГц. Основанием для этого упрощения может оказаться большая ши-

Таблица 2

Полный набор частот, разрешенных для целей ISM [12]

Частоты ISM	*Допустимые отклонения*	*Частоты ISM*	*Допустимые отклонения*
6.78 MHz	±15.0 kHz	5800 MHz	±75.0 MHz
13.56 MHz	**±7.0 kHz**	24125 MHz	±125.0 MHz
27.12 MHz	**±163.0 kHz**	***61.25 GHz***	***±250.0 MHz***
40.68 MHz	**±20.0 kHz**	122.50 GHz	±500.0 MHz
915 MHz	±13.0 MHz	245.00 GHz	±1.0 GHz
2450 MHz	±50.0 MHz		

рина рекомендованного диапазона для частоты 27,12 МГц, то есть, разработчиков приборов могли привлечь облегченные требования к точности настройки частоты; см. *таблицу 2*.

Ответ на вопрос о причине столь точного совпадения частот на *рисунке 2*, по-видимому, можно искать в вездесущности универсальной системы утраивающихся периодов: она пронизывает не только широчайший диапазон масштабов, но и широчайший диапазон самых разнообразных явлений.

Успешное подтверждение эффективности предсказаний УСУП в области УВЧ-терапии позволяет прогнозировать перспективные области для терапевтического воздействия в других частях электромагнитного спектра: можно просто умножать и делить уже найденные эффективные частоты на целочисленные степени тройки, а затем конструировать соответствующие этим частотам приборы, пытаясь не вступить в противоречие с рекомендациями FCC.

Полосы частот, разрешенные для использования в целях ISM, приведены в *таблице 2*.

Для ISM-приборов запрещены следующие полосы частот: 490-510 КГц, 2170-2194 КГц, 8354-8374 КГц, 121.4-121.6 МГц, 156.7-156.9 МГц и 242.8-243.2 МГц [12]. Поскольку «разрешено то, что не запрещено», можно пытаться создавать новые приборы для УВЧ-терапии, экспериментируя, например, в области 27,12 МГц /3, т.е. в полосе частот (9040 ± 665) КГц. Вопрос только в целесообразности: нужны дополнительные оценки, указывающие на перспективность того или иного прибора.

С большой вероятностью биоэффективной окажется также разрешенная полоса частот 61.25 ГГц ± 0.250 ГГц (выделена в *таблице 2* жирным курсивом). Соответствующая частота УСУП равна 60.536 ГГц. Отличие этих двух частот невелико: 1.2%.

Основы теории утраивающихся периодов можно искать в расширении построенной на реальных числах теории М. Фейгенбаума [13] на область комплексных чисел, выполненном А.И. Гольбергом, Я.Г. Синаем и К.М. Ханиным [14].

Литература

1. Puetz Stephen J., Prokoph Andreas, Glenn Borchardt, Mason Edward W. Evidence of synchronous, decadal to billion year cycles in geological, genetic, and astronomical events // Chaos, Solitons & Fractals, 2014. №62-63. P. 55–75.
2. Muller H. Fractal scaling models of resonant oscillations in chain systems of harmonic oscillators // Progress in physics, 2009. №2. P. 72-76.
3. Бондарь А.Т., Федоров М.В., Коломбет В.А. Утраивающиеся периоды в мультимасштабных физических и биологических явлениях // Биофизика, 2015. №60(6). С. 1208-1215.
4. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. О перспективе применения фундаментальной системы утраивающихся периодов в мультимасштабных технических устройствах // Известия Института инженерной физики, 2016. №1(39). С.8-11.
5. Коломбет В.А., Коломбет Е.В., Лесных В.Н. Предсказание тактовой частоты процессора будущего поколения компьютеров как пример эффективности использования в технике свойств фрактальной системы утраивающихся периодов // Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40). С. 55-58.
6. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В., Федоров М.В. Обнаружение в технических устройствах фрактальной системы утраивающихся периодов, известной по своим физическим, геофизическим, биофизическим и биологическим манифестациям // Биофизика, 2016. №61(3). С. 615-624.
7. Коломбет Е.В., Лесных В.Н., Коломбет В.А. Особенности проявления фрактальной системы утраивающихся периодов в телевещании и мобильной телефонии // Известия Института инженерной физики, 2016, №4 (42). С. 20-24.
8. http://www006.upp.so-net.ne.jp/mrshiida/Manual.htm
9. Thom, H. «Introduction to shortwave and microwave therapy» 3 rd Edition, Springfield, C.C Thomas, 1966.
10. 47 CRF (Code of federal regulation). U.S Government Printing Office, Washington, 1990. P. 563.
11. Боголюбов В.М., Пономаренко Г.М. Общая физиотерапия. М.-СПб: Издательский отдел СЛП, 1998. С. 143-144.
12. http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=501669fe9f0aadd1387fd5528d3e0b88 &mc=true&node=se47.1.18_1303&rgn=div8
13. Feigenbaum M. Quantitative universality for a class of nonlinear transformations. J. Stat. Phys. 1978, №19. P. 25-52.
14. А.И. Гольберг, Я.Г. Синай, К.М. Ханин. Универсальные свойства для последовательностей бифуркаций утроения периода. Успехи математических наук, 1983. №38. Вып. 1(229). С. 159-160.

УДК 615.014:697.9:721.05

ЧИСТЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ – ЗАЛОГ КАЧЕСТВЕННОГО ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА

CLEAN ROOMS – THE KEY TO QUALITY OF MEDICAL PRODUCT

Владимир Станиславович Вольский
кандидат химических наук
начальник производства
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: vvsopp15@iifmail.ru

Ольга Павловна Горло
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: go@iifmail.ru

Светлана Станиславовна Архипова
маркетолог
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: ass2812@iifmail.ru

Сергей Вячеславович Аристов
ведущий инженер
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: aser_mreg@iifmail.ru

Юлия Валерьевна Краснова
главный технолог
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: Krasnova@iifmail.ru

Анна Валериевна Чистякова
технолог
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: chavopp@iifmail.ru

Анна Владимировна Муравьева
лаборант
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: muraveva@iifmail.ru

Аннотация
Статья содержит анализ основных положений законодательной и нормативной методической документации, определяющей правила использования чистых помещений и зон при производстве лекарственных препаратов. Кроме того, особое внимание в статье уделено вопросам подготовки персонала, эксплуатирующего чистое помещение.
Ключевые слова: чистые помещения, монтаж, персонал, технологическая одежда, технологический процесс, промышленное производство, лекарственный препарат.

Summary
This article contains analysis of the main legislative and normative methodical documentation defining the rules for the use of clean rooms and zones for the production of medical products. Besides, special attention in this article is paid to training of staff operating the clean room.
Keywords: clean rooms, installation, staff, technological clothing, production process, industrial manufacture, medical products.

Промышленное производство лекарственных препаратов – это сложный многоступенчатый процесс, характеризующийся высокой степенью автоматизации, так как в его основе лежит широкое использование машин, аппаратов, поточных механизированных и автоматизированных линий. Оно предусматривает массовый, серийный выпуск препаратов, рассчитанных на среднего потребителя, по стандартным прописям.

В мировой практике одним из важнейших документов, определяющих требования к производству и контролю качества лекарственных средств (далее – ЛС) для человека и животных, являются «Правила производства ЛС» – «Good Manufacturing Practice for Medical Products» (GMP), направленные на обеспечение высокого уровня качества и безопасности ЛС и гарантирование того, что ЛС изготовлено в соответствии со своей формулой (составом), не содержит посторонних включений, маркировано надлежащим образом, упаковано и сохраняет свои свойства в течение всего срока годности.

В России это «Правила организации производства и контроля качества ЛС», утвержденные приказом Минпромторга России от 14.06.2013 № 916, и ГОСТ Р 52249-2009.

При производстве ЛС особое значение имеет понятие «стерильность» окружающей среды, означающее «отсутствие в нем живых микроорганизмов». Для обеспечения стерильности на фармацевтическом производстве технологические операции при производстве лекарственных препаратов, как проходящих финишную стерилизацию, так и производимых в асептических условиях, должны производиться в чистых помещениях или чистых зонах, доступ в которые персонала, оборудования, исходного сырья и упаковочных материалов должен осуществляться через воздушные шлюзы.

В чистых помещениях (зонах) должен поддерживаться уровень чистоты, отвечающий соответствующему классу помещения, в них необходимо подавать воздух, который прошел через фильтры определенной эффективности. Чистые зоны (помещения) при производстве стерильных ЛС подразделяются на 4 класса:

– класс А – локальная зона для проведения операций, представляющих высокий риск для качества продукции. Здесь ампулы и флаконы находятся в открытом состоянии и выполняются соединения частей оборудования в асептических условиях;

– класс В – зона, непосредственно окружающая зону класса А;

– классы С и D – чистые зоны для выполнения менее критичных стадий производства стерильной продукции.

Классификация чистых помещений и чистых зон (см. *таблицу 1*) проводится по максимально допустимой концентрации частиц в единице объема воздуха.

В различных странах были разработаны собственные стандарты классов чистоты, что создавало определенную путаницу. Международной организацией по стандартизации был разработан международный стандарт ISO 14644-1, охватывающий все параметры контролируемой среды и надлежащую практику эксплуатации чистых зон. Кроме того, данный стандарт определяет классы чистоты: класс 1 – класс 9.

Графическое представление классов чистоты воздуха дано на *рисунке 1*. Границы классов чистоты показаны линиями, представляющими максимально допустимые концентрации для данных пороговых размеров частиц. Границы классов, показанные на графике, не могут экстраполироваться за пределами сплошных кружков, которые указывают минимальные и максимальные значения размеров частиц, применяемых для каждого из показанных классов чистоты. Границы классов не представляют фактических распределений частиц по размерам, имеющих место в чистых помещениях и чистых зонах.

Таблица 1

Классификация чистых помещений и чистых зон

Зона	Максимально допустимое число частиц в 1 м³ воздуха при размере частиц, равном или большем			
	В оснащенном состоянии		*В эксплуатируемом состоянии*	
	0,5 мкм	*5,0 мкм*	*0,5 мкм*	*5,0 мкм*
A	3 520	20	3 520	20
B	3 520	29	352 000	2 900
C	352 000	2 900	3 520 000	29 000
D	3 520 000	29 000	Не регламентируется	Не регламентируется

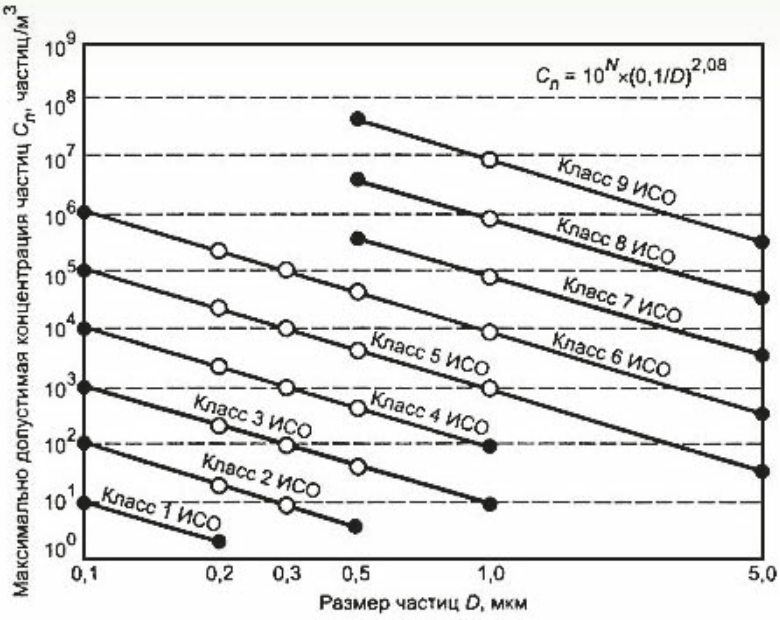


Рис. 1. Графическое представление границ классов чистоты воздуха, где C_n представляет максимально допустимую концентрацию взвешенных в воздухе частиц (частиц/м^3) с размерами равными или большими заданных значений; N – заданное классификационное число ИСО

Общепризнанная международная практика показывает необходимость минимизации поступления микрочастиц извне на этапе строительства [8]. Строительство чистого помещения и прилегающего к нему контролируемого пространства – процесс многостадийный и для каждой стадии строительства необходимо разрабатывать соответствующий протокол чистоты, так как уже на стадии строительства закладывается принцип эксплуатации чистого помещения. Наиболее важными являются стадии монтажа чистого помещения и его финишной отделки.

На стадии монтажа чистого помещения рекомендуется контролировать и ограничивать доступ в зону монтажа персонала, организуя переодевание его в специальные халаты, специальную обувь, а также использование липких ковриков для очистки от уличной грязи. При выполнении операций сверления или резки рекомендуется использовать пылесосы с HEPA-фильтром, чтобы выделяемая механическая пыль не оседала на поверхностях ограждающих конструкций чистого помещения.

Стадия финишной отделки помещения является наиболее ограничительной с точки зрения поведения персонала. Помимо тех мероприятий, которые присущи для предыдущей стадии, на этой стадии выдвигаются дополнительные требования, такие как:

– полное переодевание персонала в сертифицированную одежду для чистых помещений;

– закрытие волос и бороды;

– использование специальной обуви и перчаток;

– прохождение специально оборудованной комнаты для переодевания.

С учетом всего вышеперечисленного стоимость строительства чистых помещений является достаточно высокой, но эта стоимость варьируется от назначения помещения и соответствующего класса чистоты. Так, для помещений с требованием чистоты, соответствующей классу чистоты 3, стоимость 1 м^2 составляет 10 000$, а для помещений класса чистоты 8 – 2000$ за квадратный метр.

Смонтированное чистое помещение является только первым шагом на пути к производству высококачественного лекарственного препарата.

Руководство и сотрудники предприятия должны уделять особое внимание соблюдению правил эксплуатации чистых помещений. Четкое выполнение правил эксплуатации чистых помещений имеет значение в обеспечении качества продукции и выполнении технологических процессов. Залогом сохранения соответствующего класса чистоты в помещении является соблюдение требований установленных в Национальном Стандарте РФ ГОСТ Р 52538-2006, где вводится понятие «технологическая одежда».

Технологическая одежда – это комплект одежды, предназначенной для защиты сырья, вспомогательных и упаковочных матери-

алов, полупродуктов и готового продукта, оборудования и помещений от вторичного загрязнения механическими частицами и микроорганизмами, выделяемыми персоналом, и служащий средством индивидуальной защиты персонала [7].

Главным назначением одежды для чистых помещений, определяющим требования к ее материалу и комплектности, является защита окружающей среды и продукта от человека. В чистом помещении человек, как правило, является основным источником частиц и микроорганизмов. Это означает, что одежда должна выполнять функции фильтра, удерживающего загрязнения, выделяемые человеком, и служить барьером между человеком и окружающей средой. Решению этой задачи служат также маска, препятствующая распространению выделений из носа и рта, и перчатки, предохраняющие от переноса загрязнений руками человека. Одежда сама не должна выделять загрязнений. Она должна быть удобной и не создавать дискомфорта для человека.

Следует иметь в виду, что одежда для чистых помещений, будучи фильтром загрязнений, имеет высокие значения теплового сопротивления и препятствует нормальному теплообмену между человеком и окружающей средой. Поэтому обязательным условием для чистых помещений является кондиционирование воздуха, поддержание температуры в чистом помещении в соответствии с типом одежды и скоростью движения воздуха в помещении. Нарушение этого правила приводит к дискомфорту, снижению внимания человека, повышенной потливости (вплоть до стекания пота в бахилы) и общего повышения уровня загрязнений в чистом помещении.

Для каждого класса чистоты нужен определенный комплект одежды. С повышением чистоты воздуха требования к одежде и ее стоимость резко возрастают. В известной степени ориентиром в выборе комплектов одежды может служить информация, представленная в *таблице 2*. В конкретных случаях решение о выборе комплекта одежды принимается исходя из специфики чистого помещения и технологического процесса.

Персонал оказывает существенное влияние на уровень чистоты помещения. Недостатки в обучении основного или вспомогательного персонала снижают эффективность использования чистого помещения.

Выполнение процедуры входа в чистое помещение требует наличия определенных навыков и знаний, необходимых для осуществления операций в чистом помещении. Подготовка к работе в чистых помещениях имеет большое значение независимо от частоты входа в него или от его классификации, а также проводится для всех без исключения сотрудников, входящих в чистое помещение. При проведении обучения (тренинга) следует соблюдать требования стандарта ISO14644-5. Во время рабочей смены у персонала может возникнуть производственная (и не только) необходимость выйти и заново войти в чистое помещение, в связи с чем были разра-

Таблица 2

Комплектность одежды для чистых помещений различных классов чистоты [7]

Элемент комплекта одежды	Классы чистого помещения ИСО					
	3	4	5	6	7	8
Комбинезон	+	+	+	+	+*	
Шлем	+	+	+	+	+*	
Шапочка	+**	+**	+**	+**	+	+
Бахилы высокие	+	+	+	+	+*	
Бахилы низкие					+*	+*
Сабо	+	+	+	+	+	+
Куртка				+	+	+
Брюки				+	+	+
Халат						+
Маска для лица	+	+	+	+	+*	
Перчатки	+	+	+	+	+	+
Нижнее белье	+	+	+	+	+	
Носки	+	+	+	+	+	

* применяется при необходимости
** шапочка под капюшон (рекомендуется)

Таблица 3

Рекомендуемая периодичность смены одежды

Класс чистоты помещения по ГОСТ ИСО 14644-1	Периодичность смены одежды
3 ИСО	При каждом входе
4 ИСО	При каждом входе
5 ИСО	***При каждом входе***
6 ИСО	Один раз в смену
7 ИСО	Ежедневно или через день
8 ИСО	1-3 раза в неделю

ботаны Методические указаниям Минпромнауки 64-09-001-2002 от 15.04.2003. Разработка Методических указаний связана с тем, что технологическая одежда после разового использования сама является источником загрязнения. Рекомендуемая периодичность смены одежды представлена в *таблице 3*.

До недавнего времени персонал, обслуживающий чистые зоны с контролируемой средой, из-за естественных биологических выделений считался главным источником загрязнения окружающей среды [9]. Однако Институтом исследования окружающей среды и технологий (IEST) установлено, что важнейшим фактором загрязнения окружающей среды персоналом является отсутствие его надлежащей подготовки.

В фармации чистота помещений является одним из факторов, обеспечивающих выполнение принципиального положения GMP: «Никакой процесс завершающей стадии производства или контроль качества готового продукта не может рассматриваться как единственное средство обеспечения стерильности и других показателей качества продукции. Качество закладывается технологией и организацией производства, в том числе чистотой технологических сред».

Таким образом, чистые помещения являются показателем высоких технологий производства и обеспечения качества.

Чистота окружающей среды и оборудования – одно из критических требований GMP. Для его выполнения и служат чистые помещения.

Литература

1. Приказ Минпромторга России от 14.06.2013 № 916 «Об утверждении Правил надлежащей производственной практики» (ред. от 18.12.2015).

2. ГОСТ Р 52249-2009 «Правила производства и контроля качества лекарственных средств».

3. ГОСТ Р 52538-2006 «Чистые помещения. Одежда технологическая. Общие требования».

4. ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 5. Эксплуатация».

5. ГОСТ ИСО 14644-1-2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха».

6. Методические указания Минпромнауки 64-09-001-2002 от 15.04.2003 «Производство лекарственных средств. Персонал фармацевтических предприятий. Основные положения».

7. Чистые помещения. / Под ред. А.Е. Федотова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: АСИНКОМ, 2003. 576 с.

8. Стронг М. Стандарты при проектировании, строительстве и монтаже чистых помещений // Чистые помещения и технологические среды, 2017. №1(61). С. 4-7.

9. Члены Образовательного консультативного комитета IEST. Использование лучшего опыта в контроле микробиологической загрязненности. // Чистые помещения и технологические среды, 2017. №1(61). С. 40-42.

УДК 620.179.18

ЧАСТОТНО–РАЗНОСТНОФАЗОВЫЙ МЕТОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЛСТОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ БЕТОНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СХЕМЫ РАССТАНОВКИ ДАТЧИКОВ

FREQUENCY–DIFFERENCE OF PHASE'S METHOD FOR A RESEARCH OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE THICK–WALLED DESIGNS MADE OF CONCRETE AND ITS APPLICATION FOR JUSTIFICATION OF THE SCHEME OF ARRANGEMENT OF SENSORS

Алексей Геннадьевич Попов
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
начальник управления прочностных исследований и технической диагностики
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04 E-mail: upitd@iifmail.ru

Виктор Михайлович Дунилин
старший научный сотрудник
управление прочностных исследований и технической диагностики
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04
E-mail: upitd@iifmail.ru

Александр Николаевич Горновский
инженер-испытатель испытательной лаборатории МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04
E-mail: upitd@iifmail.ru

Александр Альбертович Масликов
кандидат физико-математических наук
доцент филиала «Протвино» Университет «Дубна»
старший научный сотрудник
управление прочностных исследований и технической диагностики МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04 E-mail: upitd@iifmail.ru

Евгений Владимирович Бородай
инженер-испытатель испытательной лаборатории МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04 E-mail: upitd@iifmail.ru

Денис Николаевич Печерский
специалист II уровня лаборатории неразрушающего контроля МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04 E-mail: upitd@iifmail.ru

Аннотация
В статье изложен разработанный авторами частотно-разностнофазовый метод для исследования прочностных характеристик толстостенных конструкций выполненных из бетона. Применение данного метода проиллюстрировано решением задачи по обоснованию схемы расстановки датчиков при проведении натурных измерений.

Ключевые слова: акустико-диагностическая система, прочность, акустический метод, волновой процесс, метод спектрального анализа поверхностных волн, дисперсионные кривые, фазовая скорость.

Summary
The article describes developed by authors, frequency-difference of phase's method to study the strength characteristics of thick-walled constructions made of concrete. The application of this method was illustrated by solving the problem of substantiation of the scheme of arrangement of sensors during the field measurements.

Keywords: acoustic system, strength, acoustic method, wave pattern, sasw method, dispersion curves, phase velocity.

Для неразрушающего контроля прочностных характеристик толстостенных конструкций выполненных из бетона достаточно широкое распространение получил акустический, согласно классификации ГОСТ 18353 [1], метод контроля.

Существо метода состоит в импульсной генерации волнового процесса на поверхности конструкции и измерении параметров волнового процесса приемниками (датчиками), расположенными на одинаковых расстояниях между собой Δl. Расстояние от источника импульсного возмущения до ближайшего датчика l обычно значительно превышает величину Δl.

Определение прочностных характеристик материала конструкции производится в результате построения дисперсионных кривых (зависимостей фазовой поперечной скорости сигнала Vf от длины волны l) и их сравнения с дисперсионными кривыми, полученными для материала конструкции с заданными прочностными характеристиками из аналитического, или численного решения динамической задачи теории упругости.

В работе [2] дано описание и приведены характеристики разработанного в МОУ «ИИФ» аппаратного комплекса для измерения параметров волнового процесса при акустической диагностике конструкций.

Одним из методов обработки измерительной информации, для дальнейшего определения прочностных характеристик толстостенных конструкций, является метод, традиционно применяемый в сейсморазведке. Он состоит в полосовой фильтрации исходных реализаций волновых процессов, зарегистрированных датчиками, нанесении на них годографов, определении времени поступления по максимумам волны или по пересечениям кривой колебаний с осью абсцисс, на которой откладывается время, и нахождении скорости монохроматической волны. Такой метод применен, в частности, в работах [3, 4].

Кроме трудоемкости, недостатком метода является дополнительная погрешность, вносимая оператором при определении положения экстремумов на монохроматическом пучке, выделенном из исходной реализации.

В конце 80-х годов прошлого столетия разработан и получил широкое применение метод спектрального анализа поверхностных волн (SASW) [5, 6].

Основой метода SASW является выполнение двух взаимосвязанных этапов [6].

Первый – разложение оцифрованных сигналов акустической волны (реализаций) $ak(t)$ с каждого k-го датчика в ряд Фурье

$$a^k(t) = A_0^k + \sum_{j=1}^{N} A_j^k \cdot \cos(\omega_j \cdot t) + B_j^k \cdot \sin(\omega_j \cdot t). \quad (1)$$

Эквивалентной записью формулы (1) без нулевого члена с введением фазы φ_j^k является

$$a^k(t) = \sum_{j=1}^{N} C_j^k \cdot \sin\left(\omega_j \cdot t - \varphi_j^k\right), \quad (2)$$

где $\omega j = 2 \cdot \pi \cdot fj$ – круговая частота;
$fj = j/T$ – частота j-й гармоники;
T - продолжительность записи регистрируемого сигнала по времени;

$$C_j^k = \sqrt{A_j^{k\,2} + B_j^{k\,2}}.$$

Второй – вычисление фазы гармонических составляющих сигналов по формулам

$$\varphi_j^k = -\arcsin\left(\frac{A_j^k}{C_j^k}\right), \text{ если } B_j^k > 0,$$

$$\varphi_j^k = \pi + \arcsin\left(\frac{A_j^k}{C_j^k}\right), \text{ если } B_j^k < 0. \quad (3)$$

В качестве момента времени t_j^k прихода фронта гармонического сигнала частоты ωj *в точку установки датчика с номером k принимается первое пересечение оси t ряда (2), тогда*

$$t_j^k = \frac{\varphi_j^k}{\omega_j}. \quad (4)$$

По вычисленным значениям t_j^k определяется фазовая скорость распространения волны V_j^n на *n-ом интервале* Δl *между двумя соседними датчиками* ($n = 1,\ldots,M-1$) *и соответствующая ей длина волны* λ_j^n

$$V_j^n = \frac{\omega_j \cdot \Delta l}{\varphi_j^{n+1} - \varphi_j^n}, \quad (5)$$

$$\lambda_j^n = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_j^n}{\omega_j}. \quad (6)$$

На основании формул (3) фазы φ_j^k определяются с точностью до $2\pi m$, *где m – кратность величины.*

Для преодоления этой неопределенности в [6] предложено использовать дополнительное условие $\varphi_j^k < \varphi_j^{k+1}$, отражающее тот факт, что на каждый последующий датчик гармоническая составляющая сигнала с частотой ωj *приходит позже, чем на предыдущий. Однако и этот шаг не решает полностью проблему, т.к. нет обоснованного правила выбора величины числа кратности m при вычислении* φ_j^{k+1}.

Оценим величину фазы гармонической составляющей сигнала частоты ωj, *приходящей на k-й датчик, находящийся на расстоянии lk от точки приложения импульсного возмущения. Используя*

равенства

$$l_k = t_k \cdot V_j, \qquad V_j = \frac{\lambda_j \cdot \omega_j}{2 \cdot \pi}, \tag{7}$$

и формулу (4) получаем

$$\varphi_j^k(\lambda_j) = 2 \cdot \pi \cdot \frac{l_k}{\lambda_j}. \tag{8}$$

Аналогичную зависимость, используя соотношение (5), получаем для разности фаз гармонической составляющей сигнала частоты *ωj, приходящей на два датчика, расстояние между которыми равно Δl*

$$\Delta\varphi_j(\lambda_j) = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\Delta l}{\lambda_j}. \tag{9}$$

При разработке схемы установки датчиков зависимость (9) является основой для выбора величины *Δl* таковой, чтобы выполнялось условие $\Delta\varphi(l,\Delta l)<2\pi$ во всем интересующем диапазоне длин волн.

Построенные по формулам (8), (9) графики $\varphi_j^k(\lambda_j)$, *Δφj (λj) для типовых при обследованиях величинах lk, Δl приведены на рисунке 1.*

Из приведенных графиков видно, что уже при длине волны $\lambda \approx 3{,}5$ м фаза набегающей волны на самом удаленном от источника возмущения датчике начинает превышать *2π. На коротких длинах волн фазы гармонических составляющих сигналов всех датчиков значительно превышают 2π*, причем кратность величины *m, в общем случае, различная.*

Разность фаз гармонических составляющих сигналов Δφ при одинаковом расстоянии между датчиками Δl=0,5м не превышает величины 2π во всем интересующем диапазоне длин волн. Этот факт указывает на предпочтительность использования величины Δφ при обработке сигналов.

Получим выражение для Δφ через коэффициенты разложения сигналов в ряды Фурье (1), (2). Для этого используя свойство тригонометрической функции разности двух аргументов и выражения (1), (2), получаем

$$t_j^{n+1} - t_j^n = \frac{1}{\omega_j} \cdot \arcsin\left(\frac{B_j^{n+1} \cdot A_j^n - A_j^{n+1} \cdot B_j^n}{\sqrt{\left[\left(A_j^{n+1}\right)^2 + \left(B_j^{n+1}\right)^2\right] \cdot \left[\left(A_j^n\right)^2 + \left(B_j^n\right)^2\right]}} \right), \tag{10}$$

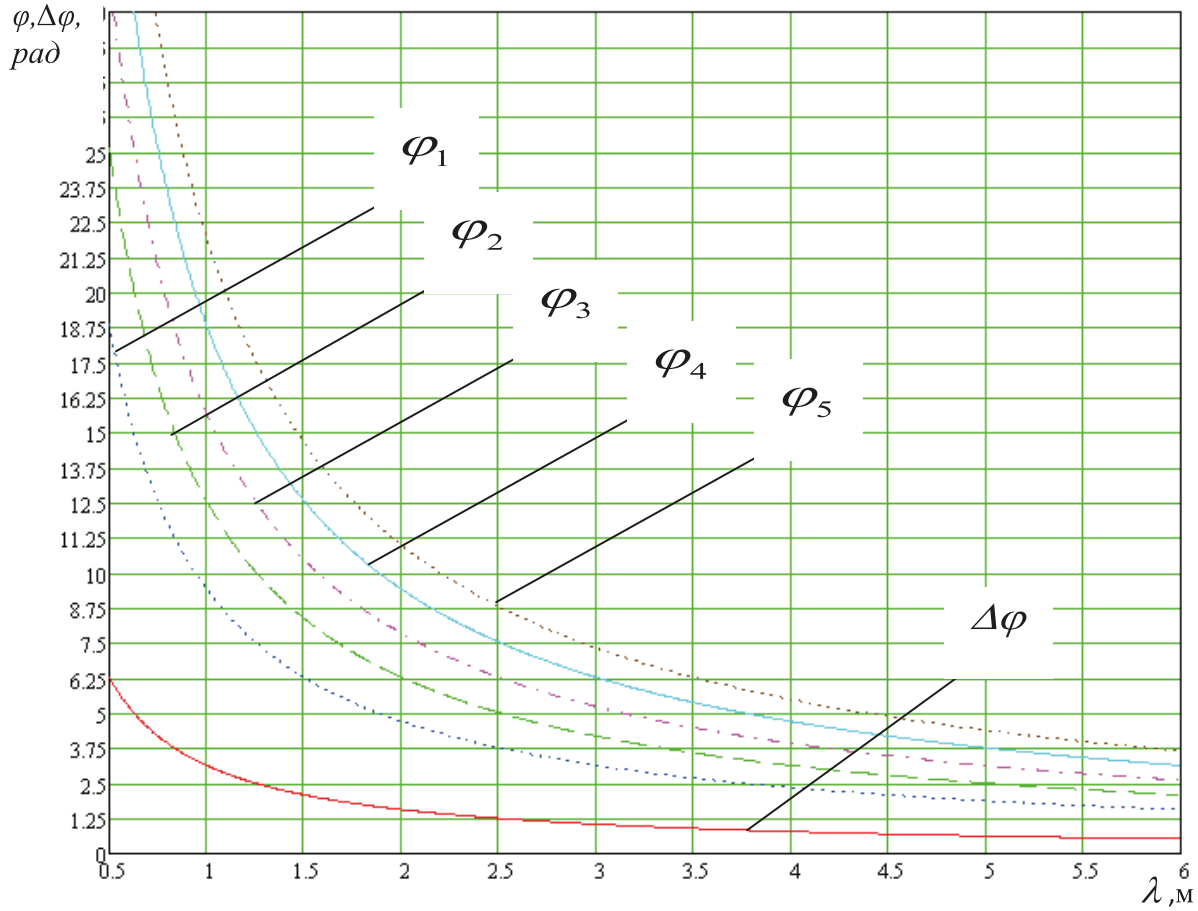


Рис. 1. Зависимости углов сдвига фазы φ*k*, (*k*=1,…,5)φ сигналов пяти датчиков от длины волны гармонических составляющих λ. Расстояния от точки ударного воздействия до датчиков: l_1 = 1.5 м.; l_2 = 2 м; l_3 = 2.5 м; l_4 = 3 м; l_5 = 3.5 м. Δφ – разность фаз гармонических сигналов одной частоты двух соседних датчиков установленных с интервалом Δ*l* = 0.5 м.

при $Ajn + 1 \cdot Ajn + Bjn + 1 \cdot Bjn > 0$ и

$$t_j^{n+1} - t_j^n = \frac{1}{\omega_j} \cdot \left[\pi - \arcsin \left(\frac{B_j^{n+1} \cdot A_j^n - A_j^{n+1} \cdot B_j^n}{\sqrt{\left[\left(A_j^{n+1}\right)^2 + \left(B_j^{n+1}\right)^2 \right] \cdot \left[\left(A_j^n\right)^2 + \left(B_j^n\right)^2 \right]}} \right) \right] \quad (11)$$

при $Ajn + 1 \cdot Ajn + Bjn + 1 \cdot Bjn < 0$.

Частотно-разностнофазовый метод применялся нами, в частности, для решения задачи определения схемы расстановки датчиков при измерении параметров волнового процесса в конструкциях, для которых применима модель толстостенной плиты, с целью последующей корректной интерпретации измерительной информации.

Как выше отмечалось, прочностные характеристики материала конструкции определяются в результате сравнения дисперсионных кривых построенных в результате обработки натурных измерений и аналитического решения, если таковое может быть получено для объекта исследования.

Известное аналитическое решение для плиты бесконечной протяженности, учитывающее влияние на волновой процесс обеих границ, предполагает возможность наличия двух типов волн в волновом процессе – с симметричным относительно срединной поверхности распределением продольных перемещений и антисимметричным.

В ближней зоне от источника возмущения существуют оба вида волн. При удалении от источника возмущения формируется фронт преимущественно антисимметричной волны, зависимость отношения фазовой скорости которой *V к скорости поперечной волны в неограниченной среде VS от длины волны* λ имеет вид [7]

$$\frac{th\left(q \cdot h \cdot \sqrt{1-\xi/\eta^2}\right)}{th\left(q \cdot h \cdot \sqrt{1-\xi}\right)} = \frac{4\sqrt{1-\xi}\sqrt{1-\xi/\eta^2}}{(2-\xi)^2},$$

$$V < V_S \quad (\xi < 1), \quad (12)$$

где $\xi = \left(\frac{V}{V_S}\right)^2$, $q = \frac{2\pi}{\lambda}$, $h = \frac{H}{2}$,

$$\eta = \sqrt{\frac{2 \cdot (1-\mu)}{1-2 \cdot \mu}}\ ;\ V_S = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot (1+\mu)} \cdot \frac{E}{\rho}}\ ;$$

E, ρ, μ – модуль упругости, плотность и коэффициент Пуассона материала плиты;
H – её толщина.

Математическое моделирование волнового процесса в плите осуществлялось методом конечных элементов при расстояниях от точки приложения импульсной нагрузки в виде полуволны синусоиды продолжительностью 1 мс до первого датчика *l1 равных 1,5* м; 2,5 м; 3,5 м при одинаковых расстояниях между датчиками

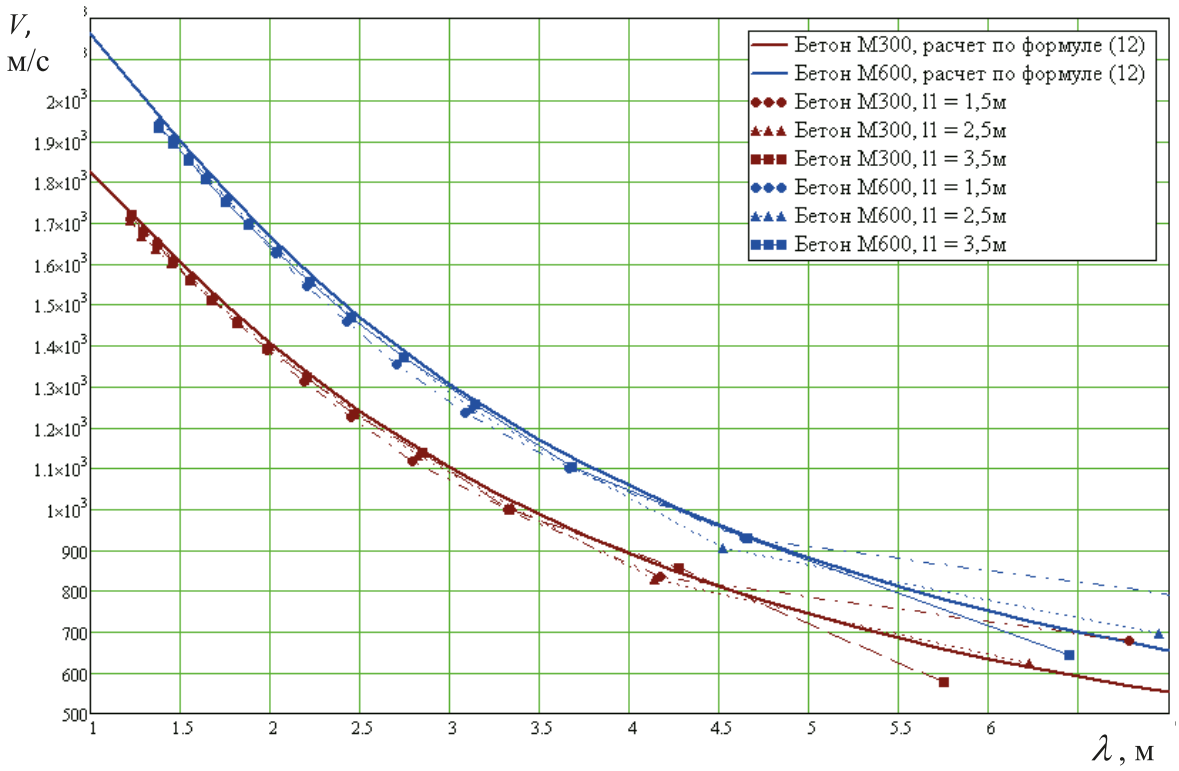


Рис. 2. Дисперсионные кривые, полученные при обработке результатов математического моделирования волнового процесса в плите при *H* = 0,6 м и решении уравнения (12)

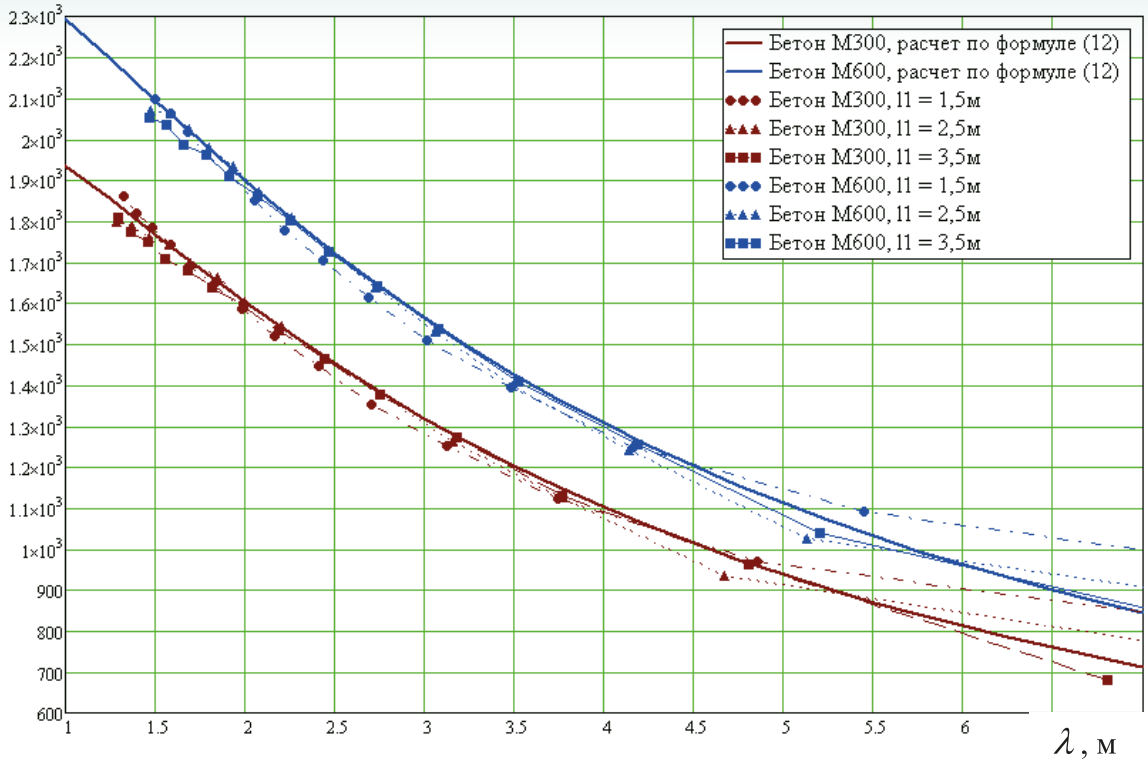


Рис. 3. Дисперсионные кривые, полученные при обработке результатов математического моделирования волнового процесса в плите при H = 0,8 м и решении уравнения (12)

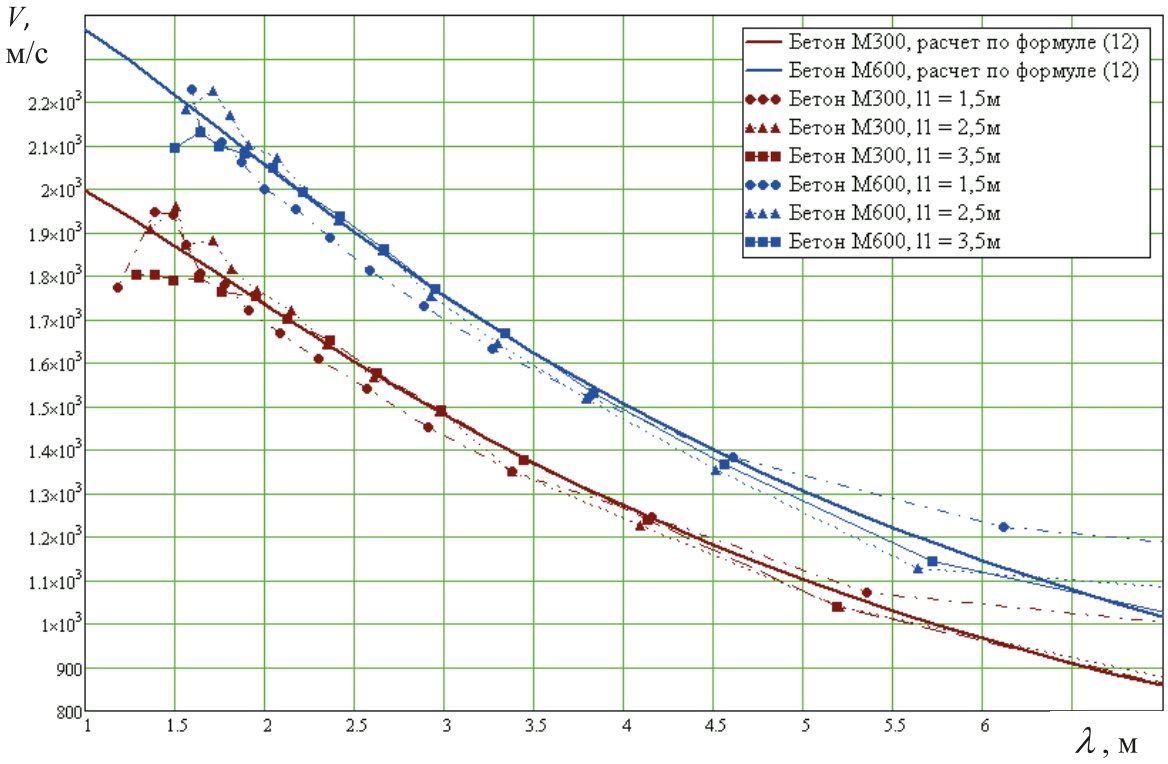


Рис. 4. Дисперсионные кривые, полученные при обработке результатов математического моделирования волнового процесса в плите при H = 1 м и решении уравнения (12)

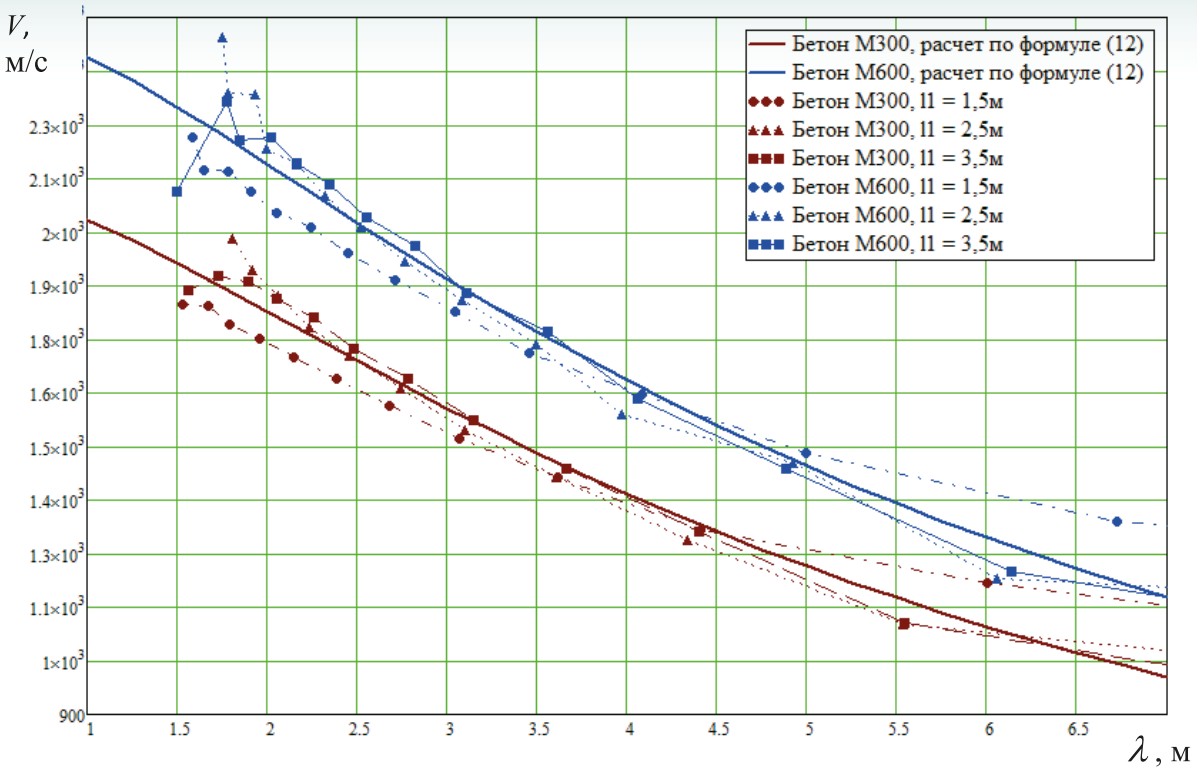


Рис. 5. Дисперсионные кривые, полученные при обработке результатов математического моделирования волнового процесса в плите при *H* = 1,2 м и решении уравнения (12)

Δl = 0,5 *м. Физико-механические характеристики материала плиты принимались соответствующими бетону марок М300 и М600: модуль Юнга* E=32,4 и 45,5 ГПа соответственно, коэффициент Пуассона μ=0,25, плотность ρ= 2500 кг/м^3.

Для исследования влияния толщины плиты на формирование волнового процесса расчеты производились для толщин *H*=0,6 м; 0,8 м; 1,0 м; 1,2 м.

Дисперсионные кривые, полученные при обработке результатов математического моделирования волнового процесса в плите частотно-разностнофазовым методом для разных толщин H, приведены в виде графиков на рисунках 2, 3, 4, 5.

Там же представлены дисперсионные кривые точного решения для антисимметричных волн, аналитическая зависимость (12).

Из приведенных графиков следует, что в длинноволновой части спектра, при длинах волн более ~4,5 м, дисперсионные кривые, в зависимости от величины *l1, могут значительно отличаться от точного решения. При удаленности первого датчика от точки приложения импульсной нагрузки равной 3,5* м. дисперсионные кривые, получаемые в результате обработки, и аналитическая зависимость практически совпадают во всем интересующем диапазоне длин волн, что очевидно связано с формированием на этом расстоянии фронта преимущественно антисимметричной волны. Такая закономерность соблюдается во всем исследовавшемся диапазоне толщин и прочностей материала плиты.

Литература

1. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.

2. Попов А.Г., Дунилин В.М, Масликов А.А., Бородай Е.В., Печерский Д.Н., Шулаков А.С. Аппаратный комплекс для вибрационной и акустической диагностики конструкций // Известия Института инженерной физики, 2016. №3(41). С. 75-77.

3. Ситников И.В., Савин С.Н. Методы обследования строительных конструкций зданий и сооружений с использованием их динамических характеристик и сейсмоакустических волн. – www.rusnauka.com

4. Бойко О.В. Использование псевдорэлеевских волн для изучения упругих параметров пород, вмещающих тоннель, с бетонной или другой несущей обделкой // Технические и естественные науки, 2013. №5(67). С. 162-167.

5. Bay J.A., Stokoe K.H., Field I.I. Determination of Stiffness and Integrity of PCC Members Using the SASW Method. Proceedings of Nondestructive Evaluation of Civil Structures and Materials Conference. University of Colorado at Boulder. 1990.

6. Попов А.Г., Дунилин В.М, Пономарева А.С., Авилов М.Ю., Спорыхин Н.Д., Бородай Е.В. О применении фазового метода обработки измерительной информации при исследовании прочности конструкций из бетона // Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40). С. 92-95.

7. Горшков А.Г., Медведский А.Л., Рабинский Л.Н.. Волны в сплошных средах: М.: Физматлит, 2004. 472 с.

УДК 621.4

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ОБОСНОВАНИЯ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ АДАПТИВНОЙ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВООРУЖЕНИЙ

TO THE QUESTION OF THE NEED TO STUDY THE PROGRAM OF DEVELOPMENT OF ADAPTIVE BALANCED WEAPON SYSTEM

Андрей Александрович Мунтяну
кандидат технических наук
младший научный сотрудник
4 ЦНИИ Минобороны России
Адрес: 141091, Московская обл., г. Королев,
м-н Юбилейный, ул. Тихонравова, д. 29
Тел.: +7(495)515-11-85
E-mail: andreysv90@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены особенности программно-целевого планирования развития системы вооружений в условиях неопределенностей различного характера. Показано, что формирование долгосрочных планов развития системы в таких условиях должно проводиться с учетом обеспечения ее адаптации к возможному неожиданному изменению внешних условий ее развития.

Решение предложенных в статье задач позволит осуществлять обоснование программ развития сбалансированной системы вооружений, обладающей адаптивностью к изменениям внешним условий, а также позволит дать ответы на вопросы о составе и структуре системы вооружений на рубеже 2030–2050-х годов, формах и способах ее применения.

Ключевые слова: система вооружений, военно-стратегическая обстановка, неопределенность, программа развития, научно-методическое обеспечение.

Summary

In article peculiarities of the software was planning the development of the system in the conditions of uncertainty of various character. It is show that the formation of long-term for development of the system in such circumstances should be carried out with a view to ensuring its adaptation to possible sudden changes in the external environment for its development.

The solution proposed in the article, the study programs allow for the development of a balanced system with adaptability to changes in the external environment? As well as allow to give answer on the composition and structure of the system at the turn 2030-2050 of years, forms and method of application.

Keywords: military system, military-strategic situation, uncertainty, program of development, scientific and methodological support.

«Тот, кто первым поймет суть перехода к новому поколению войны и внедрит средства ее ведения, получит решающее преимущество. И наоборот, та нация, которая проявит медлительность в адаптации к новым условиям, обрекает себя на катастрофическое поражение» [1].

Процессы формирования и реализации программ развития системы вооружений (СВ), а также ее применения по целевому назначению подвергаются воздействию различных факторов, многие из которых характеризуются высокой степенью неопределенности. Как показывает анализ различных источников [2-4], такие неопределенности можно разделить на три группы.

Первая группа неопределенностей характеризуется неполнотой и/или неточностью информации о внешних условиях реализации планов

развития вооружения и военной техники (ВВТ). К ним относится изменение военно-стратегической обстановки (ВСО) в мире, которая в соответствии с определением, представленным в [5] отражается в виде:

– технических уровней развития вооружения противника и их количественных показателей;

– количественных и качественных показателей обеспечивающих систем и комплексов противника;

– мест дислокации, форм и способов применения вооружений противником и др. военно-стратегических факторов (ВСФ) [6]

Вторая группа связана с возможностью возникновения в ходе реализации программы развития СВ внутренних неблагоприятных ситуаций и последствий экономического, научно-технического или производственно-технологического характеров.

Третья группа – поведенческие неопределенности обусловленные многообразием возможных вариантов применения оружия, принципиальной невозможностью достоверного прогнозирования конкретных стратегических целей противника, планов применения его ударных средств и неизвестностью заранее момента применения ВС РФ.

Основным отличием неопределенностей первой и второй групп является возможность оценки вероятности событий, предположительно возникающих при реализации программ, и их учета при выборе рационального варианта программы развития СВ [3].

Снижение влияния неопределенностей третьей группы достигается путем имитационного или статистического моделирования вариантов применения вооружений противника по элементам СВ на этапе оценки показателей эффективности решения ею своих функциональных задач. Основной целью такого моделирования является определение оптимального с точки зрения противника варианта воздействия по элементам СВ и осуществление дальнейших процедур процессов планирования и управления реализацией программы развития СВ, исходя из выбранных негативных условий такого воздействия.

Отмеченные первые две группы неопределенностей приводят к существенному *практическому противоречию*, между многовариантностью сценариев ВСО, располагаемыми финансовыми ресурсами и возможностями оборонно-промышленного комплекса (ОПК) с одной стороны и желанием Заказчика сформировать и реализовать программу работ, обеспечивающую создание СВ, способной решать поставленные перед ней задачи с требуемой (или максимальной) эффективностью в любых сценариях ВСО.

В ходе планирование развития СВ в таких условиях возникает опасность (риск) выбора «ложного» или неправильного пути ее совершенствования, который приведет к одному из следующих состояний:

– созданию СВ, возможности которой существенно превосходят максимально возможный уровень угроз военной безопасности России, а, следовательно, необоснованному перерасходу финансовых ресурсов;

– созданию СВ, не отвечающей в перспективе требованиям по обеспечению военной безопасности государства в виду недостаточно полного учета возможного изменения ВСО.

На *рисунке 1* проиллюстрированы возможные «ложные» пути развития СВ.

Одними из наиболее показательных исторических примеров выбора такого «ложного» пути развития, является крупномасштабное наращивание при Н.С. Хрущеве группировки стратегических ракет наземного базирования *(«Мы ракеты как колбасу делаем»)* при одновременном свертывании программ развития стратегической ракетоносной авиации и атомного подводного флота [7].

Исходя из этого, для рационального использования экономических и производственных ресурсов и обеспечения устойчивого и сбалансированного развития СВ, отвечающей требованиям по обеспечению военной безопасности России, *«…нужно научиться «смотреть за горизонт», оценивать характер угроз на 30-50 лет вперед»* [8].

Президентом РФ В.В. Путиным в Указе от 7 мая 2012 года №603 «О реализации планов (программ) строительства и развития Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов и модернизации оборонно-промышленного комплекса» поставлена задача по созданию новой системы анализа и стратегического планирования в области противодействия угрозам национальной безопасности.

Одной из особенностей применения такой системы должна являться сбалансированность СВ и ее адаптивность к возможным изменениям внешнего окружения. При этом под внешними условиями понимается ВСО, определяющая перечень и содержание угроз военной безопасности России, и под сценарии (варианты) которой формируется перспективный боевой состав СВ.

Обобщая результаты исследований по обоснованию понятия «сбалансированная СВ». изложенные в работе [9], а также существующие понятия «адаптация» и «адаптивность» [10] мож-

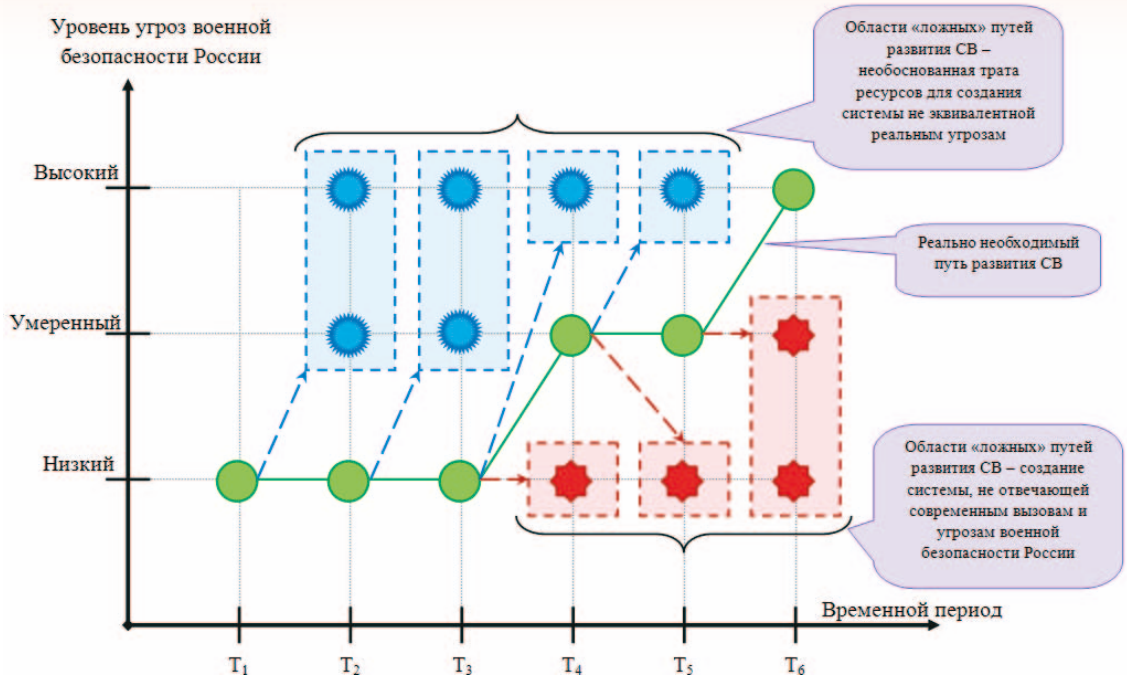


Рис. 1. Иллюстрация возможных путей развития СВ

но сформулировать общее понятие адаптивной сбалансированной системы вооружений (АССВ).

Под **адаптивной сбалансированной системой вооружений** понимается такая система, которая на всем множестве допустимых сценариев военно-стратегической обстановки выполняет свои целевые задачи с требуемой эффективностью и все подсистемы которой рациональны по критерию «эффективность-стоимость-реализуемость».

Отметим, что адаптация СВ под изменения внешних условий ее функционирования (развития) является пассивной [11] и осуществляется путем изменения количественных и качественных параметров ее структурного состава. Достижение к заданному моменту времени необходимого состава и структуры СВ осуществляется путем реализации взаимоувязанного по составу, срокам и исполнителям комплекса программных мероприятий (плановых заданий) (КПМ).

Формирование и управление выполнением данного КПМ проводится лицом принимающим решение (ЛПР), которое выступает своего рода «регулятором».

Если принять за критерий суждения о проведении успешной адаптации системы вооружения к изменившейся ВСО соответствие эффективности выполнения ее функциональных задач требуемому уровню в данных условиях обстановки, то для ЛПР процесс планирования развития АССВ будет заключаться в обосновании такого варианта КПМ, который обеспечит, по сравнению с другими вариантами, требуемую эффективность СВ во всех возможных условиях подготовки и ведения военных действий. При наличии нескольких таких вариантов, выбор может быть осуществлен с учетом максимального значения уровня комплексной эффективности СВ [6] или ее минимальных потерь при изменении ВСО.

На *рисунке 2* представлена структурная схема процесса обеспечения адаптации СВ под изменения ВСО.

Исходя из позиции адаптивности и сбалансированности СВ на *рисунке 3* представлена иллюстрация вариантов СВ, которые могут быть сформированы в процессе реализации планов ее развития.

Обоснование программы развития АССВ должно проводиться на основе комплексных исследований с использованием научно-методического обеспечения (НМО), как ключевого элемента создаваемой новой системы стратегического прогнозирования.

Применение существующей научно-методической базы не позволяет в полной мере обеспечить решение задачи по обоснованию программы развития АССВ и, как следствие, разрешение отмеченного выше практического противоречия. В первую очередь это связано с тем, что в настоящее время не существует единого и комплексного методического обеспечения, позволяющего осуществлять достоверное прогнозирование ВСО. Отсутствие явных законов

Рис. 2. Схема обеспечения адаптации СВ под изменения ВСО

Рис. 3. Иллюстрация возможных вариантов СВ
с точки зрения их адаптивности и сбалансированности

(формализованных зависимостей) трансформации состояний ВСФ обуславливают необходимость привлечения экспертов для ее анализа.

Вместе с тем, если на краткосрочную (от трех до пяти лет) перспективу можно провести качественное прогнозирование ВСО, то на период более 5 лет уже возникают практические сложности, которые требуют рассмотрение множества возможных вариантов состояний как отдельных ВСФ, так и ВСО в целом.

В качестве возможного направления устранения существующих проблемных вопросов в данной области может являться разработка (совершенствование) обобщенных межвидовых методик прогнозирования ВСО на базе методов экспертных оценок, учитывающие корреляцию ВСФ между собой. Исходными данными для таких методик должны являться результаты исследований по профильным методикам научно-исследовательских организаций видов и родов войск ВС РФ.

В условиях наличия неопределенностей второй группы, модернизации ОПК, реализации федеральных целевых программ по совершенствованию их научно-технических и производственно-технологических баз, согласованных с мероприятиями ГОЗ (ГПВ), а также появлением финансовых средств у предприятий, которые они способны направить на свое развитие самостоятельно, возникает необходимость учета изменения их возможностей в процессе реализации программы развития СВ.

Существующее НМО позволяет оценивать уровни реализуемости (риска невыполнения) как отдельных программных мероприятий, так и программы в целом с учетом возможностей предприятий ОПК, которыми они обладали на момент формирования планов Заказчиком. При таком подходе возможны необъективные оценки показателей реализуемости мероприятий или программы в целом, например, в случаях, когда предприятие не обладает на момент планирования возможностями выполнения некоторой опытно-конструкторской работы в установленный срок, однако в ходе проведения работы предприятие модернизирует за счет внутренних резервов свои мощности, что обусловливает своевременность выполнения работ.

Для повышения продуктивности таких оценок возможны два подхода:

1. Передача самим предприятиям-исполнителям функции по оценке реализуемости мероприятий ГОЗ, которые они будут проводить на основе взаимоувязанных план-графиков, включающих как работы в рамках ГОЗ, так и работы по совершенствованию их возможностей.

2. Совершенствование существующего НМО научно-исследовательскими организациями Заказчика в направлении учета многовариантности возможностей предприятий ОПК.

Применение первого подхода на практике малоэффективно ввиду риска возникновения попыток завышения предприятиями ОПК оценок, отражающие их возможности по реализации работ.

Во втором подходе проблемным вопросом является невозможность построения план-графиков по совершенствованию возможностей предприятий ОПК ввиду отсутствия у НИО Заказчика необходимых данных для их формирования, часть из которых может являться коммерческой тайной предприятий.

Таким образом, в данном случае необходим поиск таких путей решения задачи по оценке реализуемости разнотипных мероприятий и программы в целом, которые с одной стороны учитывали бы динамику возможностей предприятий ОПК, а с другой позволяли осуществлять оценку на основе информации о предприятиях, доступной Заказчику.

В работе [12] предложен один из практических способов выхода из аналогичной ситуации, сложившейся в области технико-экономических исследований перспектив развития ВВТ. Данный способ связан с разработкой межведомственных методик оценки стоимостных показателей программных мероприятий. Применение аналогичного подхода при оценке реализуемости мероприятий развития СВ позволит получать от Исполнителя конечные варианты развития его возможностей в определенный момент времени или допустимую по конфиденциальности информацию, необходимую для проведения организациями Заказчика оценок реализуемости мероприятий.

В целом существующие методические элементы хоть и направлены на выбор рациональной (оптимальной) программы развития СВ с учетом ее показателей стоимости и реализуемости (риска невыполнения) и показателя эффективности самой СВ, но рассматривают показатели качества (эффективности) системы для некоторой узкой (как правило, наиболее вероятной) совокупности внешних условий и без учета вероятностно-временных параметров их проявления.

Исходя из этого выбранный вариант комплекса программных мероприятий обеспечивает создание условно адаптивной СВ, т.к. она является наилучшей только для некоторой части возможных условий. При этом какая-либо подсистема формируемой СВ может обладать эф-

фективностью ниже минимально допустимого уровня, что не соответствует критерию сбалансированности.

В качестве возможного направления совершенствования НМО в данной области может выступать модернизация существующей системы критериев, показателей, параметров и ограничений, применяемой при обосновании программы развития СВ, в части введения критериев сбалансированности и адаптивности СВ в условиях многовариантности сценариев ВСО и их учет на этапе выбора рациональной программы развития СВ.

Подводя итог вышеизложенному можно констатировать то, что отмеченные недостатки существующего НМО обоснования программы развития СВ обуславливают наличие *методического противоречия*, которое заключается в необходимости проведения комплексных исследований по обоснованию программы развития АССВ с одной стороны и возможностями существующей научно-методической базы по обеспечению проведения таких исследований с другой.

Указанные практическое и методическое противоречия определяют актуальность и необходимость проведения исследований, целью которых является повышение эффективности долгосрочного планирования развития СВ. Основными задачами (этапами) такого рода исследований могут являться:

– анализ особенностей комплексного обоснования программ развития СВ на современном этапе с учетом неопределенностей первой и второй групп;

– анализ возможностей предприятий ОПК по своевременному и качественному выполнению мероприятий по развитию СВ с учетом изменений экономической обстановки в стране и модернизационных процессов их научно-технических и производственно-технологических баз;

– анализ тенденций и возможных вариантов развития ВСО, основных внешних ВСФ, влияющих на развитие СВ;

– разработка системы параметров, показателей и критериев обоснования программы развития АССВ в условиях многовариантности ВСО;

– разработка новых методов и методик, позволяющих устранить существующее методическое противоречие.

Решение поставленных задач может сопровождаться дополнением и уточнением существующего понятийно-терминологического аппарата обоснования программ развития СВ.

Таким образом, в статье раскрыты некоторые особенности обоснования программ развития СВ в современных условиях, которые характеризуются высокой степенью неопределенности, но в тоже время поддаются экспертному и/или статистическому анализу.

Решение отмеченных задач позволить осуществлять обоснование программ развития сбалансированной СВ, обладающей адаптивностью к изменениям внешним условий, а также позволит дать ответы на вопросы о составе и структуре СВ на рубеже 2030–2050-х годов, формах и способах ее применения.

Литература

1. Буренок В.М., Фаличев О.В. Война принтеров // Военно-промышленный курьер, 2016. №642(27).

2. Василенко В.В. Методические особенности интервального оценивания вклада мероприятий по реализации НТЗ в потенциал ядерного сдерживания // Стратегическая стабильность, 2016. №1.

3. Подольский А.Г., Лавринов Г.А. Содержание понятий неопределенности и риска в области формирования и реализации планов развития ВВТ // Вооружение и экономика, 2010. № 1(9).

4. Стратегическое ракетное вооружение. Методология, опыт, проблемы. Книга 1. М.: 4 ЦНИИ, 2003. 652 с., илл.

5. Словарь военных терминов. М.: Воениздат, 1988.

6. Мунтяну А.А., Мунтяну А.В., Гришин С.С. О комплексной оценке эффективности применения группировки стратегических ударных средств России в условиях неопределенности военно-стратегической обстановки // Вооружение и экономика, 2017. №1.

7. Матвиенко Ю.А. Формирование на основе инновационного подхода предложений по совершенствованию процессов создания НТЗ в интересах автоматизированного управления стратегическими ракетными системами // Тезисы доклада на Международном военно-техническом форуме «Армия-2015» / Деловая программа круглого стола «Реализуемость прорывных технологий при создании ракетного вооружения», 2015.

8. Путин В.В. Быть сильными: гарантии национальной безопасности для России // Российская газета, 2012. №5708(35).

9. Мунтяну А.В., Печатнов Ю.А., Тагиров Р.Г. К вопросу о понятии «сбалансированная система вооружений» // Военная мысль, 2007. №12.

10. Кузнецов С.А. Большой толковый словарь русского языка. Спб.: Норит, 1998.

11. Сраговић В.Г. Теория адаптивных систем. М.: Наука, 1976. 320 с.

12. Спренгель А.В. Актуальные проблемы совершенствования организации и методов обоснования программ развития сложных систем вооружения // Стратегическая стабильность, 2016. №4(77).

УДК 355.2

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ, СОДЕРЖАНИЯ И МЕТОДИКИ ВОЕННО-СПЕЦИАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СЛУШАТЕЛЕЙ И КУРСАНТОВ В ВОЕННО-ИНЖЕНЕРНЫХ ВУЗАХ

FEATURES OF THE ORGANIZATION, CONTENT AND METHODOLOGY OF MILITARY-SPECIAL TRAINING OF STUDENTS AND CADETS IN MILITARY-ENGINEERING UNIVERSITIES

Николай Иванович Семизоров
кандидат философских наук, профессор
заведующий кафедрой
гуманитарно-социальных дисциплин
филиал ВА РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142202, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4976)72-19-11

Василий Васильевич Дудулин
доктор педагогических наук, доцент
профессор кафедры
гуманитарно-социальных дисциплин
филиал ВА РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142202, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4976)72-19-11

Аннотация
В статье определено место военно-специальной подготовки в системе подготовки слушателей и курсантов. Проведен анализ организации, содержания и методики военно-специальной подготовки слушателей и курсантов в военно-инженерных вузах, выявлены особенности ее функционирования в современных условиях и выделены возможные направления ее совершенствования.
Ключевые слова: военно-специальная подготовка, организация, содержание, образовательный процесс, обучение, воспитание, эффективность.

Summary
In the article, the place of training in the system of military training of listeners and cadets. The analysis of the Organization, content and methods of military and special training of listeners and cadets at military engineering universities, peculiarities of its operation under modern conditions and highlighted possible areas of improvement.
Keywords: military training, organization, content, education, learning, education, efficiency.

Неотъемлемым условием развития теоретических знаний о военно-специальной подготовке переменного состава в военно-инженерных вузах является изучение ее организации, содержания и методики, представление о которых позволит оценить состояние данного процесса и предложить пути его совершенствования.

В современной военной школе военно-специальная подготовка организуется в соответствие с учебными планами и учебными программами по военно-специальным, тактико-специальным, военно-техническим дисциплинам, в тесной связи с тактическими (оперативно-тактическими), гуманитарными, социально-экономическими и общевоенными дисциплинами, на основе знаний математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин.

В военно-инженерных вузах она является результатом усвоения специальных систематизированных знаний, приобретения навыков и умений в области систем вооружения, применения вооружения и техники в ходе организации и выполнения задач действий войск и их боевого обеспечения.

Место военно-специальной подготовки в системе военно-профессиональной подготовки

слушателей и курсантов в вузе: **а** – при подготовке курсантов; **б** – при подготовке слушателей (см. *рисунок 1*).

Военно-специальная подготовка направлена на формирование у выпускников вузов необходимых качеств и готовности к деятельности по организации и выполнению задач и их обеспечения в различных условиях в соответствии с должностным предназначением: при подготовке курсантов на должности офицеров в тактическом, при подготовке слушателей – в оперативном звене.

Это обстоятельство вносит отличия в организацию, содержание и методику военно-специальной подготовки обучающихся в вузе.

Организация военно-специальной подготовки осуществляется на основе руководящих документов, регламентирующих образовательный процесс вуза.

К основополагающим документам относятся федеральные законы в области образования [1]; постановления правительства [2]; федеральные государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования; квалификационные требования к уровню военно-профессиональной подготовки выпускников высших военно-учебных заведений (дополнение к ФГОС ВПО); приказы и директивы МО РФ, приказы, директивы и организационно-методические указания командующих видов (родов) войск, приказы, приказания и указания начальников вузов.

Анализ руководящих документов показывает, что в них уделяется значительное внимание повышению уровня фундаментальных знаний по военно-специальной подготовке слушателей и курсантов, внедрению в образовательный процесс современных педагогических тех-

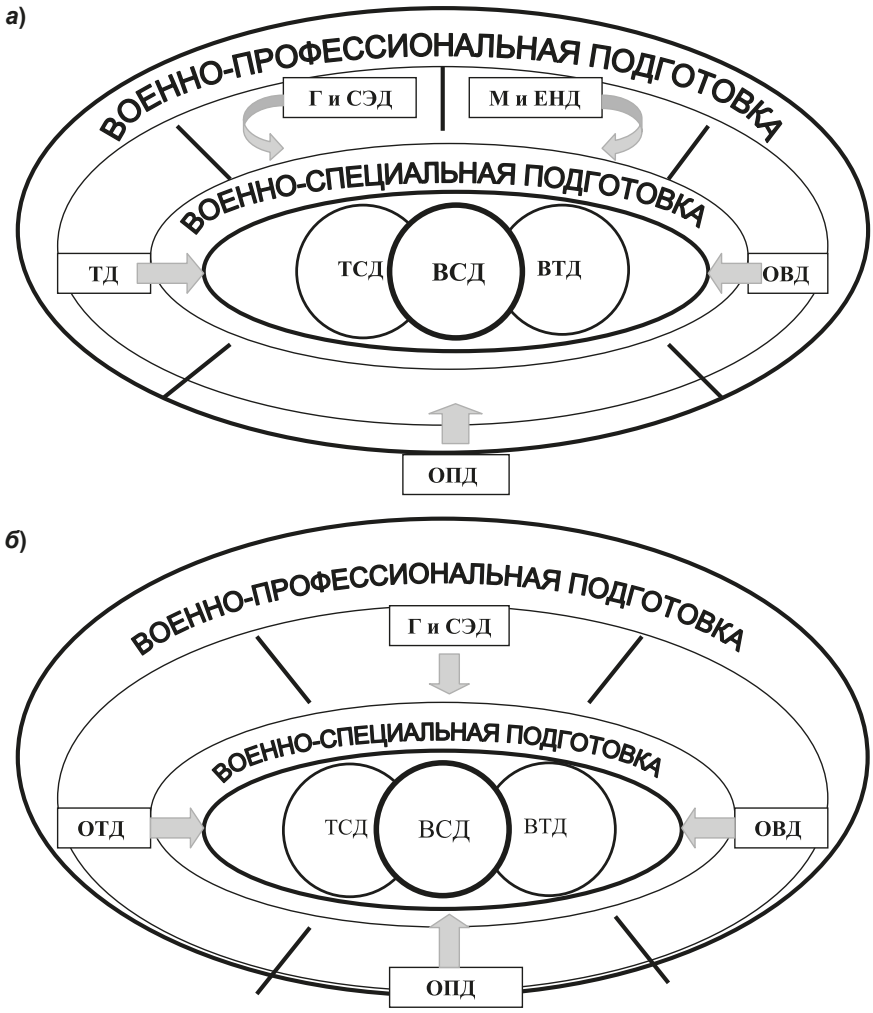


Рис. 1. Место военно-специальной подготовки в системе военно-профессиональной подготовки слушателей и курсантов в вузе: ***а***) при подготовке курсантов; ***б***) при подготовке слушателей

нологий, практической направленности в обучении, готовности к деятельности по организации и выполнению задач боевых действий войск и их обеспечению в различных условиях.

Организационной основой военно-специальной подготовки слушателей и курсантов в вузах на долгосрочный период является постановление Правительства РФ, Постановление правительства РФ от 15 апреля 2014 г. №295 «Об утверждении государственной программы РФ «Развитие образования» на 2013-2020 годы, определившее программу реформирования системы военного образования на период до 2020 г.» [2]. Оно ориентирует вузы на: приведение содержания военного образования в соответствие с требованиями ФГОС ВПО и квалификационными требованиями к выпускникам по их должностному предназначению; укомплектованность педагогических коллективов вузов учеными до уровня, отвечающего показателям государственной аккредитации; информационно-методическое обеспечение образовательного процесса; модернизацию элементов и объектов учебно-материальной базы; совершенствование практических навыков и умений выпускников вузов [4].

Важнейшим компонентом процесса военно-специальной подготовки слушателей и курсантов в вузах является ее содержание. Оно определяется как совокупность научных знаний, навыков и умений, способов деятельности и качеств личности, которые должен приобрести и которыми должен овладеть выпускник вуза для успешного осуществления военно-профессиональной деятельности.

В ходе исследования установлено, что термин «военно-специальная подготовка» не имеет однозначного определения в военно-педагогической науке, его не аннотируют ни универсальные, ни специальные энциклопедии и словари. В то время как он имеет распространение в руководящих документах по организации процесса обучения в вузах, а также при определении структуры военно-профессиональной подготовки специалистов в вузе. Следует также подчеркнуть, что военно-специальная подготовка исследовалась мало.

Анализ различных подходов к определению военно-специальной подготовки позволил дать следующее понимание данного явления. Военно-специальная подготовка – это относительно самостоятельный педагогический процесс воспитания, обучения, развития обучающихся, их психологической подготовки к деятельности, направленной на организацию и применение средств вооружения и военной техники в ходе выполнения задач и их обеспечения в мирное время и при ведении боевых действий Анализ публикаций в военной периодической печати за двенадцать лет показывает, что в прямой постановке теоретические проблемы определения содержания исследуемого вида подготовки не рассматривались.

Основным документом, определяющим содержание подготовки специалистов в вузе, являются квалификационные требования к военно-профессиональной подготовке выпускников с высшим военным образованием и высшим военно-специальным. Они содержат характеристики военной специальности и общие требования к военно-профессиональной подготовленности выпускника вуза. Квалификационные требования разрабатываются как обязательное дополнение к ФГОС ВПО, по соответствующей специальности [3]. Они реализуются через учебные планы и учебные программы, оказывая непосредственное влияние на формирование структуры и содержание военно-специальной подготовки слушателей и курсантов в вузах.

Важной особенностью отмеченных документов является, выраженный в их формировании подход к описанию требований к объему и содержанию подготовки специалистов с высшим профессиональным образованием. Данные требования сформулированы с использованием категорий, определяющих уровень подготовленности выпускника: «знать», «уметь», «владеть».

Тенденция к усложнению профессиональной деятельности современного специалиста выдвигает требования о том, что проектирование содержания военно-специальной подготовки обучающихся должно базироваться, как показывают исследования, на модели профессиональной деятельности специалиста, требованиях к профессии (профессиограмме), а также к личности военного специалиста (психограмме). На их основе предлагается порядок формирования квалификационных требований к выпускнику вуза (см. *рисунок 2*).

Важно отметить, что структура и содержание нового поколения учебных планов и учебных программ подготовки слушателей и курсантов отличается характерным построением циклов учебных дисциплин, а также дисциплин военно-специальной подготовки, выраженной логикой изучения учебного материала и использованием широкого диапазона форм и методов обучения.

Как свидетельствуют результаты изучения планирующих и учебно-методических материалов в военно-инженерных вузах, уделяется внимание формированию командно-методиче-

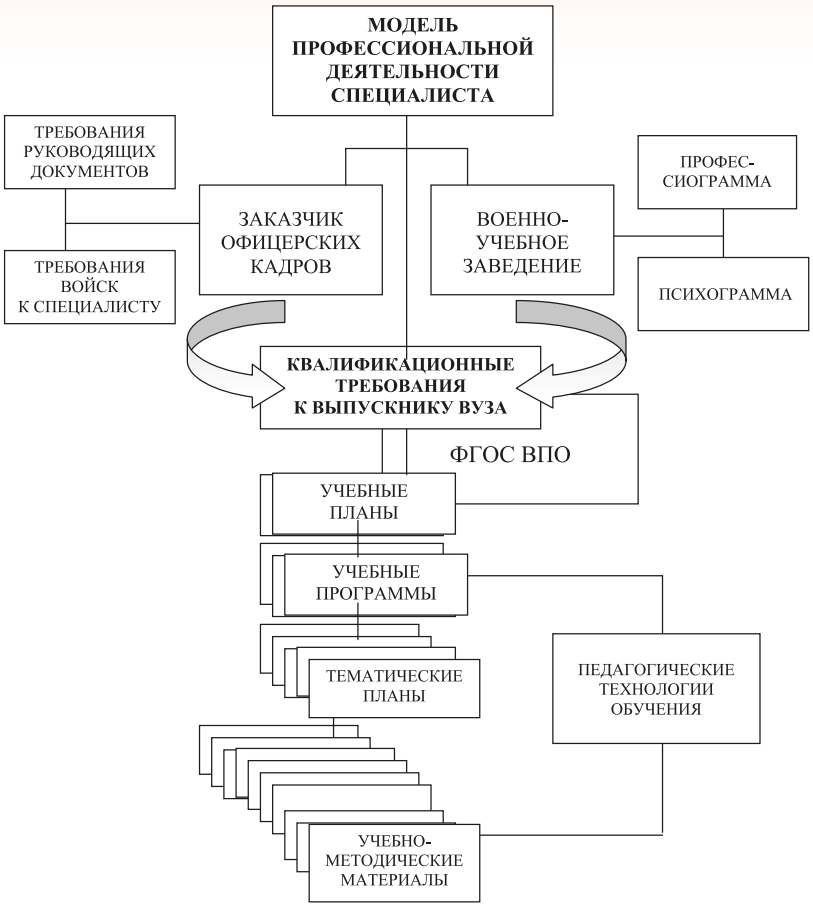


Рис. 2. Порядок формирования квалификационных требований к выпускнику вуза

ских навыков и навыков воспитательной работы. В основу их формирования при проведении занятий по военно-специальной подготовке положено практическое командование на занятиях отделением, взводом, решение ситуационных задач, характерных для боевой и повседневной деятельности по предназначению выпускника.

Результаты бесед с преподавателями и руководящим составом вузов позволили отметить, что организация образовательного по ФГОС ВПО на родственные гражданские специальности ведет к снижению профессионализма выпускников за счет сокращения объема и содержания военно-специальной подготовки. Кроме того, деятельность вузов по гражданским стандартам не способствует стабильной работе выпускников на первичных офицерских должностях в войсках.

Еще одной характеристикой процесса военно-специальной подготовки является методическая работа на кафедрах. Она включает целенаправленную деятельность коллективов кафедр по всестороннему методическому обеспечению обучения и воспитания офицерских кадров.

Целью методической работы на кафедрах является постоянное совершенствование организации, содержания, форм, методов и средств обучения на научной основе с учетом достижений науки, техники и опыта войск.

Основная задача методической работы состоит в научном обосновании и практическом осуществлении обучения слушателей и курсантов по дисциплинам военно-специальной подготовки с учетом требований, предъявляемых к выпускникам вузов, а также в обеспечении постоянной творческой активности каждого преподавателя в совершенствовании методики подготовки обучающихся.

В основе теоретического обучения в ходе военно-специальной подготовки обучающихся лежит дедуктивно-аналитический метод познания, обеспечивающий освоение дисциплин военно-специальной подготовки после изучения фундаментальных наук (основ) и организующий связь теоретических знаний в общую систему. Основы теоретической подготовки закладываются в систематизированном лекционном курсе дисциплин военно-специальной подготовки.

Определяющим в методике формирования профессионально важных качеств выпускника вуза является практическое обучение. Методика практического обучения призвана формировать навыки профессиональной деятельности по специальности и методической подготовки, обеспечить закрепление у обучающихся умения в использовании теоретических знаний как средства решения практических профессиональных задач и получения новых знаний.

Из анализа учебных планов подготовки специалистов в вузах, а также содержания учебно-методических материалов проведения практических видов занятий следует, что кроме традиционных, существенно способствуют повышению индивидуализации обучения, развитию творческой активности и самостоятельности, формированию ответственности за принимаемые решения занятия по моделированию, разработке алгоритмов деятельности при выполнении боевых задач и задач обеспечения действий войск, проектированию, расчетно-графические работы и тренировки. Значительно способствует наращиванию и закреплению профессионально важных качеств у обучающихся проведение комплексных занятий по тактической (оперативно-тактической), тактико-специальной, военно-технической и общевоенной подготовке.

Исследование организации, содержания, методики и технологии военно-специальной подготовки слушателей и курсантов позволило определить, что наряду с целым рядом положительных результатов в деятельности вузов, качество военно-специальной подготовки переменного состава, в ходе многолетних преобразований в системе военного образования, заметно снизилось, а результативность проводимых мероприятий по реформированию системы военного образования оказалась невысокой.

В качестве основных причин снижения уровня военно-специальной подготовки слушателей и курсантов в вузах можно выделить: слабую предшествующую подготовку кандидатов на учебу по целому ряду общеобразовательных дисциплин и изменение мотивации обучающихся в вузах; сокращение объема и изменение содержания военно-специальной подготовки курсантов, ввиду необходимости обучения по ФГОС ВПО как по военной, так и по гражданской специальности в установленные сроки; недостаточная научная обоснованность квалификационных требований к военно-специальной подготовке выпускников вузов, а также содержания и структуры отдельных учебных дисциплин; снижение профессионального уровня преподавательского состава, его педагогических знаний и методических навыков в предметной области деятельности, ввиду резкого омоложения и сокращения кафедральных коллективов, их неоднородности по составу, возрасту и опыту педагогов; незавершенность целостной педагогической технологии подготовки офицерских кадров в вузе, с учетом специфики и характера профессиональной деятельности выпускников в войсках и особенностей подготовки обучающихся в вузах.

Таким образом, анализ организации, содержания и методики военно-специальной подготовки слушателей и курсантов в военно-инженерных вузах позволил выявить особенности ее функционирования в современных условиях и выделить возможные направления ее совершенствования. При этом ее организация осуществляется на основе планирования, координации взаимодействия субъектов процесса военно-специальной подготовки, его обеспечения, контроля и учета результатов; в содержании превалирует деятельностный компонент, основой методики является педагогическое взаимодействие участников процесса с целью подготовки слушателе и курсантов к профессиональной деятельности в войсках.

Литература

1. Федеральный закон Российской Федерации от 29 декабря 2012 г. №273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (в редакции от 31 декабря 2014 г. №500-ФЗ). М.: Просвещение, 2014. 56 с.

2. Постановление правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 295 «Об утверждении государственной программы РФ «Развитие образования» на 2013-2020 годы».

3. Матушанский Г.У., Фролов А.В. Модели подготовки и профессиональной деятельности специалистов // Высшее образование в России, 2003. №4. С. 92-95.

4. Панков Н.И. Стратегия военной школы // Красная звезда, 2002. №101(23646). 8 июня.

5. Пашнев А.Н. Математическая модель учебного процесса // Известия Института инженерной физики, 2007. №4. С. 66-67.

УДК 35.089.7

НЕОБХОДИМОСТЬ И СПОСОБЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ ВОЕННЫХ РАЦИОНАЛИЗАТОРОВ КАК ОДИН ИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

THE NEED AND WAYS TO STIMULATE MILITARY RATIONALIZERS AS ONE OF THE WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE EXPLOITATION OF WEAPONS, MILITARY AND SPECIAL EQUIPMENT

Светлана Витальевна Мурашова
кандидат экономических наук, доцент
доцент кафедры финансовой стратегии
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»
Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49
Тел.: +7(921)961-59-29 E-mail: fpp5@list.ru

Владимир Валерьевич Григорьев
магистрант
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»
консультант
служба управления ракетного вооружения РВСН
Адрес: 119160, Москва, в/ч 77087-В
Тел.: +7(915)465-98-94 E-mail: gvvru@yandex.ru

Аннотация
В статье отражены результаты анализа состояния и организации стимулирования рационализаторской работы личного состава в Ракетных войсках стратегического назначения. Выявлены некоторые пути решения проблем стимулирования технического творчества военнослужащих и гражданских специалистов.
Ключевые слова: рационализаторы, организация рационализаторской работы, рационализаторские предложения; мотивация; моральное стимулирование человека.

Summary
The article reflects the results of the analysis of the organization and stimulation of innovation work of personnel in the Strategic Missile Forces. The Identified of ways to address the problems in the development of technical creativity of military and civilian specialists.
Keywords: innovators, the organization of rationalization work; the rationalization proposals; motivation; moral stimulation of human.

Рационализаторские предложения в Вооруженных Силах Российской Федерации являются формой проявления технического творчества личного состава. Само по себе данное творчество должно быть направлено на решение следующих основных задач:

- повышение эффективности боевого и практического применения вооружения и военной техники (далее именуется – ВВТ);
- улучшение технических характеристик образцов ВВТ, повышение их надежности;
- сокращение сроков приведения ВВТ в соответствующие степени боевой готовности;
- улучшение качества эксплуатации, обслуживания, ремонта и сбережения материальной части;
- создание новой и усовершенствование существующей учебно-материальной базы;
- повышение производительности и качества труда, экономию материальных, трудовых и финансовых ресурсов [1].

Рационализаторским предложением признается техническое решение задачи, являющееся новым и полезным для воинской части, в которой оно было подано. Объектами рационализаторского предложения могут быть: конструкция

изделия; технологический процесс или материал [4].

Основными документами, регламентирующими рационализаторскую деятельность в Вооруженных Силах Российской Федерации, являются:

– Приказ министра обороны Российской Федерации от 4 июля 1993 г. № 340 «О введении в действие Положения об органах по изобретательству Вооруженных Сил Российской Федерации»;

– Приказ министра обороны РФ от 30.09.2012 № 3080 «О проведении Всеармейского смотра на лучшую организацию изобретательской, рационализаторской и патентно-лицензионной работы в Вооруженных Силах Российской Федерации»;

– Устав внутренней службы Вооруженных Сил Российской Федерации;

– Инструкция о рационализаторских предложениях в Вооруженных Силах Российской Федерации, утверждена министром обороны Российской Федерации от 29 ноября 2004 г.

Проведенные нами исследования показали недостаточный уровень организации рационализаторской деятельности и мотивации к ней личного состава в Ракетных войсках стратегического назначения (далее РВСН), что подтверждают следующие статистические данные:

● по итогам 2014 года подано 225 заявок на рационализаторские предложения, из них 213 заявок приходится на военные вузы (далее ВВУЗы) РВСН, 12 заявок на объединения, соединения и воинские части;

● по итогам 2015 года подано 309 заявок, из них 220 заявок приходится на ВВУЗы РВСН, 89 заявок на объединения, соединения и воинские части (значительно увеличилось количество заявок на 4 ГЦМП (до 67 заявок) и арсеналах РВСН (10 заявок). Произошло это вследствие изменения методов работы нештатных органов по изобретательству и рационализации, а также изменения в подходах морального стимулирования военных рационализаторов.

Большое количество заявок на рационализаторские предложения в ВВУЗах обеспечивается организацией учетного процесса и деятельностью штатных органов по изобретательству и рационализации. На эти органы возлагаются следующие обязанности:

● разработка руководящих документов и планов, подготовка проектов приказов, директив и указаний командиров (начальников) по организации и проведению изобретательской, рационализаторской и патентно-лицензионной работы, контроль за их выполнением;

● участие в установленном порядке в разработке проектов нормативных актов Российской Федерации по вопросам технического творчества;

● организация и проведение мероприятий по вовлечению военнослужащих и гражданского персонала Вооруженных Сил Российской Федерации в техническое творчество, по направлению деятельности изобретателей и рационализаторов на решение актуальных для войск и сил флота задач;

● обмен опытом изобретательской, рационализаторской и патентно-лицензионной работы, внедрение ее эффективных форм, популяризация лучших изобретателей, рационализаторов и организаторов технического творчества и т.д. [2].

Поэтому их участие в учете результатов рационализаторской деятельности столь велико.

По-прежнему на низком уровне остается организация рационализаторской деятельности в объединениях и соединениях РВСН. Заявки на рационализаторские предложения, как правило, не оформляются и установленным порядком не подаются. Основной причиной данной ситуации, как мы считаем, является недостаточное экономическое и моральное стимулирование творческой активности и, как следствие, отсутствие заинтересованности личного состава и гражданского персонала в оформлении установленным порядком заявлений на рационализаторские предложения.

В соответствии с «Инструкцией о рационализаторских предложениях в Вооруженных Силах Российской Федерации» средний размер вознаграждения за рационализаторское предложение, которое использовано в воинской части, составляет 300 рублей, однако на оформление заявления на рационализаторское предложение с описанием предложения, а также эскизов, чертежей, схем, расчетов и других дополнительных материалов, необходимых для пояснения сущности предложения, обоснования и подтверждения его практической ценности, требуются значительные затраты личного времени военнослужащего (гражданского персонала).

Впрочем, отсутствие заявок на рационализаторские предложения не говорит об отсутствии технического творчества личного состава в войсках вообще, так как в процессе эксплуатации вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) постоянно возникают проблемы различного плана, в том числе неисправности и нештатные ситуации, не оговоренные в эксплуатационной документации, а так же вопросы повышения эффективности боевого и практического

применения новых образцов ВВСТ, требующие рационального подхода в их решении.

Так, например, на одном из арсеналов было разработано и внедрено рационализаторское предложение «Переднее тягово-толкающее сцепное устройство для тягача», автор майор Сомов В.В. Предложение повышает удобство стыковки тягача на базе МАЗ-543 с ангаро-складской тележкой для ее перемещения без дополнительных разворотов тягача, что значительно экономит горючее, ресурс тягача и повышает оперативность работ.

В другой воинской части было разработано и внедрено рационализаторское предложение. «Съемник коробки передач для автомобиля КрАЗ-255», автор старшина Матаков Е.В. Предложение позволяет проводить демонтаж, ремонт и монтаж коробки передач без разборки автомобиля, что значительно сокращает время ремонта.

В то же время, по причине низкого стимулирования рационализаторские предложения, как правило, в виде заявок не подаются и не регистрируются (в лучшем случае оформляются в виде технических решений или указаний соответствующего командира (начальника), не обобщаются, к расширенному использованию в войсках не представляются, в результате чего в разных воинских частях, вооруженных однотипным ВВСТ, приходится решать одинаковые проблемы, что само по себе неэффективно.

В условиях широкомасштабного перевооружения на новые образцы вооружения, военной и специальной техники как никогда остро встает вопрос стимулирования и развития рационализаторской деятельности, обобщения, обмена опытом и расширенного внедрения в войсках высокоэффективных рационализаторских предложений.

С этой целью до внесения изменений в руководящие документы Министерства обороны по порядку и увеличению размеров выплаты вознаграждений за рационализаторские предложения, необходимо как можно шире использовать возможности морального стимулирования. Моральное стимулирование – это регулирование поведения человека на основе предметов и явлений, отражающих общественное признание, повышающих его престиж как специалиста [2]. Поэтому, повышения престижа военных рационализаторов и должностных лиц, отвечающих за организацию и ведение рационализаторской работы, можно добиться, поощряя их деятельность властью соответствующих командиров (начальников), ходатайствовать о поощрении в вышестоящие органы военного управления:

– объявлять благодарность;
– награждать почетными грамотами;
– помещать фотографию на Доску почета;
– награждать ценными подарками;
– учитывать результаты рационализаторской деятельности при назначении на вышестоящую должность;
– вносить в Книгу почета воинской части (корабля) фамилии наиболее активных рационализаторов [7];
– представлять к награждению ведомственными и государственными наградами.

«Командир (начальник) обязан… поощрять военнослужащих, добившихся наилучших творческих результатов» [3].

Выбор вида поощрения применительно к конкретному лицу должен определяться не только общественной полезностью, но и его личными приоритетами, целями, планами, активностью жизненной позиции, участием в профессиональной и общественной деятельности коллектива [6].

В ходе исследования проблем рационализаторской деятельности в Вооруженных Силах Российской Федерации выявлен еще один вопрос, требующий решения на самом высоком уровне – согласно Инструкции о рационализаторских предложениях в Вооруженных Силах Российской Федерации [4] не признается рационализаторским предложением созданный (и не получивший свидетельство на программу для ЭВМ) программный продукт или предложение на использование существующих программных продуктов для решения задач повышения эффективности эксплуатации ВВСТ.

В то же время в войсковых частях и учреждениях нашли широкое применение самостоятельно созданные, например с использованием таблиц Excel формы для расчета текущей, годовой и перспективной потребности материально-технических средств для обеспечения эксплуатации каждого вида ВВСТ, формы автоматизированного учета наработки и расчета остатка моторесурса (ресурса) образцов ВВСТ, автоматизированного расчета обобщенных графиков восстановления боевой готовности, созданные с использованием СУБД Access программы по учету в масштабах рода войск агрегатов и систем (например системы управления войсками), учитывающие их местонахождение, блочный состав, наработку, сроки изготовления, возникающие неисправности с указанием способов устранения, продолжительности устранения неисправности, времени нахождения в неисправном состоянии, сроков проведения всех видов технического обслуживания и доработок и т.п.

Данные формы и программы значительно оптимизируют процессы эксплуатации ВВСТ, повышают оперативность расчетов, позволяют проводить анализы критических ситуаций процессов эксплуатации и принимать оперативные меры по устранению причин таких ситуаций.

С целью решения указанного проблемного вопроса в Министерство обороны Российской Федерации подготовлены и направлены предложения о внесении изменений в руководящие документы в части признания рационализаторскими предложениями созданные программные продукты или предложение на использование существующих программных продуктов для решения задач повышения эффективности эксплуатации ВВСТ.

Литература

1. Приказ министра обороны Российской Федерации от 04 июля 1993 г. №340 «О введении в действие Положения об органах по изобретательству Вооруженных Сил Российской Федерации».

2. Приказ министра обороны РФ от 30.09.2012 №3080 «О проведении Всеармейского смотра на лучшую организацию изобретательской, рационализаторской и патентно-лицензионной работы в Вооруженных Силах Российской Федерации».

3. Устав внутренней службы Вооруженных Сил Российской Федерации. Утвержден Указом Президента Российской Федерации от 10 ноября 2007 г. №1495 (в ред. 02.01.2017).

4. Инструкция о рационализаторских предложениях в Вооруженных Силах Российской Федерации. Утверждена министром обороны Российской Федерации от 29 ноября 2004 г.

5. Ловчева М. Моральное стимулирование персонала // «Кадровик. Кадровый менеджмент», 2008. №12.

6. Бойко Ю.И., Коробкина М.А. Мотивация и стимулирование труда как объективный фактор повышения конкурентоспособности предприятия в условиях становления и развития рыночных отношений // Научно-методический электронный журнал «Концепт», 2016. Т. 2. С. 241–245. URL: http://e-koncept.ru/2016/46061.htm.

7. Дисциплинарный устав Вооруженных Сил Российской Федерации. Утвержден Указом Президента Российской Федерации от 10 ноября 2007 г. №1495 (в ред. 02.01.2017).

УДК 355/359

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО МЕЖДУ СТРАНАМИ БРИКС: ВЫГОДЫ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

MILITARY-TECHNICAL COOPERATION BETWEEN THE BRICS COUNTRIES: BENEFITS, PROBLEMS, PROSPECTS

Светлана Юрьевна Сивоплясова
кандидат экономических наук
доцент
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт» (Национальный исследовательский университет), УЦ «Интеграция»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Октябрьская, д. 21
Тел. +7(4967)35-25-38

Александр Сергеевич Стрелков
студент
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт» (Национальный исследовательский университет), УЦ «Интеграция»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Октябрьская, д. 21
Тел. +7(4967)35-25-38

Аннотация
В статье рассматриваются вопросы военно-технического сотрудничества между странами БРИКС, а также вопросы экспорта оружия и военной техники. Проанализированы объемы экспорта оружия и военной техники, определены основные страны-импортеры и страны-экспортеры в рамках экономического объединения, выявлены перспективы военно-технического сотрудничества между государствами. Обоснована выгода от сотрудничества. На основе проведенного анализа, выявлены проблемы и недостатки военно-технического сотрудничества на данном этапе, предложены мероприятия по их решению.
Ключевые слова: военно-техническое сотрудничество, экспорт вооружения, импорт вооружения, выгоды и трудности военно-технического сотрудничества, страны БРИКС.

Summary
This article is devoted to the issues of military-technical cooperation between the BRICS countries, as well as the issues of export of weapons and military equipment. Exports of weapons and military equipment are analysed, the major importing countries and exporting countries are identified within the framework of an economic Union, prospects of military-technical cooperation between States are revealed. Benefits of cooperation are justified, problems and shortcomings of military-technical cooperation at this stage are identified on the basis of conducted analysis. Activities for solving them are suggested.
Keywords: military-technical cooperation, export of weapons, import of weapons, benefits and challenges of military-technical cooperation, the BRICS countries.

Введение

Россия рассматривает работу в рамках организации БРИКС как одно из стратегически важных направлений своей внешнеполитической деятельности. Очевидно, что сотрудничество в рамках БРИКС занимает важное место в российской внешней политике, проводимой в целях восстановления ее положения как мировой великой державы.

Несмотря на то, что страны БРИСК не создали единый политический союз, можно констатировать их продолжающееся взаимодействие в самых разных сферах. Несомненно, важную роль играет военно-техническое сотрудничество. Россию, как второго по величине экспортера вооружений в мире, эта сфера взаимодействия с партнерами по объединению интересует особенно.

К сожалению, на данный момент, о развитии полноценного военного сотрудничества внутри стран БРИКС или о создании какого-либо межконтинентального военного союза, похожего на блок НАТО, говорить пока не приходится. На данный момент военно-техническое со-

трудничество внутри стран БРИКС носит двухсторонний характер. Как пример этому можно привести совместные учения Китая и России, и главное – поставки вооружения и военной техники на экспорт.

На данный момент военно-техническое сотрудничество в рамках БРИКС ограничивается, по большому счету, ролью России как одного из крупнейших экспортеров вооружений и технологий по их производству.

Россия занимает особое место среди стран БРИКС. Главное преимущество страны над другими с участниками БРИКС состоит в том, что Россия имеет исторически сложившуюся развитую военно-техническую базу, сильную военную мощь и огромное влияние в сфере мировой безопасности. Российская Федерация является единственным государством в мире, которое сохраняет военно-стратегический паритет с США.

Мировая политическая ситуация

Военно-политическая обстановка в мире сильно изменилась за последнее десятилетие. В мире существенно возросло количество очагов военно-политической напряженности. У России на юго-западных рубежах продолжается напряженность на границе с Украиной. Не стоит забывать и о проблемном регионе – Северном Кавказе. Грузия до сих пор надеется вернуть в свой состав Абхазию и Южную Осетию, а Россия, признавшая независимость этих республик, является, по сути, единственным гарантом их безопасности.

Ряд других участников БРИКС также имеет серьезные проблемы со странами-соседями. Определенные противоречия со странами-соседями есть у Индии и Китая. КНР пытается вернуть под свою юрисдикцию Тайвань. Так же Пекин имеет ряд территориальных споров с Токио. Непосредственно рядом с Индией расположены вечно воюющий Афганистан и нестабильный Пакистан, обладающий ядерным оружием и имеющий территориальные претензии к соседу.

Увеличение количества террористических группировок – ИГИЛ (Исламское государство), Аль-Каида, Талибан – которые своей «деятельностью» затрагивают все большее количество стран, позволяет говорить, что на данный момент эту проблему можно отнести к глобальной.

В сложившихся новых условиях Россия как страна – уникальный обладатель развитой военно-технической базы имеет отличные перспективы для сотрудничества со многими странами БРИКС. Кроме того, Россия является одним и из постоянных членов Совета Безопасности ООН, имеет богатые природные ресурсы и большой опыт политической борьбы между великими державами.

На данный момент Россия занимается второе место в списке стран, крупнейших производителей вооружения и военной техники, как для внутреннего рынка, так и для экспорта, уступая лишь США.

Основные партнеры России в рамках военно-технического сотрудничества

На данный момент РФ имеет подписанные контракты на поставку вооружений с 60 государствами. В 2016 г. Россия продала оружия и военной техники примерно на $14 млрд. Но, несмотря на внушительные цифры, основная доля экспорта приходится на несколько государств.

Среди стран-участников БРИКС, безусловно, можно выделить Индию и Китай. Эти страны являются крупными региональными державами. Для этих стремительно развивающихся государств российское вооружение и военные технологии являются чрезвычайно важными. Такой спрос на российское вооружение и технологии можно объяснить стремлением данных стран войти в список мировых «сверхдержав».

Одним из «старейших» и традиционным партнером России по военно-техническому сотрудничеству, безусловно, является Индия. Индия и Россия (СССР) с 1960-х годов являются партнерами на рынке вооружений и военной техники. Индия многие годы импортирует вооружение именно из России. Благодаря СССР Индия располагает в настоящее время мощными вооруженными силами и развитой военной промышленностью, которые превосходят любую другую армию южно-азиатского региона, а по численности являются вторыми в Азии после китайских. На данный момент рынок военного вооружения Индии является крупнейшим в мире.

Военно-техническое сотрудничество всегда занимало особое место в российско-индийских отношениях. Заключение долгосрочных контрактов на поставку российского вооружения, а также совместные проекты по созданию новых образцов вооружения и военной техники, говорит о взаимовыгодном сотрудничестве и высоком уровне доверия между Дели и Москвой.

Военно-техническое сотрудничество между Россией и Индией развивалось в основном по двум направлениям: продажа вооружений и военной техники, включая передачу лицензий на производство, а также послепродажное обслуживание и модернизация ранее поставленной боевой техники советского и российского производства, находящейся на вооружении индийской армии.

Индия на данный момент входит в тройку крупнейших импортеров оружия и военной техники в мире. Российско-индийские отношения давно перешагнули определенную черту: теперь это не просто отношения продавца-покупателя. Россия и Индия занимаются совместной разработкой высокотехнологичных образцов вооружения. Показательный пример российского проекта боевого самолета пятого поколения – ПАК ФА. Россия и Индия достигли соглашения в совместной работе по созданию экспортной модификации этого комплекса. Доля Индии в разработке самолета составляет не менее 25%. И это далеко не единственный пример партнерства наших стран в создании новых образцов вооружения. Российские предприятия участвуют в индийской программе создания авиационного двигателя «Кавери», страны совместно разработали и производят сверхзвуковые крылатые ракеты «БраМос». Около 70% индийской авиационной техники российского производства произведены по российским лицензиям. На вооружении индийских танковых войск стоит порядка тысячи танков Т-90, как купленных в России, так и произведенных по лицензии [7].

Индийский рынок был одним из немногих «островков спасения» в трудные для Российского ВПК 1990-е гг. когда количество заказов на вооружение для внутреннего рынка от основного заказчика Министерства обороны РФ было ничтожно мало. Индия одной из первых стран-импортеров перешла к индивидуальности заказов, когда конкретное изделие создается с уникальными требованиями заказчика, а не экспортируется стандартный образец, созданный для внутреннего рынка. Индийские военные смогли сформулировать очень высокие, но при этом реалистичные запросы для наших конструкторов и инженеров [6].

В ходе реализации таких проектов, как истребитель Су-30МКИ, палубный истребитель МиГ-29К, фрегаты Talwar-class, требования индийских военных находились на пределе тогдашних конструкторских и технологических возможностей российских разработчиков и промышленников, но не превышали эти возможности, что позволило создать нужные Индии системы вооружений в приемлемые сроки. При этом индийские покупатели пошли на высокие, но оправданные технические риски, и в результате индийские, а затем и российские Вооруженные Силы получили первоклассные системы вооружений, которые и сегодня остаются современными. Ни один другой импортер российских вооружений не оказывал такого сильного позитивного инновационного воздействия на отрасль [8].

В 2007 г. Индия обошла Китай по объему закупок российской оборонной продукции, и на данный момент Дели остается крупнейшим зарубежным клиентом нашего военно-промышленного комплекса. В среднем на Индию, по нашим оценкам, приходится до 35% российского военного экспорта.

Значение индийского рынка определяется не только и не столько его количественными показателями, сколько качеством этого сотрудничества. Индийские требования имеют положительный эффект с точки зрения стимулирования разработки новых образцов военного вооружения. Например, Китай закупает либо стандартные системы вооружения, либо системы, прошедшие существенную модернизацию.

Важным событием прошлого года в российско-индийских военно-технических отношениях, стало подписание 15 октября 2016 г. соглашения о поставках зенитных ракетных систем С-400 «Триумф» в Гоа во время встречи Президента РФ Владимира Путина и Премьера Индии Нарендры Моди. Планы о подписании такого соглашения обсуждались заранее. Для Индии сотрудничество с Россией является крайне выгодным, наша страна обладает огромным количеством высокотехнологичных вооружений и технологий их производства. Россия всегда охотно шла на передачу Индии не просто готовых изделий, а технологий производства. Передача лицензий и организация производства оборонной продукции советской и российской разработки в Индии – это не исключение последних лет, а историческая практика, которая началась еще в 1970-е гг. когда в Индии было организовано лицензионное производство Советского истребителя МиГ-21. В этом смысле Россия реализует политику Make in India уже почти полвека. Такой вид военно-технического сотрудничества имеет большое положительное влияние для России. Индия для России является стратегическим партнером и дружественным государством с сильной армией, что, безусловно, является выгодным для нас.

Россия сотрудничает с Индией и в вопросах стратегических систем. Примером такого сотрудничества можно назвать, создание для ВМФ Индии авианосца Викрамадитья (Vikramaditya), на основе тяжелого авианесущего крейсера «Адмирал Горшков». Обсуждаются вопросы о помощи Индии со стороны России в создание атомного подводного флота. Безусловно, этот вид сотрудничества можно и нужно развивать [6].

В данный момент российско-индийские отношения в сфере военного технического сотрудничества, выходят на новый уровень. Прорабаты-

ваются вопросы реализации совместных проектов, для экспорта на рынки третьих стран. Речь идет о создании общего российско-индийского рынка продукции военного назначения, что является более перспективной и амбициозной целью, нежели практика программы «Make in India», в рамках которой Россия и Индия сотрудничают с середины прошлого века.

Военно-техническое сотрудничество между Москвой и Пекином было заключено еще в далеком 1949 г. К сожалению, за это время оно несколько раз прерывалось в связи с ухудшением советско-китайских отношений. СССР поставлял КНР вооружение и военную технику на суммы, исчисляемые миллиардами долларов. Москва, кроме того, оказывала техническое содействие в создании и оборудовании объектов военного назначения, на безвозмездной основе передавала лицензии на производство вооружения и военной техники. Советские советники и специалисты выезжали в Китай, помогали и обучали военнослужащих КНР осваивать новую для них технику. В вузах СССР было подготовлено свыше 1500 китайских офицеров и солдат [8].

Военно-техническое сотрудничество между странами было возобновлено лишь в 1990 г., за год до распада СССР. С тех пор Китай, наряду с Индией, является крупнейшим импортером российского вооружения и военной техники.

Наиболее масштабные поставки российского оружия и военной техники в КНР реализуются в области авиационной, военно-морской техники и средств ПВО. На данный момент разрабатываются четыре совместных российско-китайских проекта: амбициозный проект строительства совместной базы на Луне, разработка тяжелых вертолетов, совместное строительство большого широкофюзеляжного самолета, сборка которого будет происходить в Шанхае и экспорт в Китай новейших российских систем ПРО С-400.

К сожалению, с 2006 г. доля Китая в общем объеме российского военного экспорта постепенно снижается. В первую очередь это связано с тем, что в последние годы существенно возросли возможности китайского военно-промышленного комплекса, столь стремительное развитие которого было бы невозможно без копирования многих образцов российского вооружения (реверс-инжиниринг).

Несмотря на то, что Китай является крупным импортером военной техники в мире, в тоже время он выступает одним из крупнейших экспортеров вооружения. На данный момент, КНР занимает третье место в мире по объему экспорта.

Хотя Китай активно создает и совершенствует собственные производственные мощности в области военного вооружения и военной техники и постепенно снижает свою зависимость от России, несомненным является тот факт, что, несмотря на это, военно-техническое сотрудничество остается важнейшим элементом российско-китайских отношений.

Выгоды и трудности в военно-техническом сотрудничестве между странами БРИКС

Военно-техническое сотрудничество между странами БРИКС является перспективным направлением развития объединения, приносящим ощутимые выгоды каждой стране.

Помимо экономической выгоды от военно-технического сотрудничества, крайне важным является налаживание дружеских отношений, особенно в отдаленных регионах мира.

Из-за ухудшения отношений между Россией и рядом стран в связи с украинским кризисом возникли трудности в получении некоторых компонентов, используемых в производстве вооружений и военной техники. Однако развитие отношений в данной области с Индией или Китаем, которые имеют необходимые производственные мощности и богатый опыт в использование высоких технологий, может удовлетворить потребность России в требуемых комплектующих.

Необходимо отметить и ряд важных факторов, негативно влияющих на развитие военно-технического сотрудничества между странами. Прежде всего, к ним можно отнести «интеллектуальное пиратство». Во-вторых, Индия, как и Китай, стремятся к тому, чтобы минимизировать свою зависимость от военно-технических технологий РФ. В-третьих, Китай уже сейчас входит в тройку крупнейших в мире экспортеров вооружений, предлагая свою продукции по ценам даже ниже российских. Это крайне тревожная тенденция для нас, так как низкая цена на оружие и военную технику российского производства, всегда была и остается одним из главных преимуществ над импортными аналогами.

Не стоит забывать о двух других участниках БРИКС: Бразилии и ЮАР. На данный момент военно-техническое сотрудничество данных стран по объемам торговли существенно уступает.

Бразильский рынок является перспективным, эта крупная страна является обладателем самых протяженных в мире границ (после России и Китая). И, безусловно, чтобы отвечать современным вызовам, с 2008 г. Бразилия держит курс на модернизацию оборонно-промышленного комплекса, которым на данный момент технически существенно устарел. Бразилия, не-

смотря на то, что является страной – новым экономическим гигантом, не может удовлетворить все свои потребности за счет внутренних разработок и вынуждена закупать оружие и военные технологии за рубежом [2].

На Африканском континенте ЮАР является самым промышленно развитым государством. Рынок вооружения и военной техники ЮАР относительно молод, в ближайшем будущем является крайне перспективным. Промышленность этой страны позволяет производить почти весь спектр военной техники, но, несмотря на это, вопрос технического развития и военных технологий остается открытым, и ЮАР требуется стратегический партнер, способный оказывать необходимую технологическую помощь. Важно осознавать, что на площадке БРИКС может быть создан полноценный военный альянс, аналогичный североатлантическому блоку НАТО. В рамках этого союза, государства-участники могут совместными усилиями решать актуальные проблемы, грозящие мировой безопасности. В связи с тенденцией последний лет, на размещение странами НАТО военной техники у границ с Россией, для нашей страны такой альянс мог бы быть крайне перспективным [5].

Заключение

Безусловно, военно-техническое сотрудничество между странами-участниками БРИКС имеет большие перспективы для расширения. Китай интересуется богатым опытом России в области двигателестроения, ракетостроения, космической промышленности. России же нужны китайские разработки в области микроэлектроники. На данный момент одним из наиболее взаимовыгодных направлений сотрудничества являются совместные разработки и создание промышленных предприятий. В первую очередь, это производство авиационных материалов и бортового радиоэлектронного оборудования.

В заключении необходимо подчеркнуть, что военно-техническое сотрудничество – крайне политизированная сфера взаимодействия государств. И именно здесь становятся очевидными многие разногласия между странами БРИКС, не позволяющие этой группе стать единым политическим объединением. Как уже отмечалось, все сильнее прослеживается конкуренция России и Китая на рынке вооружения. Российско-индийское сотрудничество, несмотря на очевидные успехи, находится под угрозой из-за стремления индийского правительства снизить свою зависимость от России.

Говорить серьезно о сотрудничестве Бразилия – Индия, Индия – ЮАР не приходится. Поставки китайского вооружения в Пакистан, обостряют индийско-китайские противоречия. Таким образом, на данный момент полноценное военно-техническое сотрудничество между странами БРИКС взамен двухсторонних контактов представляется перспективным, но имеет ряд трудностей, которые целесообразно преодолеть.

Литература

1. Виноградов А.В. Диалоговый формат БРИКС и его роль в становлении многополярного мира // Сравнительная политика, 2014. №1(14). С. 47-52.

2. Военно-техническое сотрудничество России с зарубежными государствами: анализ рынков / М.С. Барабанов, К.В. Макиенко, Р.Н. Пухов, А.Л. Рыба; под редакцией А.Л. Рыбаса. М.: Наука, 2008. 470 с.

3. Гафурова Г.Н., Родионов И.И. Экспорт продукции военного назначения. Использование методов и подходов в маркетинге и продвижении. СПб.: Издательство «Алетейя», 2013. 188 с.

4. Климов А. БРИКС: уже не только саммиты // Международная жизнь, 2014. №10. С. 35-43.

5. Корендясов Е. Военно-техническое сотрудничество в рамках БРИКС // Международная жизнь, 2015. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://interaffairs.ru/news/show/13166

6. Министерство обороны Российской Федерации. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://structure.mil.ru

7. Национальная оборона. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.nationaldefense.ru/

8. Вань Цинсун. Перспективы и вызовы сотрудничества стран БРИКС: взгляд из Китая // Свободная Мысль. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://svom.info/entry/604-perspektivy-i-vyzovy-sotrudnichestva-stran-briks-v/

9. Толорая Г.Д. Проблемы выработки долгосрочной стратегии БРИКС: российский взгляд // Сравнительная политика, 2014. №1(14). С. 37-46.

AUTHORS

Alexey I. Alatortsev. Cand.Tech.Sci., senior scientist. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Natalia V. Alliluyeva. Leading specialist. Joint-stock company "RADAR MMS". S.-Petersburg, Novoselkovskaya st., 37.

Sergey V. Aristov. Leading engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Svetlana S. Arkhipova. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Yuriy N. Artamonov. Cand.Tech.Sci. Lead scientist. Federal state scientific institution «Gosmetodcentr». Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Alexander T. Bondar'. Candidate of biological sciences. Senior scientist. The Institute of Cell Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Eugeniy V. Boroday. Engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Vadim N. Chernikov. Head of department. 18 central research institute of the Ministry of defence of the Russian Federation. Moscow, Svobodny Prospekt, 4.

Anna V. Chistyakova, Technologist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Vasiliy V. Dudulin. Doctor of pedagogical sciences, associate professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Victor P. Dunilin. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Artiom S. Durnov. Scientist. Ministry of Defense of the Russin Federation.

Nikolay M. Emelin. Honoured scientist of RSFSR, Dr.Sci.Tech., professor. Federal State Scientific Institution "Gosmetodcentr". Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Dmitriy V. Evseyev. Junior scientist. 18 central research institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow, Svobodny Prospekt, 4.

Anatoliy A. Erunov. Adjunct. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Andrey N. Furov. Cand.Tech.Sci. Lecturer. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Irina O. Glotova. Student. Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI). Moscow, Bolshaya Semionovskaya st., 38.

Olga P. Gorlo. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Alexander N. Gornovskiy. Engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Vladimir V. Grigoriev. Consultant, Missile Control Service Strategic Missile Forces. Master's degree student, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics.

Alan K. Karaev. Dr.Sci.Tech., professor. Senior scientist. Financial University under the Government of the Russian Federation. Moscow, Leningradsky prospekt, 49.

Eugeniy V. Kolombet. Junior scientist. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Valeriy A. Kolombet. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Denis A. Korsunskiy. Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Yulia V. Krasnova. Chief technologist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Nikolay S. Kukin. Cand.Tech.Sci. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Oleg P. Kuznetsov. Cand.Tech.Sci., associate professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Vadim N. Lesnykh. Junior scientist. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Alexey S. Lychagov. Military student. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Sergey A. Lychagov. Cand.Tech.Sci. Head of department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Alexander A. Maslikov. Candidate of physical and mathematical sciences. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Andrey A. Muntyanu. Cand.Tech.Sci., junior scientist. 18 central research institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow reg., Korolev, Tikhonravova st., 29.

AUTHORS

Svetlana V. Murashova. Candidate of economic sciences, associate professor. Financial Strategy Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. St.-Petersburg, Kronverksky av., 49.

Anna V. Muraviova. Laboratory technician. nstitute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Boris I. Nakhmanovich. Candidate of chemical sciences, senior scientist. Institute of Physical Chemistry of the name L.Y. Karpov. Moscow, Vorontsovo Pole st., 10.

Natalia I. Pakuro. Candidate of chemical sciences, Senior scientist. Institute of Physical Chemistry of the name L.Y. Karpov. Moscow, Vorontsovo Pole st., 10.

Denis N. Pecherskiy. Specialist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Alexey G. Popov. Cand.Tech.Sci. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Lioudmila F. Rybakova. Candidate of chemical sciences, senior scientist. Institute of Physical Chemistry of the name L.Y. Karpov. Moscow, Vorontsovo Pole st., 10.

Eduard M. Rudenko. Cand.Tech.Sci. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Viacheslav A. Ryzhenkov. Cand.Tech.Sci. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Nikolay I. Semizorov. Candidate of philosophical sciences, professor. Head of department. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Alexander V. Shikin. Scientist. 18 central research institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow, Svobodny Prospekt, 4.

Eugeniy V. Shmyrin. Cand.Tech.Sci. Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Piotr F. Sitnikov. Dr.Sci.Tech., professor. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Vladimir P. Sitnikov. Lead scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Svetlana Y. Sivopliasova. Candidate of economic sciences, associate professor. Moscow Aviation Institute (National Research University), Educational Center “Integratsiya”. Moscow reg., Serpukhov, Oktiabrskaya st., 21.

Alexander N. Skavuliak. Doctor in therepy. Department of Pushchino hospital. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 1.

Sergey V. Smurov. Dr.Sci.Tech., professor. Deputy director general. General designer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Alexander S. Strelkov. Student. Moscow Aviation Institute (National Research University), Educational Center “Integratsiya”. Moscow reg., Serpukhov, Oktiabrskaya st., 21.

Dmitriy R. Utkin. Adjunct. Military Space Academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Gennadiy G. Volkov. Doctor of physical and mathematical sciences, professor. The Petersburg Nuclear Physics Institute. Leningrad Oblast, Gatchina, Orlova roshcha, 1.

Vladimir S. Volskiy. Candidate of chemical sciences. The head of production. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Mikhail S. Zakatin. Cand.Tech.Sci. Deputy of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Sergey I. Zakatin. Cand.Tech.Sci. Senior scientist. Deputy of general director. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Sergey S. Zakatin. Cand.Tech.Sci. Senior lecturer. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Vladimir V. Zelenevskiy. Dr.Sci.Tech, professor. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Yuriy V. Zelenevskiy. Dr.Sci.Tech, associate professor. Ministry of defense of The Russian Federation.

КОНФЕРЕНЦИЯ В ДОМБАЕ

Ученые Института инженерной физики стали участниками XII Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления», которая проходила в поселке Домбай Карачаево-Черкесской Республики. Наши ученые уже традиционно принимают активное участие в этой конференции, выступая, по мнению организаторов и коллег, с очень интересными, конструктивными и актуальными докладами.

На конференции обсуждались вопросы технологического обеспечения: систем управления, технического зрения, систем энергетики и приводной техники, систем и средств связи, навигации и наведения РТК, а также применение РТК морского и наземного базирования.

На пленарном заседании конференции с докладом «Искусственный интеллект в военной робототехнике: возможности, риски, пути реализации» выступил Вице-президент МОУ «ИИФ» по инновационным проектам, заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор И.А. Бугаков.

Доклад ведущего научного сотрудника МОУ «ИИФ», заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора В.А. Цимбала «Оптимизация сеансовых параметров ассиметричного тракта передачи данных направления «Борт-Земля», обеспечивающего заданную своевременность информационного обмена многопакетными сообщениями» был признан лучшим на конференции.

Начальник отдела сопровождения НИОКР МОУ «ИИФ» кандидат физико-математических наук Анна Вячеславовна Алексеева стала членом рабочей группы по разработке стандартов для робототехнических комплексов.

Ученые Института приняли активное участие в заключительном пленарном заседании конференции. Активная позиция наших ученых, в частности Советника Президента МОУ «ИИФ» кандидата педагогических наук, почетного работника высшего профессионального образования РФ В.А. Грачева, позволила выработать ряд предложений, которые были включены в решение по результатам работы конференции.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ НАВИГАЦИИ

Ведущие специалисты МОУ «ИИФ» в области навигации приняли участие в военно-научной конференции «Пути повышения эффективности топогеодезического и навигационного обеспечения Вооруженных сил Российской Федерации», организованной Военно-топографическим управлением ГШ ВС РФ с целью поиска путей повышения эффективности топогеодезического и навигационного обеспечения ВС РФ, выработки предложений по совершенствованию системы топогеодезического и навигационного обеспечения, соответствующего современным требованиям и максимально реализующего боевой потенциал средств, систем и комплексов АСУ войсками и оружием различных уровней и классов.

С докладами о задачах, направлениях развития и характеристиках средств топогеодезического обеспечения, разрабатываемых Институтом по заказу Министерства обороны и об оценке эффективности вариантов построения интегрированных комплексов навигации, наведения и целеуказания в условиях воздействия помех специального вида выступили начальник Управления навигационных систем и комплексов МОУ «ИИФ», почетный геодезист РФ, доктор технических наук, профессор С.Б. Беркович и заместитель начальника Управления навигационных систем и комплексов МОУ «ИИФ», заслуженный работник геодезии и картографии РФ А.Ю. Махаев.

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 (диске, дискете) 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

S.A. Lychagov, A.S. Lychagov, O.P. Kuznetsov, A.N. Furov, A.I. Alatortsev. Control of the aircraft by the line of analytical sight taking into account the movement of the target in the inertial space 2

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATIONS

V.V. Zelenevsky, Y.V. Zelenevsky, E.V. Shmyrin, A.S. Durnov. Simulation model of the cascade codec and an estimation of its efficiency for struggle against packets of errors 7

A.A. Erunov. The results of modelling of asynchronous multiplexing of hidden data in the video-stream 17

D.R. Utkin. The prediction algorithm of intensity of a user load in the course of technological management of a communication satellite network 21

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

Y.N. Artamonov, N.M. Emelin. A methodology for identifying factors influencing target indicators of projects of targeted programs 25

N.S. Kukin, I.O. Glotova. Determination of the number of objects on a series of images according to the coordinates of the movement of points 30

D.A. Korsunskiy, V.A. Ryzhenkov. Detection of errors in memory devices of information-measuring systems ... 34

G.G. Volkov, S.V. Smurov. Spin-electron and spin-nuclear qubits. Quantum entanglement in NV-centers of diamond 40

S.I. Zakatin, M.S. Zakatin, S.S. Zakatin, V.N. Chernikov, A.V. Shikin, D.V. Evseyev. Binarization of the carrier of an optical physical Nonclonability function (OFNF). Modeling of OPNF using spreadsheets 50

INNOVATIVE PROJECTS

V.P. Sitnikov, A.K. Karaev, P.F. Sitnikov, N.I. Pakuro, L.F. Rybakova, B.I. Nakhmanovich. Chemical metallization and surface morphology of copper covered polyester threads 56

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ROBOTICS

N.V. Alliluyeva, E.M. Rudenko. The method of solving optimization problems for the selection of closed routes on graphs based on the genetic algorithm 63

MODERN MEDICINE AND PHARMACEUTICS

V.A. Kolombet, V.N. Lesnykh, A.N. Skavulyak, E.V. Kolombet, A.T. Bondar'. Presentation of universal system of tripled periods in UHF-therapy 70

V.S. Volsky, O.P. Gorlo, S.S. Arkhipova, S.V. Aristov, Y.V. Krasnova, A.V. Chistyakova, A.V. Muraviova. Clean rooms – the key to quality of medical products 74

DIAGNOSTIC SYSTEMS

A.G. Popov, A.A. Maslikov, V.P. Dunilin, E.V. Boroday, A.N. Gornovskiy, D.N. Pecherskiy. Frequency-difference of phase's method for a research of strength characteristics of the thick-walled designs made of concrete and its application for justification of the scheme of arrangement of sensors 79

SPECIAL PURPOSE TECHNIQUE

A.A. Muntianu. To the question of the need to study the program of development of adaptive balanced weapons system 85

PROFESSIONAL EDUCATION

N.I. Semizorov, V.V. Dudulin. Features of the organization, content and methodology of military-special training of students and cadets in military-engineering universities 91

S.V. Murashova, V.V. Grigoriev. The need and ways to stimulate military rationalizers as one of the ways to increase the efficiency of the exploitation of weapons, military and special equipment 96

SCIENTIFIC REVIEWS. SCIENTIFIC CRITIQUE. COMMENTS

S.Y. Sivopliasova, A.S. Strelkov. Military-technical cooperation between the BRICS countries: benefits, problems, prospects 100

Authors 105

Events 107

Requirements to authors 108