

# ИЗВЕСТИЯ

научно-технический журнал

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ



Сентябрь

Техническое оснащение медицинской службы Арктической группировки ВС

Международный военно-технический форум «Армия»

Август



Июнь

Разработка систем жизнеобеспечения и оказания медицинской помощи в условиях низких температур окружающей среды

Начато строительство нового производственного комплекса

Июль

2017

Ноябрь

Изобретение системы поворотного намотки микрокапсулированных газов

Декабрь

Разработка средств повышения человеческой работоспособности

Январь

Современные непрерывные образование и инновационное развитие

Февраль

Исследования в области квантовых информационных технологий

Март

Пути повышения эффективности топогеодезического и навигационного обеспечения ВС РФ

Апрель

Комплекс средств астрономо-геодезических и гравиметрических измерений

Май

Автоматизированный информационно-аналитический портал оборонных технологий



**В НОМЕРЕ**

**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**

**2** Моисеев К.А.

Основные закономерности динамического поведения механических систем с нелинейными упругими связями

**10** Корнилов С.В., Конюхов М.А.

Метрологическое обеспечение теодолитов и тахеометров электронных, эксплуатируемых в Вооруженных силах Российской Федерации, с применением компаратора

**15** Клейменов Ю.А. Шарганов К.А.

Метрологические аспекты испытаний тепловизионных наблюдательных приборов

**РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ**

**18** Коломбет В.А. Лесных В.Н., Коломбет Е.В.

Определение перспективных частот РЛС

**22** Сальников Д.В., Мешков И.С.

Методика оценки доступности глобальной навигационной спутниковой системы в условиях воздействия дестабилизирующих факторов

**26** Рыженков В.А. Прасолов В.А., Цимбал В.А., Шиманов С.Н., Бобрус С.Ю.

Определение дополнительной пропускной способности вокодера транкинговой сети стандарта TETRA

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

**31** Смуров С.В., Волков Г.Г., Кукин Н.С., Мурадова А.Р., Корчевая И.О., Мартынова И.А.

Квантовая взаимосвязь групп симметрии NV-центра и многоэлектронных спиновых структур

**38** Костин П.С., Чеботарев А.Н.

Программно-моделирующий комплекс для исследования интегральных характеристик маневренности самолета

**46** Авакян А.А. Романенко Ю.А.

Экономические характеристики сложной электронной системы

**53** Захарова Т.В., Безродный Б.Ф., Рыбаков С.С.

Расчет характеристик приоритетных систем массового обслуживания

**62** Мухин В.И., Рыбаков А.В., Мазаник А.И., Иванов Е.В.

О системе прогнозирования состояния жилых объектов в условиях воздействия воздушной ударной волны

**66** Фуров А.Н., Кузнецов О.П., Ермаков А.Д.

Методический подход к решению задачи изменения траектории полета астероида

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ**

**72** Сытняк Ю.А., Аляева Ю.В.

Анализ динамики инновационного развития государственных научных центров Российской Федерации

**77** Бутранов А.С., Назаров А.В.

Технические предложения по разработке и созданию специального комплекта с системой локального электрообогрева одежды

**СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА**

**80** Курочка В.К.

Поиск и ускорение внедрения прорывных технологий – концептуальная основа работы экспертов Секции медико-биологических проблем обороны Экспертного совета Комитета Государственной Думы РФ по обороне

**ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**86** Мунтяну А.А., Рассохин Г.Н.

К вопросу оценки реализуемости ОКР по созданию перспективной автоматизированной системы управления войсками

**ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

**91** Дудулин В.В., Семизоров Н.И.

Традиции РВСН и их возможности в военно-профессиональной подготовке офицерских кадров

**94** Шугалей Д.В.

Педагогическое обеспечение здоровьесберегающей культуры в образовательной среде как основа нравственного и физического развития курсантов

**98** Семизоров Ю.В.

Условия совершенствования содержательных основ превентивной педагогической диагностики агрессивного поведения курсантов

**НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ**

**101** Курочка В.К.

О работе Секции медико-биологических проблем обороны Экспертного совета Комитета Государственной Думы РФ по обороне

**102** AUTHORS

**104** ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Научно-технический журнал

**ИЗВЕСТИЯ  
Института инженерной физики**

№4 (46) 2017

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

Включен в «Перечень ВАК»  
по группам научных специальностей:  
05.11.00. Приборостроение, метрология и  
информационно-измерительные приборы и системы  
05.12.00. Радиотехника и связь  
05.13.00. Информатика, вычислительная техника  
и управление

Главный редактор,  
председатель редакционного совета  
и редакционной коллегии

**Алексей Николаевич Царьков**

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

Редакционный совет

**Геннадий Иванович Азаров**

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

**Сергей Владимирович Дворянкин**

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

**Николай Михайлович Емелин**

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**

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

**Александр Викторович Синьговский**

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

**Анатолий Васильевич Тодосийчук**

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

**Александр Павлович Царёв**

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

**Игорь Анатольевич Шеремет**

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

**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  
выпускающий редактор

**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 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](mailto: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 11.12.2017. Дата выхода  
в свет 21.12.2017. Тираж 2000 экз. Цена свободная.  
© Межрегиональное общественное учреждение  
«Институт инженерной физики» (ИИФ), 2017



**Дмитрий Вячеславович Смирнов**

Генеральный директор –  
Первый Вице-президент Института  
доктор технических наук, доцент  
действительный член АИИ

**Уважаемые коллеги и партнеры!  
Дорогие друзья!**

Пройдет всего несколько дней, и мы перевернем последний лист календаря 2017 года. Чем запомнился год уходящий? Какие события оставили наиболее заметный след в истории нашего Института, который в году наступающем будет отмечать 25-летие со дня основания?

МОУ «ИИФ» сегодня – это без малого 800 ученых, изобретателей, инженеров, конструкторов; это несколько корпусов: административный, учебный, научно-исследовательский, опытно-экспериментальный и испытательный. И мы не останавливаемся на достигнутом – в июле состоялась закладка символического первого камня и освящение нового производственного комплекса для серийного и опытного производства наших инновационных разработок для оборонно-промышленного комплекса и народного хозяйства (в частности, изготовление экипировки с системой электрообогрева для военнослужащих и водолазов). Комплекс представляет собой технологический центр кластерного типа, на котором создано около 200 новых рабочих мест.

Заметен стабильный рост научно-теоретических и научно-практических показателей по основным направлениям нашей деятельности. Мы завершили создание автоматизированной информационно-аналитической системы «Портал оборонных технологий» и ряда аппаратно-программных комплексов для МО РФ; продолжили исследования в области квантовых информационных технологий; активно проводили разработку систем жизнеобеспечения; достигли серьезных результатов в разработке средств повышения работоспособности человека.

В рамках заседания Коллегии МО РФ главнокомандующий ВМФ В.И. Королев доложил министру обороны РФ С.К. Шойгу о готовности принять на снабжение ВМФ костюма электрообогрева водолаза и эвакуационного термомешка, разработанных нашим Институтом.

Мы выиграли Грант Правительства Московской области в сфере науки, технологий, техники и инноваций на разработку интеллектуальной навигационной системы для беспилотного вождения рельсового подвижного состава.

Продолжается образовательная и воспитательная работа в Учебном центре «Интеграция» МАИ, аспирантуре, Центре дополнительного образования «Развитие – 21 век».

Институт стал активным участником международных выставок – «Армия-2017», «INTERPOLITEX-2017», «День передовых технологий правоохранительных органов РФ», «День передовых технологий и инноваций в системе МЧС России» и других. Ученые и педагоги Института выступали с докладами о наших разработках на конференциях, круглых столах, форумах, в том числе и во время проведения Всемирного фестиваля молодежи и студентов в Сочи.

На базе обособленного подразделения МОУ «ИИФ» в Москве открылась Общественная приемная Председателя Комитета Государственной Думы РФ по обороне генерал-полковника Героя России В.А. Шаманова.

Как видите, уходящий год для нашего Института был насыщен достижениями и событиями, в которых диалектически взаимоувязаны наука, техника, образовательная, производственная и общественная деятельность.

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

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 539.371: 534.134

## ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С НЕЛИНЕЙНЫМИ УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ

## BASIC REGULARITIES OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF MECHANICAL SYSTEMS WITH NONLINEAR ELASTIC CONSTRAINTS

**Константин Александрович Моисеев**

*кандидат технических наук, доцент*

доцент кафедры «Материаловедения и ремонта вооружения»  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17

Тел.: 8 (962) 900-77-29

E-mail: moiseev.1946@bk.ru

### Аннотация

В статье рассматривается проблема определения физических признаков резонанса как линейных, так и нелинейных систем, которые не опираются на такое базовое понятие динамики как собственная частота, что позволяет применить эти признаки к определению резонансных явлений нелинейных систем. Установлено, что динамическое поведение нелинейных систем качественно отличается от линейных тем, что в них проявляется фазовая неустойчивость, характер проявления которой определяет их динамическое поведение. В нелинейных системах резонансных режимов, согласно выявленным физическим признакам, возникнуть не может, а могут возникать только окологрезонансные режимы при определенных условиях.

**Ключевые слова:** нелинейные системы, резонанс, фазовая неустойчивость, физические признаки резонанса, динамический эффект, резонансный и окологрезонансный режимы.

### Summary

The article considers the problem of determining the physical characteristics of resonance, both linear and nonlinear systems, which do not rely on such a basic concept of dynamics as the characteristic frequency that allows the use of these signs to the definition of resonance phenomena of nonlinear systems. It is established that the dynamic behavior of nonlinear systems is qualitatively different from linear in that they manifest phase instability, the nature of the manifestations which determines their dynamic behavior. In nonlinear systems of resonant modes, according to the identified physical characteristics, can not occur, and can occur only coloradonance modes under certain conditions.

**Keywords:** nonlinear system, resonance, phase instability, physical signs of resonance, dynamic effect, resonance and coloradonance modes.

В работе [1] была показана основная закономерность в динамическом поведении нелинейных систем, которая качественно отличает их от динамического поведения линейных систем. Такой закономерностью является присущая им фазовая неустойчивость, т.е. способность нелинейных систем в процессе своего движения изменять во времени фазовые сдвиги между силовыми компонентами системы.

Линейные системы такой способностью не обладают, т.е. фазовые между их силовыми компонентами не изменяются во времени. Поэтому линейные системы являются фазостабильными, а нелинейные фазонестабильными.

Кроме того, в работе [1] было показано еще одно важное свойство нелинейных систем, кото-

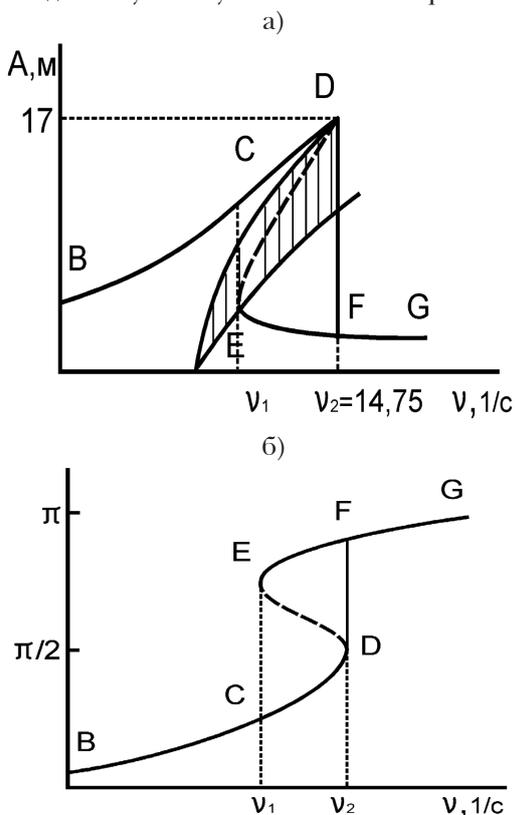
# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

рое состоит в том, что приближенная резонансная кривая нелинейной системы в отличие от существующих представлений не имеет зоны неоднозначности. Это свойство определяется тем, что нелинейная система, будучи поставлена перед необходимостью «выбора» режима колебаний (в зоне неоднозначности решений, бифуркации решений и их ветвлении), всегда «выбирает» тот режим, который обеспечивает наибольший среди всех остальных динамический эффект.

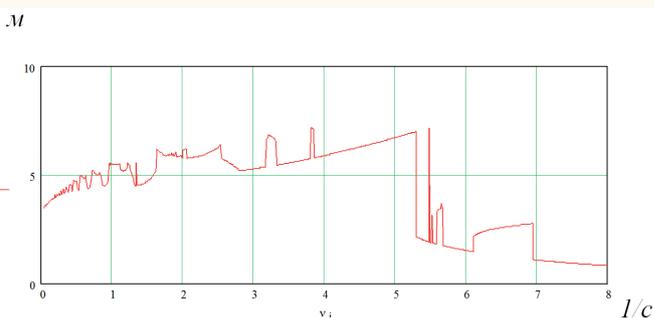
Учитывая указанные выше свойства нелинейных систем, можно полагать, что резонансные кривые нелинейных систем, построенные на основе решений, полученных традиционными аналитическими методами нелинейной механики и численными методами, могут существенно отличаться друг от друга. На рисунках 1-4 показаны резонансные кривые системы, динамическое поведение которой описывается уравнением Дуффинга

$$d^2x/dt^2 + 2\alpha dx/dt + \omega^2 x + \beta x^3 = P \cos \nu t,$$

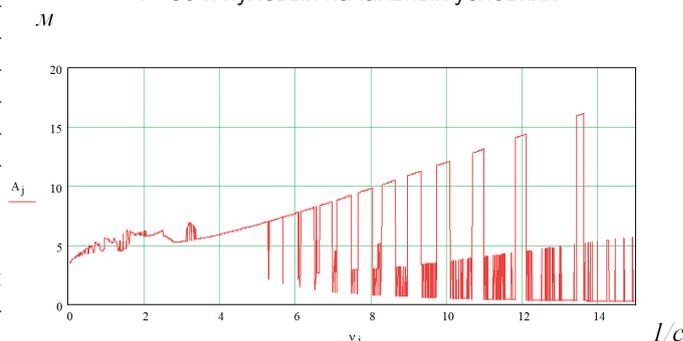
полученные традиционными аналитическими методами нелинейной механики [2] и численными методами Рунге-Кутты и конечных разностей.



**Рис. 1.** Резонансная кривая (а) и фазочастотная характеристика (б), построенные на основе решения уравнения Дуффинга аналитическими методами при наличии в системе затухания при  $\omega^2=1; \beta=1; \alpha=0,1; P=50$

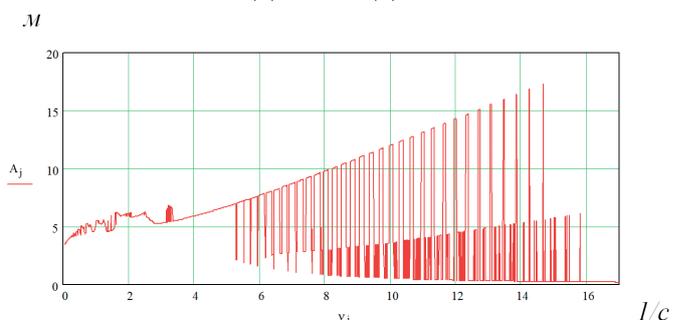


**Рис. 2.** Резонансная кривая, построенная на основе решения уравнения Дуффинга численными методами при  $\omega^2=1; \beta=1; \alpha=0,1; P=50$  и нулевых начальных условиях



**Рис. 3.** Резонансная кривая, построенная на основе решения уравнения Дуффинга численными методами при  $\omega^2=1; \beta=1; \alpha=0,1; P=50$  и ненулевых начальных условиях

$$x(0) = 20; \dot{x}(0) = 0$$



**Рис. 4.** Резонансная кривая, построенная на основе решения уравнения Дуффинга численными методами при  $\omega^2=1; \beta=1; \alpha=0,1; P=50$  и ненулевых начальных условиях

$$x(0) = 50; \dot{x}(0) = 0$$

Даже поверхностный анализ резонансных кривых показывает, что они качественно и количественно отличаются друг от друга. Первое отличие заключается в том, что резонансные кривые, построенные на основе решений, полученных численными методами, существенно зависят от начальных условий движения системы. Резонансные кривые, построенные на основе решений уравнения Дуффинга аналитическими методами, не зависят от начальных условий движения системы.

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Второе отличие состоит в том, что резонансные кривые на *рисунках 2-4* не имеют зон неоднозначности, в отличие от резонансной кривой на *рисунке 1*.

Третье отличие состоит в том, что резонансная кривая, построенная на основе решений, полученных аналитическими методами, является гладкой, а резонансные кривые, построенные на основе решений, полученных численными методами, таковыми не являются.

Четвертое отличие заключается в том, что резонансные кривые, построенные на основе решений, полученных численными методами, состоят как бы из нескольких различных зон: в низкочастотном диапазоне частоты внешнего гармонического воздействия порядка резонансная кривая не является гладкой; в среднем диапазоне частоты резонансная кривая является гладкой и монотонно возрастающей; в высокочастотном диапазоне выше резонансная кривая состоит из трех уровней: верхний уровень с максимальными значениями амплитуды колебаний, средний – с меньшими по величине амплитудами относительно максимальных и нижний уровень с минимальной амплитудой колебаний.

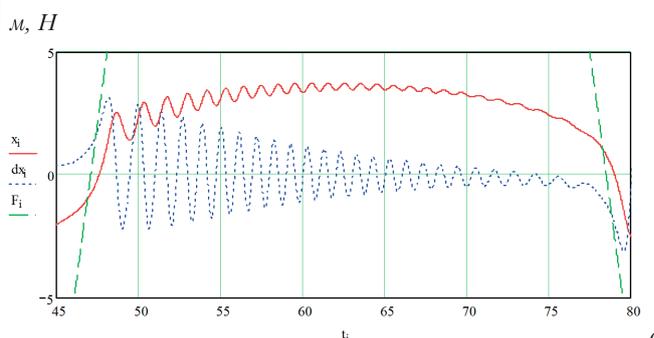
Из представленных результатов, очевидно, что существует проблема по объяснению причин не совпадения результатов решений уравнения Дуффинга, полученных аналитическими и численными методами.

Обозначенная проблема в научной литературе еще не освещалась, поэтому решение этой проблемы хотя бы на качественном уровне является важным шагом в развитии нелинейной механики.

Так как системы с нелинейной жесткостью обладают фазовой нестабильностью, то имеет смысл рассмотреть, как она проявляется в указанных выше частотных диапазонах. Заметим, что хотя и рассматривается частный пример, но проявление фазовой нестабильности протекает по таким же законам, что будут показаны ниже.

Для объяснения особенностей проявления фазовой нестабильности на первом частотном диапазоне, рассмотрим ее проявление при низких частотных воздействиях. Ниже, на *рисунке 5*, такой колебательный процесс представлен.

Анализ колебательного процесса системы на полупериоде показывает, что нелинейные системы «работают» в режиме переходных процессов. Переходные процессы возникают вследствие изменения фазовых соотношений, прежде всего, между вектором скорости системы и вектором внешнего воздействия. Вначале полупериода колебаний фазовый сдвиг между вектором скорости системы и вектором внешнего воздей-



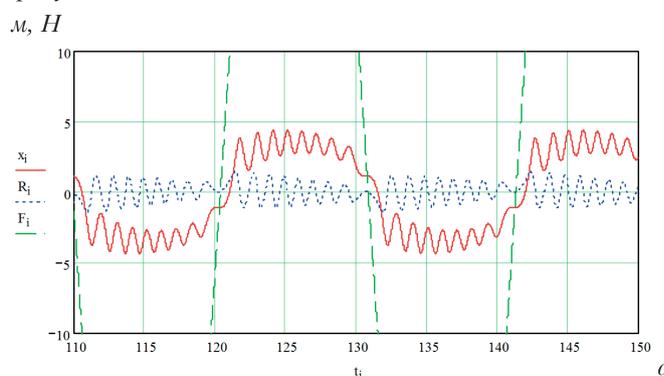
**Рис. 5.** Проявление фазовой нестабильности нелинейной системы с одной степенью свободы в низкочастотном диапазоне:  
 $x_1$  – перемещение системы;  
 $dx_1/dt$  – скоростная характеристика системы;  
 $F_i$  – внешняя сила

ствия для данных условий колебательного процесса минимален, поэтому перемещения системы  $x_1$  и ее скорость  $dx_1/dt$  максимальны, но при последующем изменении (увеличении) фазовых сдвигов между силовыми компонентами они уменьшаются до  $x_2 < x_1$  и  $dx_2/dt < dx_1/dt$ . Процесс изменения фазовых сдвигов протекает за малый относительно полупериода колебаний системы промежуток времени, поэтому образуется избыток полной энергии, прежде всего, за счет инерционности системы

$$\Delta E = E_1 - E_2 = 0,5(m((dx_1/dt)^2 - (dx_2/dt)^2) + c_1(x_1^2 - x_2^2)) + 0,25c_2(x_1^4 - x_2^4),$$

который вызывает переходный процесс. Этот переходный процесс существенно увеличивает фазовую нестабильность системы. Если полупериод колебаний системы достаточно большой, то переходный процесс, вызванный образованием избыточной энергии, затухает (*рисунк 5*).

До тех пор пока время затухания переходного процесса будет соответствовать полупериоду колебаний системы, форма колебаний будет носить симметричный характер, как показано на *рисунке 6*.



**Рис. 6.** Симметричный колебательный процесс нелинейной системы

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Если же длительность переходного процесса превысит полупериод колебаний системы (при увеличении частоты внешнего воздействия), то процесс будет носить несимметричный характер (рисунки 7).

В возникающих супергармонических колебаниях никаких резонансов возникнуть не может, так как они порождаются периодически возникающими переходными процессами, что также подтверждается существенным изменением полной энергии системы во времени [1].

Так как переходный процесс в нелинейной системе в зависимости от частоты внешнего возмущения возникает или на каждом полупериоде колебаний системы или на большем промежутке времени, т.е. периодически, то колебания имеют вид установившихся колебаний, когда на основную гармонику накладываются колебания с большей частотой, которые называют супергармоническими или комбинационными (суперсубгармоническими).

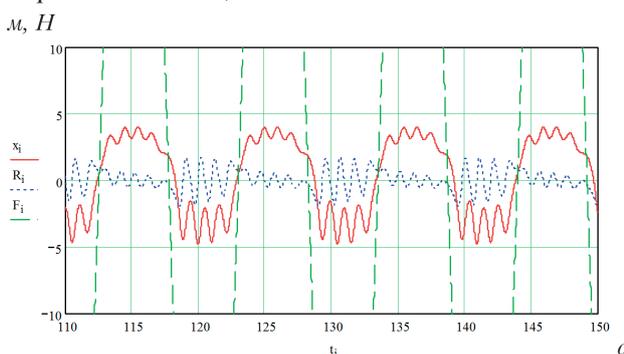


Рис. 7. Несимметричный колебательный процесс нелинейной системы

Такой колебательный процесс можно описать рядом Фурье, который используют для определения амплитуд его гармоник и соответствующих им частот. Однако применять ряд Фурье необходимо на отрезке времени, соответствующем периоду фазовой нестабильности системы, не привязывая его к периоду внешнего возмущения, как это принято в настоящее время в практике решения задач об определении параметров периодических процессов нелинейных систем. В противном случае результаты решения могут не соответствовать действительности. Таким образом, на первом (низкочастотном) интервале в системе возникают периодические переходные процессы, длительность которых может изменяться от одного полупериода внешнего возмущения до нескольких периодов.

Отметим, что в первом интервале имеется некоторая зона, в которой периодичность колебаний проявляется более сложно, чем та, которая рассматривалась ранее (рисунки 8).

Сложность представленного колебательного процесса состоит в том, что период фазовой нестабильности для верхней части колебательного процесса совпадает с периодом внешней гармонической нагрузки, а в нижней части он равен ее восьми периодам. Эти колебания воспринимались как хаотические [2, 3], так как их трудно было исследовать существующими методами нелинейной механики, а тем более объяснить механизм их появления. На самом деле хаотичности здесь не проявляется, а существует строго закономерное движение, определяемое законом изменения фазовой нестабильности системы.

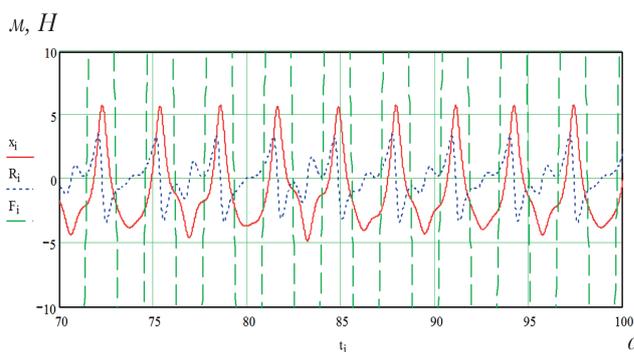


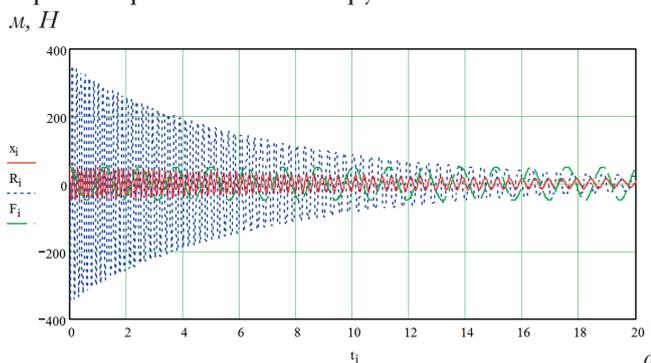
Рис. 8. Сложное движение нелинейной системы

Следует заметить, что величина начальных условий, приводящих к появлению затухающего переходного процесса, на этом частотном отрезке не влияет на динамику «установившегося» колебательного процесса системы.

На монотонном участке резонансной кривой важную роль играют величины начальных условий движения системы. Переходный процесс, порождаемый начальными условиями движения нелинейной системы, существенно отличается от аналогичного переходного процесса линейной системы. В линейной системе согласно принципа суперпозиции ее общий динамический процесс складывается из суммы динамических процессов, порождаемых различными источниками энергии. Это означает, что динамический процесс, порождаемый начальными условиями движения системы, будет действовать независимо от динамического процесса, порождаемого, например, периодической внешней нагрузкой. А каждая гармоника периодической нагрузки будет порождать свой динамический процесс, параметры которого определяются параметрами соответствующей гармоники. Таким образом, общий динамический процесс линейной системы можно дифференцировать и каждую часть его исследовать независимо от остальных частей. Это существенно облегчает исследование динамики линейных систем.

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

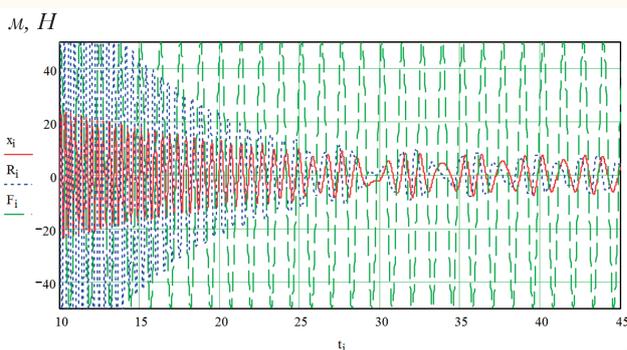
В нелинейной системе всегда имеет место только один общий динамический процесс, в котором каждый источник внешней энергии влияет на его фазовую нестабильность и это влияние определяется параметрами каждого источника внешней энергии. Это наглядно проявляется в процессе системы, динамическое поведение которой описывается уравнением Дуффинга. Ниже на рисунках 9-11 показан динамический процесс, который определяется величиной начальных условий движения системы и параметрами гармонической нагрузки.



**Рис. 9.** Проявление фазовой нестабильности в переходном колебательном процессе, порождаемое начальными условиями движения нелинейной системы

Прежде анализа представленных на указанных рисунках колебательных процессов, необходимо отметить, что на основе традиционных методов аналитической механики выявлена зависимость частоты колебательного процесса от максимального значения амплитуды колебаний [1, 2, 4]: чем больше амплитуда колебаний, тем больше их частота. Все это подтверждается и на результатах решений, полученных численными методами (рисунком 9). На начальном этапе энергия переходного процесса намного больше энергии, поступающей от внешней силы, однако благодаря тому, что фазовые сдвиги между вектором внешней силы и вектором скорости периодически уменьшаются, а затем увеличиваются, то это приводит к периодическому увеличению и уменьшению амплитуды и соответственно частоты колебаний (рисунком 9).

Постепенно, благодаря демпфированию, энергия переходного процесса уменьшается, что приводит к уменьшению амплитуды и частоты колебаний, но схема влияния на внешней силы на колебательный процесс остается такой же, как показано выше. Когда энергия внешней силы и переходного процесса, порождаемого начальными условиями движения системы станут одного порядка, то фазовые сдвиги между сило-

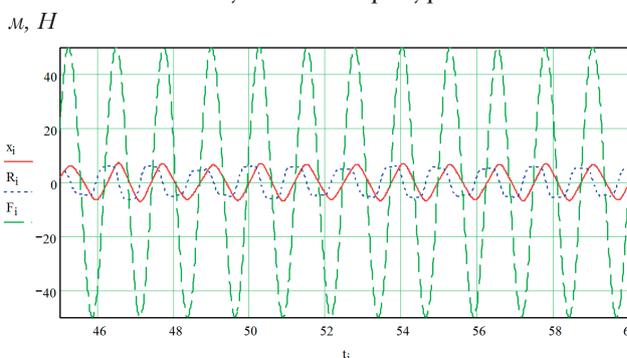


**Рис. 10.** Явление захвата частоты переходного колебательного процесса, порождаемое начальными условиями движения нелинейной системы, частотой внешней силы

выми компонентами системы начинают изменяться по более сложному закону и колебания в малом промежутке времени становятся субгармоническими (рисунком 10).

В дальнейшем внешняя сила начинает как бы встраиваться в переходный процесс (рисунком 10) и поддерживает амплитуду и частоту колебаний на определенном уровне.

Иными словами, происходит захват частоты переходного процесса частотой внешней силы, а сам колебательный процесс приобретает установившийся характер (рисунком 11). Это явление для систем с нелинейной жесткостью еще не описывалось в научной литературе.



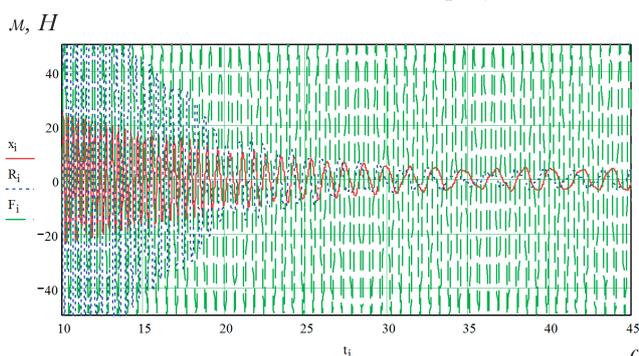
**Рис. 11.** Установившиеся колебания нелинейной системы после захвата частоты переходного процесса, порождаемые начальными условиями движения системы, внешней силой

Заметим, что околорезонансный режим, о котором говорилось в работе [1], может проявляться только при определенном сочетании значений величин начальных условий движения системы и амплитуды внешней силы. Таким образом, можно сказать, что околорезонансный режим может возникать только при сочетании мощного переходного процесса, порождаемого начальными условиями движения системы, и большой интенсивности внешней силы, что яв-

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ляется новым научным результатом в теории нелинейных колебаний. Для каждого конкретного случая параметры, определяющие появление околорезонансного режима колебаний, устанавливаются индивидуально.

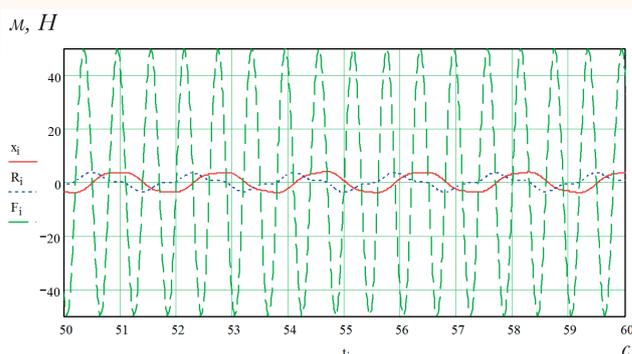
«Средний» ярус резонансной кривой систем с нелинейной жесткостью также определяется фазовой нестабильностью системы, т. е. зависит от закона взаимодействия ее переходного процесса, порождаемого начальными условиями движения системы, и внешней силы (рисунк 12).



**Рис. 12.** Механизм появления субгармонических колебаний третьего порядка

В этом случае фазовые сдвиги между вектором внешней силы и вектором скорости системы изменяются точно так же, как и в низкочастотной области. Отличие состоит в том, что при достаточно высокой частоте внешней силы за небольшой промежуток времени, меньший полупериода, система выводится на такой энергетический уровень и, соответственно, уровень амплитуды колебаний, что последующее изменения внешней силы способны повлиять только на форму колебаний, но не могут изменить направления ее движения. Происходит, как бы частичный захват частоты переходного процесса частотой внешней силы. В результате возникает внешне установившийся субгармонический колебательный процесс третьего порядка (рисунк 13). Исследования показали, что в нелинейных системах могут проявляться только субгармонические колебания третьего порядка. Субгармонические колебания более высокого порядка не могут появиться потому, что система не способна выйти на такой энергетический уровень, на котором она могла бы удержаться более трех полупериодов внешней силы.

Таким образом, установлено, что рассмотренные выше режимы колебаний систем с нелинейными связями могут иметь место только при совместном действии переходных процессов, определяемых начальными условиями системы, и внешней гармонической силой.



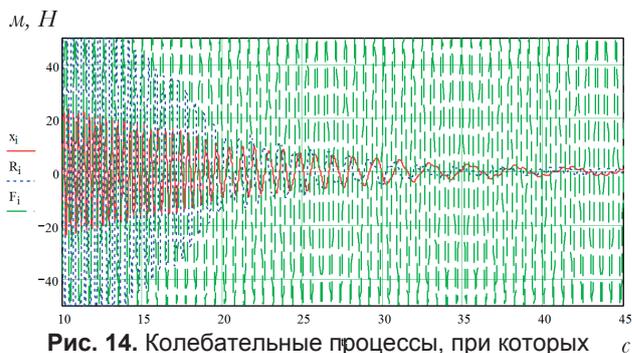
**Рис. 13.** Субгармонические колебания третьего порядка

Из представленных выше результатов можно сделать вывод, что рассмотренные выше режимы колебаний систем с нелинейными связями могут иметь место только при совместном действии переходных процессов, определяемых начальными условиями системы, и внешней гармонической силой.

Следует заметить, что в динамическом поведении систем с нелинейными упругими связями не возникает ни супергармонических, ни субгармонических и ни комбинационных резонансов. Этот факт подтверждается на основе установленных физических признаков резонансных режимов. Результаты не приводятся из-за ограниченного объема статьи.

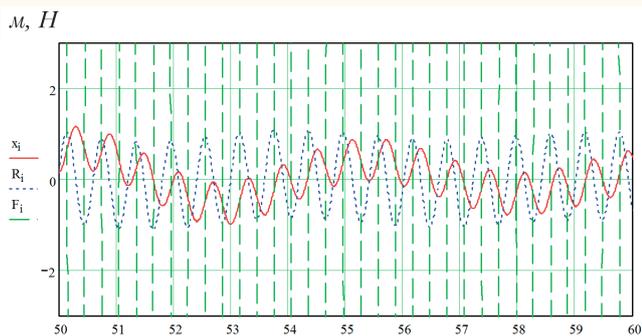
При некоторых значениях частоты внешней силы она не способна ни на полный, ни на частичный захват частоты переходного процесса, тогда переходный процесс затухает с уменьшением амплитуды и, соответственно, частоты свободных колебаний, а на него будут накладываться колебания, порождаемые внешней гармонической силой (рисунки 14, 15).

На этом временном интервале колебания нелинейной системы представляют собой сумму колебаний переходного затухающего процесса и колебаний, порождаемых внешней силой, т. е. колебательные процессы от разных источников энергии ведут себя примерно так же, как и в линейной системе.



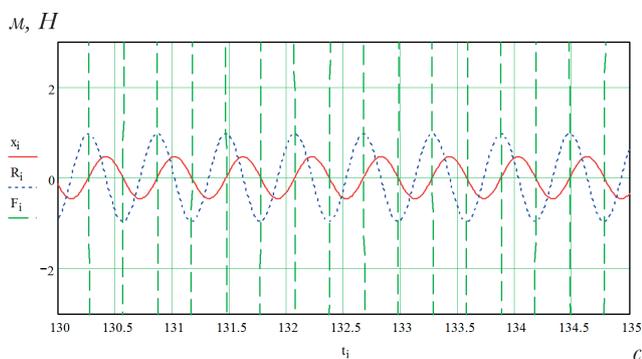
**Рис. 14.** Колебательные процессы, при которых не происходит ни полного, ни частичного захвата частоты переходного процесса внешней силой

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



**Рис. 15.** Суммарные колебания переходного процесса системы и ее чисто вынужденных колебаний

При полном затухании свободных колебаний системы остаются только чисто вынужденные колебания с очень малой амплитудой, порождаемые действием внешней силы (рисунки 15 и 16).



**Рис. 16.** Чисто вынужденные гармонические колебания нелинейной системы

Для более полного понимания динамического поведения систем, упругая характеристика которых описывается нечетным полиномом, и дальнейшего их исследования необходимо ввести понятие, которое бы соответствовало понятию о собственной частоте линейной системы и позволяло бы использовать это понятие в решении задач динамики нелинейных систем. Напомним, что собственная частота линейной системы с одной степенью свободы определяется как корень квадратный из отношения коэффициента жесткости системы к коэффициенту инерции  $m$ , т.е.  $\omega = (c/m)^{0.5}$ . Коэффициент жесткости  $c$ , в свою очередь, можно определить как вторую производную от потенциальной энергии системы по ее обобщенной координате

$$d^2U(x)/dx^2 = d^2(0,5cx^2)/dx^2 = c.$$

Для уравнения с нелинейной упругой характеристикой такого типа

$$d^2x/dt^2 + 2\alpha dx/dt + g(x) = P \cos \nu t,$$

где функция  $g(x)$  удовлетворяет условию Липшица [2], потенциальная энергия системы будет определяться выражением

$$U(x) = \int_0^x g(x) dx.$$

Исходя из вышеизложенного, вторая производная от выражения потенциальной энергии для уравнения Дуффинга будет иметь выражение  $d^2U(x)/dx^2 = dg(x)/dx = c(x) = c_0 + 3c_1x^2$ , где  $g(x) = c_0x + 3c_1x^3$ .

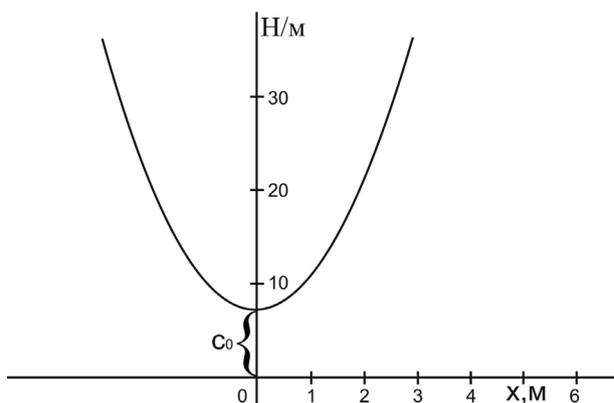
Таким образом, в отличие от линейной системы, для которой ее коэффициент жесткости является постоянной величиной, в нелинейной системе жесткость является функцией обобщенной координаты, поэтому ее целесообразно называть функцией жесткости нелинейной системы.

Соответственно и собственная частота нелинейной системы будет также являться функцией обобщенной координаты

$$\Omega(x) = ((c_0 + 3c_1x^2)/m)^{0.5} = (\omega_0^2 + 3\beta x^2)^{0.5},$$

поэтому ее целесообразнее будет называть функцией собственной частоты.

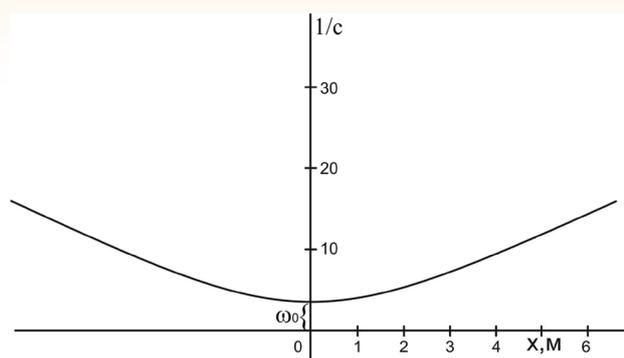
В то же время обобщенная координата  $x$  сама является функцией времени, поэтому и жесткость нелинейной системы и собственная частота также будут являться функциями времени. Если функция  $x$  является периодической, то и изменение функции жесткости и функции собственной частоты системы во времени будет также периодическим. Для уравнения Дуффинга графики функций  $c(x)$  и  $\Omega(x)$  приведены на рисунках 17 и 18, а график зависимости функции собственной частоты от времени показан на рисунке 19.



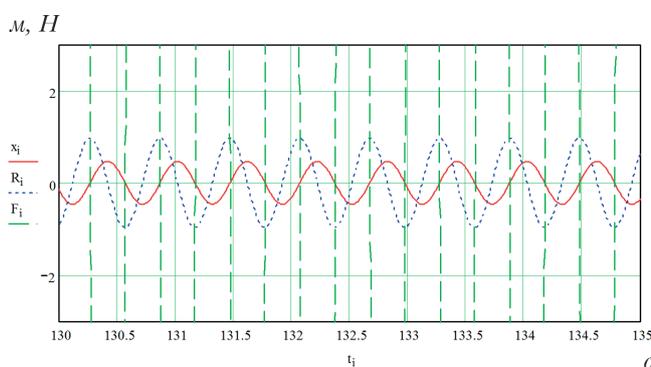
**Рис. 17.** Функция жесткости нелинейной системы, динамическое поведение которой описывается уравнением Дуффинга

Установлено, что при диапазоне изменения функции собственной частоты во времени  $\Delta = \Omega(x_{max}) - \omega_0 \leq 1$  динамическое поведение нелинейной системы адекватно динамическому поведению линеаризованной системы, т.е. фазовая неустойчивость в нелинейных системах практически не проявляется.

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



**Рис. 18.** Функция собственной частоты нелинейной системы, динамическое поведение которой описывается уравнением Дуффинга



**Рис. 19.** Изменение во времени функции собственной частоты нелинейной системы, динамическое поведение которой описывается уравнением Дуффинга, при околорезонансном режиме колебаний

Именно к таким системам применимы аналитические методы нелинейной механики, однако, количество практических задач, решаемых при таких параметрах нелинейных систем, незначительно, поэтому к основному количеству задач необходимо применять численные методы решения, которые, в свою очередь, требуют знания физических закономерностей, проявляющихся в динамическом поведении исследуемых систем.

На основе кратко приведенных исследований в настоящей работе и в работе [1] можно сделать следующие выводы: разработан понятийный аппарат, который включает в себя новые термины и понятия о динамической и упругой частях внешней силы, о динамическом эффекте, о фазовой неустойчивости нелинейных систем, о периоде фазовой неустойчивости, о фазостабильных и фазонестабильных системах, о фазостабильных и фазонестабильных функциях, об околорезонансном режиме, об избыточной энергии, о функции жесткости и функции собственной частоты; разработаны научные положения и научные выводы нелинейной механики, по-новому объясняющие закономерности

динамического поведения нелинейных систем и причины несоответствия результатов решений нелинейных дифференциальных уравнений, полученных аналитическими и численными методами: основной закономерностью нелинейных систем является наличие у них фазовой неустойчивости, в динамическом поведении нелинейных систем отсутствуют любые виды резонансов, резонансные режимы могут возникать только в фазостабильных системах, в нелинейных системах периодически возникают и действуют на ограниченном отрезке времени (от полупериода до нескольких периодов внешней нагрузки) переходные процессы, существенно увеличивающие фазовую неустойчивость нелинейных систем и порождающие супергармонические, субгармонические и комбинационные колебания, установлен эффект захвата частоты свободных колебаний частотой внешней силы, ранее этот эффект относили только к автоколебательным системам; в нелинейных системах с одной степенью свободы при гармонической нагрузке может проявиться только один околорезонансный режим при оптимальном сочетании начальных условий движения системы, порождающих свободные колебания с амплитудой на несколько порядков большей, чем амплитуда вынужденных колебаний, и при определенной величине интенсивности внешней нагрузки; субгармонические колебания могут быть не выше третьего порядка; фазовая неустойчивость существенно снижает на один-два и более порядков амплитуду колебаний и скорость движения системы; в зоне неоднозначности нелинейная система «выбирает» тот режим, при котором возникает максимально возможный при данных условиях динамический эффект, поэтому во многих случаях отпадает необходимость в определении зон неустойчивости движения системы.

### Литература

1. Моисеев К.А. Физические признаки резонанса механических систем с линейными и нелинейными упругими связями // Известия Института инженерной физики, 2017. № 3(45). С. 2-11.
2. Крюков Б. И. Вынужденные колебания существенно нелинейных систем. М.: Машиностроение, 1984. 216 с.
3. Неймарк Ю. Н., Ланда П. С. Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат.лит., 1987. 424 с.
4. Вибрации в технике. Справочник. М.: Машиностроение, 1979. Т.2. 352 с.

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 531.7.08

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕОДОЛИТОВ И  
ТАХЕОМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ,  
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В  
ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, С  
ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПАРАТОРА**

**METROLOGICAL PROVISION  
OF THEODOLITES AND TOTAL  
STATIONS OF ELECTRONIC,  
OPERATED IN THE ARMED FORCES  
OF THE RUSSIAN FEDERATION,  
USING A COMPARATOR**

**Сергей Владимирович Корнилов**

кандидат технических наук, доцент  
заместитель начальника управления –  
начальник отдела  
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России  
Адрес: 141006, Московская обл.,  
г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13  
Тел.: 8 (495) 583-52-48

**Михаил Анатольевич Конюхов**

младший научный сотрудник  
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России  
Адрес: 141006, Московская обл.,  
г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13  
Тел.: 8 (965) 586-23-44  
E-mail: konyuxov.mixail@mail.ru

## Аннотация

В статье описан разработанный авторами метод передачи единицы плоского угла от рабочих эталонов к теодолитам и тахеометра электронным с использованием вновь разработанного компаратора плоского угла.

**Ключевые слова:** угломеры, коллиматорные стенды, эталонные установки, компаратор плоского угла, плоский угол.

## Summary

In article describe method of transfer the unit of plane angle developed by the authors from standards to theodolites and electronic tachometers with the use of newly developed comparator of plane angle.

**Keywords:** goniometers, collimator stands, standard settings, flat angle comparator, flat angle.

Для производства инженерно-геодезических работ применяются высокоточные, точные и технические теодолиты и тахеометры электронные, парк которых насчитывает более 500 типов и разновидностей. В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений к применению допускаются средства измерений утвержденного типа, прошедшие поверку в соответствии с положениями Федерального закона об обеспечении единства измерений [1]. Практически вся номенклатура теодолитов и тахеометров

электронных внесена в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений и подлежит периодической поверке в метрологических службах федеральных органов.

Основными средствами поверки угломерной части теодолитов и тахеометров электронных (далее – угломеры) являются коллиматорные стенды и эталонные установки.

Принцип действия типового коллиматорного стенда (далее – КС, рисунок 1) основан на сличении контрольных углов, образованных визир-

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

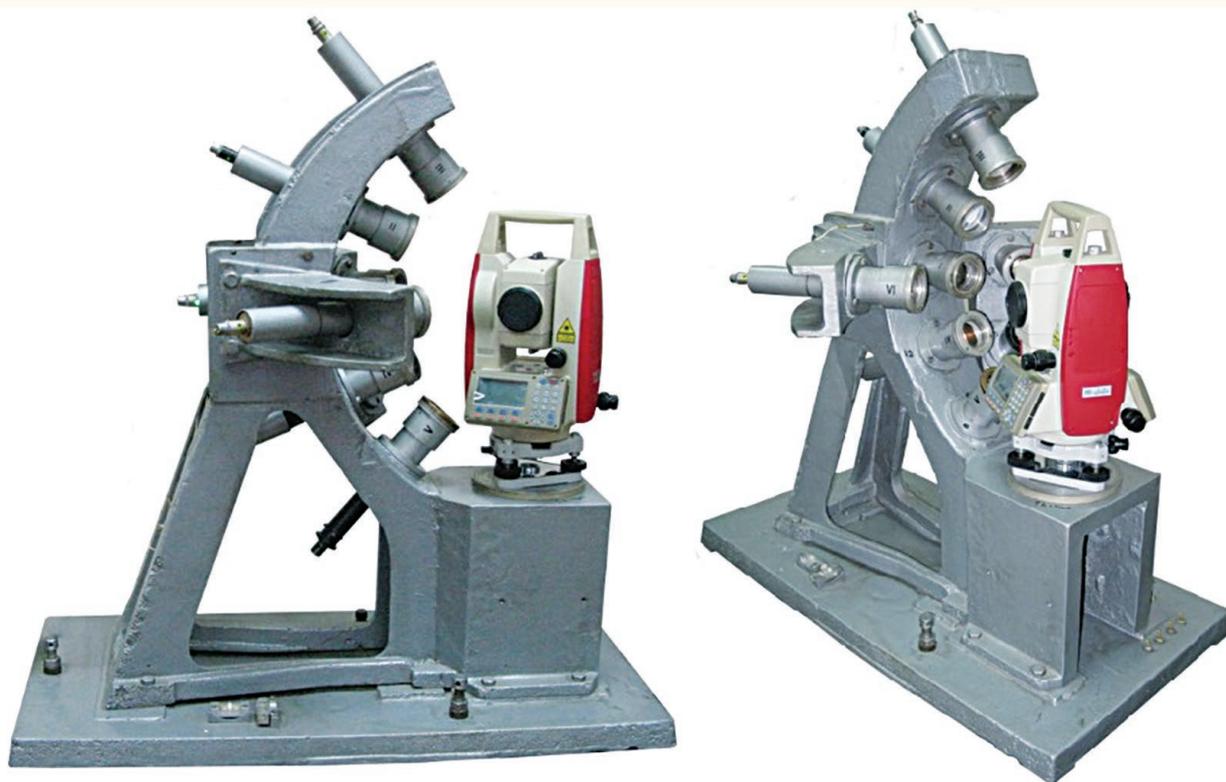


Рис. 1. Коллиматорный стенд для поверки угломерной части теодолитов и тахеометров электронных

ными осями зрительных труб КС, и углов, измеренных поверяемым угломером.

Единица плоского угла передается от высокоточных угломеров со средним квадратическим отклонением (далее – СКО) измерений углов от  $0,3''$  до  $0,5''$  к контрольным углам КС [4]. Метрологические характеристики КС позволяют осуществлять поверку угломеров с СКО измерений углов от  $2''$  до  $60''$  (точные и технические угломеры) [4].

Средняя стоимость КС составляет 1,2 млн. руб. Основными недостатками КС являются:

- отсутствие возможности поверки высокоточных угломеров (СКО измерений углов от  $0,3$  до  $1''$ );
- дискретно заданные углы;
- массогабаритные характеристики;
- высокая стоимость.

Для поверки высокоточных, а также точных и технических угломеров, используются эталонные установки (рисунки 2).

Принцип действия эталонных установок (далее – ЭУ) основан на сравнении углов между гранями многогранной призмы и углов, измеренных поверяемым прибором.

Единица плоского угла передается от рабочих эталонов плоского угла (угломерные установки и гониометры) к многогранным призмам и автоколлиматорам (входящим в состав ЭУ) со значением СКО измерений углов от  $0,03''$

до  $0,05''$  [4]. Метрологические характеристики угломерных установок позволяют осуществлять поверку угломеров со значением СКО измерений углов от  $0,3''$  до  $60''$  (высокоточные, точные и технические) [4].

Средняя стоимость ЭУ составляет 2,0 млн. руб. Основными недостатками ЭУ являются:

- высокая стоимость;
- массогабаритные характеристики;
- сложность конструкции и эксплуатации.

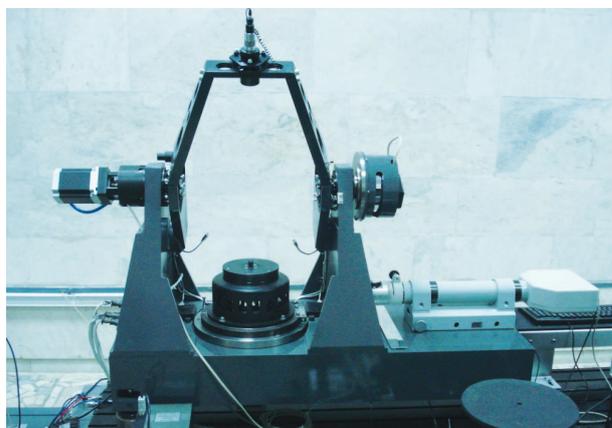


Рис. 2. Эталонная установка для поверки угломерной части теодолитов и тахеометров электронных

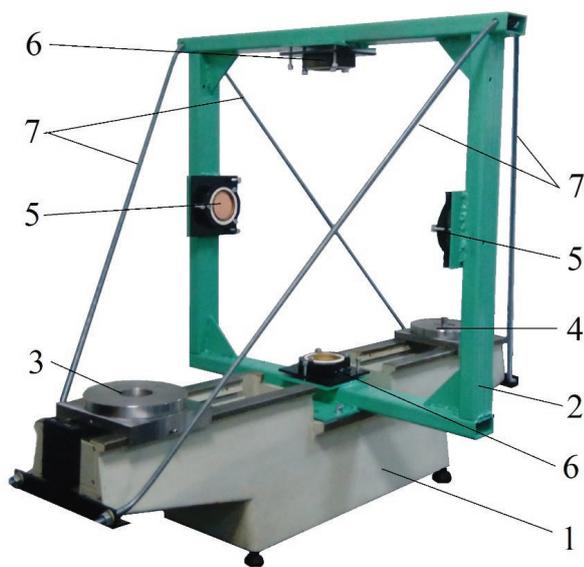
По результатам анализа существующей эталонной базы и потребностей Министерства

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

обороны ВС РФ в поверке угломеров в ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России были разработаны компаратор плоского угла (далее – КПУ) и метод передачи единицы плоского угла угломерам с применением КПУ. Предлагаемый КПУ позволяет передавать единицу плоского угла угломерам в горизонтальной и вертикальной плоскостях (основная погрешность угломеров) от эталонных средств, в качестве которых могут быть использованы эталонные угломеры или многогранные призмы.

Конструктивно КПУ (рисунок 3) содержит:

- массивную станину 1;
- раму 2;
- предметный столик 3 (для размещения эталонного угломера – тахеометра электронного или многогранной призмы);
- предметный столик 4 (для размещения поверяемых угломеров);
- плоские юстируемые зеркала горизонтальной плоскости 5;
- плоские юстируемые зеркала вертикальной плоскости 6;
- стяжки 7.

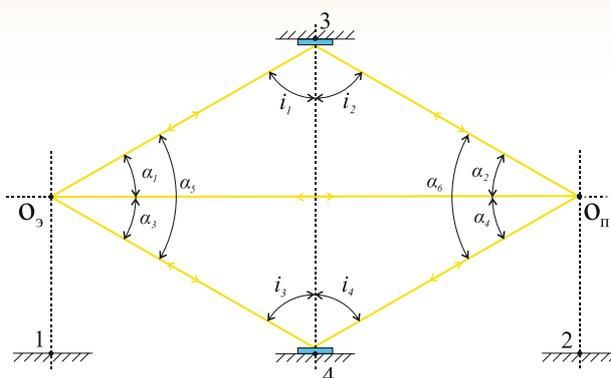


**Рис. 3.** Компаратор плоского угла

Принцип действия КПУ основан на сличении углов между гранями многогранной призмы (или задаваемых эталонным угломером) и углов, измеренных поверяемым угломером.

В основу предложенного метода положен известный закон отражения света – угол отражения равен углу падения.

Оптическая схема (в вертикальной плоскости) метода передачи единицы плоского угла угломерам на КПУ с помощью эталонного угломера представлена на *рисушке 4*.



**Рис. 4.** Оптическая схема (в вертикальной плоскости) метода передачи единицы плоского угла угломерам на компараторе плоского угла с помощью эталонного угломера

В точки 1 и 2, на предметные столики КПУ, друг напротив друга устанавливаются эталонный и поверяемый угломеры. Сетки нитей зрительных труб совмещаются, образуя нормаль  $O_3-O_4$  между центрами вращения их зрительных труб. Оба угломера «обнуляются» в этом положении. Эталонным угломером задается контрольный вертикальный угол  $\alpha_1=30^\circ$ , а за его окуляром устанавливается матовый экран и источник света. Зрительная труба поверяемого угломера так же поворачивается на значение контрольного угла. Луч света, проходящий через зрительную трубу эталонного угломера, падающий под углом  $i_1$ , отразится от поверхности зеркала, установленного в точке 3, под тем же углом  $i_2$  ( $i_1 = i_2$ ) относительно нормали зеркала и попадает в зрительную трубу поверяемого угломера. Сетка нитей зрительной трубы поверяемого угломера точно совмещается с изображением сетки нитей эталонного угломера, отразившимся от зеркала. Углы, задаваемые эталонным угломером, измеряются поверяемым угломером серией измерений из двенадцати приемов согласно [2, 3]. Погрешность измерения вертикального угла поверяемым угломером будет определяться как разность угла  $\alpha_1$ , заданного эталонным, и угла  $\alpha_2$  измеренного поверяемым угломерами. Алгоритм определения погрешности вертикального угла  $\alpha_2 = \text{минус } 30^\circ$  и  $\alpha_3 = 60^\circ$  аналогичен.

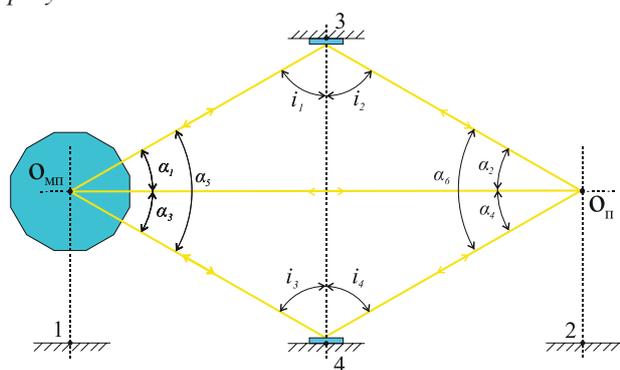
Оптическая схема метода передачи единицы плоского угла в горизонтальной плоскости аналогична схеме передачи единицы плоского угла в вертикальной плоскости.

Таким образом, предложенный метод позволяет осуществлять передачу единицы плоского угла от эталонного угломера (тахеометры с СКО измерений углов от  $0,3''$  до  $0,5''$ ) к угломерам с СКО измерений углов от  $2''$  до  $60''$ .

Предложенный метод так же позволяет ис-

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

пользовать в качестве эталонного угломера многогранную призму, что обеспечивает передачу единицы плоского угла к угломерам с СКО измерений углов от 0,5" до 1,0". Оптическая схема (в вертикальной плоскости) метода передачи единицы плоского угла угломерам на КПУ с помощью многогранной призмы представлена на рисунке 5.



**Рис. 5.** Оптическая схема (в вертикальной плоскости) метода передачи единицы плоского угла угломерам на компараторе плоского угла с помощью многогранной призмы

В точку 1 вертикально, на специальном устройстве, устанавливается многогранная призма, в точку 2 устанавливается поверяемый угломер. Зрительная труба в автоколлимационном режиме (с автоколлимационной насадкой из комплекта прибора) наводится на нулевую грань многогранной призмы. Перекрестие сетки нитей зрительной трубы, совмещенное с автоколлимационным изображением, отраженным от грани призмы, образуют нормаль  $O_{мп} - O_{п}$ . Поверяемым угломером задается вертикальный угол  $\alpha_2 = 30^\circ$ . Луч света, выходящий из зрительной трубы угломера (автоколлимационная марка), падающий под углом  $i_2$ , отразится от поверхности зеркала, установленного в точке 3, под тем же углом  $i_1$  ( $i_2 = i_1$ ) относительно нормали зеркала и попадет на зеркальную грань многогранной призмы. Отразившись от зеркальной поверхности грани, луч вернется в зрительную трубу угломера. Сетка нитей зрительной трубы угломера совмещается с изображением автоколлимационной марки, отразившейся от зеркала. Углы  $\alpha_1$ ,  $\alpha_3$  и  $\alpha_5$  между гранями многогранной призмы измеряются поверяемым угломером серией измерений из двенадцати приемов каждый [2, 3]. Погрешность измерения вертикального угла поверяемым угломером будет определяться как разность угла  $\alpha_1$  ( $\alpha_3$  или  $\alpha_5$ ) между гранями многогранной призмы и угла  $\alpha_2$  ( $\alpha_4$  или  $\alpha_6$ ) измеренного поверяемым угломером.

Оптическая схема метода передачи единицы плоского угла в горизонтальной плоскости ана-

логична схеме передачи единицы плоского угла в вертикальной плоскости.

Каждый эталонный горизонтальный угол измеряется поверяемым угломером двенадцатью приемами измерений с перестановкой лимба на угол  $30^\circ$  [2, 3].

Граница неисключенной систематической погрешности (далее – НСП)  $\Theta_\Sigma$  оценки измеряемого плоского угла рассчитывается по формуле:

$$\Theta_\Sigma = \pm 1,1 \sqrt{\Theta_\phi^2 + \Theta_3^2 + \Theta_{не}^2}, \quad (1)$$

где  $\Theta_\phi$  – погрешность, вызванная вибрацией фундамента;

$\Theta_3$  – погрешность установки зеркала;

$\Theta_{не}$  – погрешность передачи единицы плоского угла.

Для предложенного метода граница НСП  $\Theta_\Sigma$  составляет 0,6" (границы НСП для сравниваемых аналогов: КС – 0,9"; ЭУ – 0,47").

Доверительные границы погрешности оценки измеряемого плоского угла рассчитываются по формуле:

$$\Delta = K \times S_\Sigma, \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от соотношения случайной составляющей погрешности и НСП;

$S_\Sigma$  – суммарное СКО.

Для предложенного метода доверительные границы погрешности  $\Delta$  составляют 0,6" (доверительные границы погрешности  $\Delta$  для сравниваемых аналогов: КС – 1,0"; ЭУ – 0,49").

СКО измерений горизонтального угла поверяемыми угломерами  $m_\beta$  вычисляется по формуле:

$$m_\beta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (3)$$

где  $v_i$  – отклонение каждого результата измерений горизонтального угла от эталонного значения;

$n$  – количество приемов измерения угла.

Каждый эталонный вертикальный угол измеряется поверяемым угломером – шестью приемами для высокоточных угломеров (СКО измерений угла от 0,3" до 1") и четырьмя для точных и технических угломеров (СКО измерений угла от 2" до 60") [2, 3].

СКО измерений вертикального угла угломерами  $m_\alpha$  будет вычисляться по формуле:

$$m_\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{j=k} \sum_{j=1}^n \Delta_{ji}^2}{kn}} \quad (4)$$

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

где  $\Delta_{ji}$  – отклонение измеренного значения  $i$ -го угла  $j$ -го приема измерения от эталонного значения;

$k$  – количество измеряемых углов;

$n$  – количество приемов измерения каждого угла.

Апробация метода была проведена для высокоточных и точных угломеров (тахеометр электронный Leica TCR1202 и тахеометр электронный Leica TS30). Метрологические характеристики угломеров определялись на вторичном эталоне плоского угла с последующим контролем на КПУ, результаты измерений приведены в *таблице 1*.

Таким образом, предложен метод, позволяющий передать единицу плоского угла от эталонных тахеометров и многогранных призм с необходимым запасом точности. В дальнейшем будет проведено исследование метрологических характеристик КПУ, а также апробация метода для различных типов угломеров.

В настоящее время ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России направлены в Федеральную службу по интеллектуальной собственности документы на выдачу патента Российской Федерации на полезную модель.

**Таблица 1**  
**Результаты измерений плоских углов предложенным методом**

Значение образцового угла, °	Тахеометр Leica TCR1202 СКО измерений углов, "		Тахеометр Leica TS30 СКО измерений углов, "	
	Заданное в НТД	полученное	Заданное в НТД	полученное
Результаты, полученные на вторичном эталоне плоского угла				
Горизонтальный угол 30°	2,0	1,42	0,5	0,42
Вертикальный угол минус 30°	2,0	1,65	0,5	0,45
Результаты, полученные на компараторе плоского угла				
Горизонтальный угол 30°	2,0	1,75	0,5	0,46
Вертикальный угол минус 30°	2,0	1,82	0,5	0,48

Результаты апробации показали, что значения СКО измерений плоских углов угломерами, определенные с помощью предложенного метода с применением КПУ, не превышают допустимых значений, установленных описаниями типов на угломеры.

Ориентировочная стоимость изготовления КПУ составит около 350-400 тыс. руб.

Достоинствами КПУ являются: меньшая стоимость по сравнению с КС и ЭУ; простота конструкции и эксплуатации; меньшие массогабаритные параметры; мобильность.

### Литература

1. Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 27 июня 2008 г. № 102-ФЗ (ред. от 02.12.2013).
2. ГОСТ Р 8.876-2014. Теодолиты. Методика поверки.
3. МИ 2798-2003. Тахеометры электронные. Методика поверки.
4. ГОСТ 8.016-81. Государственная поверочная схема для средств измерений плоского угла.

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 389.16; 535.233.2

## МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

## METROLOGICAL ASPECTS OF TESTING THERMAL IMAGING OBSERVING DEVICES

**Юрий Анатольевич Клейменов**

*доктор технических наук*  
заместитель начальника по научной работе  
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России  
Адрес: 141006, Московская обл.,  
г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13  
Тел.: 8 (495) 583-52-48

**Кирилл Александрович Шарганов**

начальник лаборатории  
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России  
Адрес: 141006, Московская обл.,  
г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13  
Тел.: 8 (964) 501-86-32  
E-mail: kasharganov@yandex.ru

### Аннотация

В статье описана разработанная авторами методика аттестации инфракрасных коллиматорных стэндов, использующихся при испытаниях тепловизионных наблюдательных приборов. Описан аппаратно-методический комплекс аттестации инфракрасных коллиматорных стэндов, приведены результаты математического моделирования и реальных измерений.

**Ключевые слова:** метрология, испытания, тепловизионные приборы, радиационная температура, инфракрасный коллиматорный стэнд.

### Summary

The article describes the method of certification of infrared collimator stands developed by the authors used in the testing of thermal imaging devices, describes a hardware-methodical complex of attestation of infrared collimator stands, gives the results of mathematical simulation and real measurements.

**Keywords:** metrology, tests, thermal imaging devices, radiation temperature, infrared collimator stand.

На полигонах государственных заказчиков оборонного заказа и предприятиях оборонно-промышленного комплекса при государственных и приемо-сдаточных испытаниях тепловизионных наблюдательных приборов (ТНП) и образцов специальной техники, оснащенных ТНП, в целях имитации наблюдаемых объекта и фона, используется различное стэндовое оборудование, воспроизводящее условия испытаний ТНП. Основой таких инфракрасных коллиматорных стэндов (ИКС) являются зеркальные инфракрасные коллиматоры, в фокальной плоскости которых устанавливаются тепловые тест-объекты различной конфигурации с возможностью задания им требуемых значений разности радиационных температур (РРТ) при помощи излучателя в виде модели черного тела. Более подробно состав и принцип действия ИКС описаны в [1, 2].

В целях обеспечения единства измерений и достоверности оценки характеристик ТНП необходимо нормировать диапазон воспроизведения РРТ и допустимое отклонение от номинального значения РРТ, воспроизводимой стэндовым оборудованием, для каждой рабочей зоны спектрального диапазона, так как от этого напрямую зависят дальность обнаружения и дальность распознавания объектов, являющиеся основными тактико-техническими характеристиками ТНП.

Вместе с тем, практический опыт, накопленный в процессе проведения аттестационных работ на эксплуатируемых ИКС, показывает несовершенство их методического обеспечения:

- не учитывается несоответствие значений температурного контраста, воспроизводимого моделью черного тела и тепловым тест-

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

объектом, значениям воспроизводимого радиационного контраста между ними (по закону Планка излучение модели черного тела является нелинейной функцией температуры);

- не учитывается зависимость РРТ от температуры окружающей среды;

- не используется возможность проведения прямых измерений РРТ.

В организациях оборонно-промышленного комплекса широко применяются ИКС зарубежного производства, в качестве исходных параметров для которых используются неподтвержденные данные изготовителя, а также специальное программное обеспечение, разработанное под требования военных стандартов НАТО (MIL-STD-1859, STANAG 434, STANAG 4351), не соответствующих требованиям государственных заказчиков оборонного заказа.

Кроме того, в настоящее время отсутствует единый нормативно установленный методический подход к воспроизведению РРТ (на уровне государственного заказчика не утверждена соответствующая методика), что затрудняет проведение единой технической политики при оценке соответствия ТНП установленным требованиям и их сравнении между собой.

В целях совершенствования метрологического обеспечения испытаний ТНП был проведен анализ, используемых в настоящее время методов и средств испытаний ТНП, систематизированы их достоинства и недостатки и предложен аппаратно-методический комплекс, реализующий новый методический подход к воспроизведению РРТ [1-3].

В состав аппаратно-методического комплекса предлагается включить эталон-переносчик разности радиационных температур и разности энергетических яркостей и измеритель параметров микроклимата. Учет температуры окружающей среды позволит проводить аттестацию ИКС в местах их применения без необходимости обеспечения нормальных условий испытаний ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ), т.е. во всем температурном диапазоне эксплуатации ТНП.

В рамках существующей системы метро-

логического обеспечения специальной техники была разработана и с помощью созданного аппаратно-методического комплекса апробирована методика аттестации ИКС. В основе предложенной методики лежит метод прямых измерений РРТ на выходе коллиматора, учитывающий следующие влияющие факторы:

- зависимость РРТ от значений термодинамических температур ИКС  $\Delta T$ ;

- спектральный диапазон работы ТНП;

- влияние температуры окружающей среды.

Методика заключается в проведении измерений РРТ на выходе коллиматора при заданной  $\Delta T$  и построении индивидуальной градуировочной характеристики ИКС для требуемой рабочей зоны спектрального диапазона при определенной температуре окружающей среды.

С помощью данной методики были проведены измерения на трех образцах стендового оборудования, эксплуатируемых в организациях оборонно-промышленного комплекса.

Одновременно было проведено математическое моделирование воспроизведения РРТ для реальных условий эксплуатации стендового оборудования:

$$PPT = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[ \varepsilon_{ТТО} W_{\lambda}(T_{ТТО})^4 p + (1 - \varepsilon_{ТТО}) W_{\lambda}(T_{окр-сп})^4 p \right]^{0,25} - \varepsilon_{МЧТ} W_{\lambda}(T_{МЧТ})^4 p + (1 - \varepsilon_{МЧТ}) W_{\lambda}(T_{окр-сп})^4 p \right]^{0,25} d\lambda$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – границы спектрального диапазона;  $\varepsilon_{ТТО}$  – коэффициент излучения теплового тест-объекта, определенный на конкретном спектральном интервале;

$W_{\lambda}(T_{ТТО})$  – функция закона Планка от термоди-

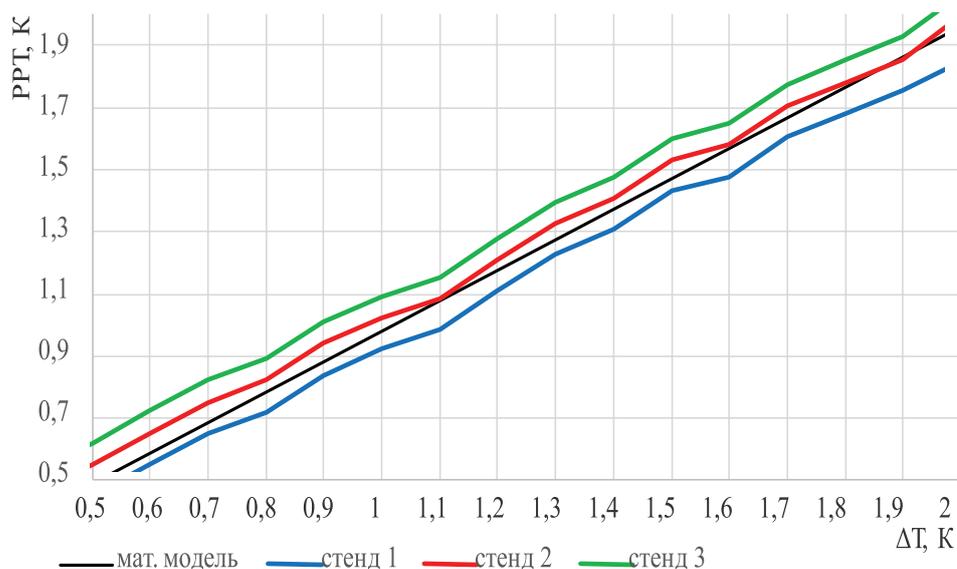


Рис. 1. Результаты измерений и математического моделирования

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

намической температуры для теплового тест-объекта;

$W_{\lambda}(T_{\text{МЧТ}})$  – функция закона Планка от термодинамической температуры для модели черного тела;

$(1-\varepsilon_{\text{ТТО}})W_{\lambda}(T_{\text{окр}_\text{ср}})$  – функция закона Планка на поправку от температуры окружающей среды;

$T_{\text{окр}_\text{ср}}$  – температура окружающей среды;

$\rho$  – коэффициент отражения зеркал коллиматора.

Экспериментальная проверка результатов моделирования показала сходимость их результатов (рисунки 1).

Таким образом, сходимость результатов измерений и математического моделирования показывает, что предложенный аппаратно-методический комплекс может использоваться для воспроизведения разности радиационных температур при аттестации инфракрасных коллиматорных стендов, применяемых для испытаний современных и перспективных тепловизионных наблюдательных приборов.

### Литература

1. Шарганов К.А. Особенности нормирования точностных характеристик инфракрасных коллиматорных стендов // Вестник метролога, 2017. № 1. С. 7-10.

2. Шарганов К.А. Математическая модель воспроизведения разности радиационных температур дифференциальными инфракрасными коллиматорными стендами, предназначенными для испытаний тепловизионных средств разведки // Мат. XI Всероссийской НТК «Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в РФ» / пос. Поведники, МО, 1-3.11.2016. С.196-200.

3. Шарганов К.А., Шкуркин А.П. Определение градуировочных характеристик дифференциальных инфракрасных коллиматорных стендов, предназначенных для испытаний тепловизионных наблюдательных приборов // Мат. X Всероссийской НТК «Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в РФ» / пос. Поведники, МО, 27-29.10.2014. С.248-250.



УДК 621.396.67

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЧАСТОТ РЛС

## DEFINITION OF PERSPECTIVE FREQUENCIES FOR RADARS

### 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

### 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

#### Аннотация

Статья посвящена уточнению перспективных частот различных РЛС. Основная гипотеза восходит к идее С. Пица, что существует всевселенская система конкретных выделенных частот  $1/T_{k,m}$ , и мы показали, что это видно, в частности, на примерах радиотехнических устройств. Гипотеза состоит в том, что всевозможные РЛС должны работать на частотах, согласованных с частотами Пица. Аналогия с работой глаза человека приводит к предсказанию спектра предпочтительных частот, лежащего в области прозрачности атмосферы для радиоволн. Сопоставление с ярким примером радиотелескопа дальней космической связи РТ-70 вносит поправку в это предсказание: искомые частоты должны лежать не на частотах Пица, а точно в серединах между ними. Эта особенность обнаружена ранее на примерах частот телевидения и мобильной телефонии.

**Ключевые слова:** формула Пица, РЛС, окна прозрачности атмосферы, несущая частота, радиотелескоп РТ-70/П-2500, радиотелескоп FAST, фотопигменты глаза человека, родопсин, иодопсин, меланопсин, бионика, распознавание целей.

#### Summary

The article is devoted to refinement of the prospective frequencies of different radars. The basic hypothesis goes back to the idea of S. Puetz that there exists an all-universe system of specific allocated frequencies  $1/T_{k,m}$ , and we showed that this can be seen, in particular, on the examples of radio engineering devices. The hypothesis is that all sorts of radars must work at frequencies consistent with Puetz's frequencies. An analogy with the work of the human eye leads to a prediction of the spectrum of preferred frequencies lying in the region of atmospheric transparency for radio waves. Comparison with a example of the well-known radio telescope for the long-range space connection RT-70 introduces an amendment to this prediction. The required frequencies should lie not at Puetz's frequencies, but precisely in the midpoints between them. This feature was found earlier on examples of broadcasting frequencies and mobile telephony frequencies.

**Keywords:** Puetz's formula, radar, windows of atmospheric transparency, carrier frequency, radiotelescope RT-70/P-2500, radio telescope FAST, bionics, photopigments of the human eye, rhodopsin, iodopsin, melanopsin, target recognition.

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Земная атмосфера почти полностью прозрачна для электромагнитного излучения лишь в двух сравнительно узких окнах: оптическом – в диапазоне волн от 0.3 мкм до 1.5-2 мкм (область до 8 мкм состоит из ряда узких полос пропускания) и в радиодиапазоне – для волн длиной приблизительно от 1-10 мм до 15-30 м.

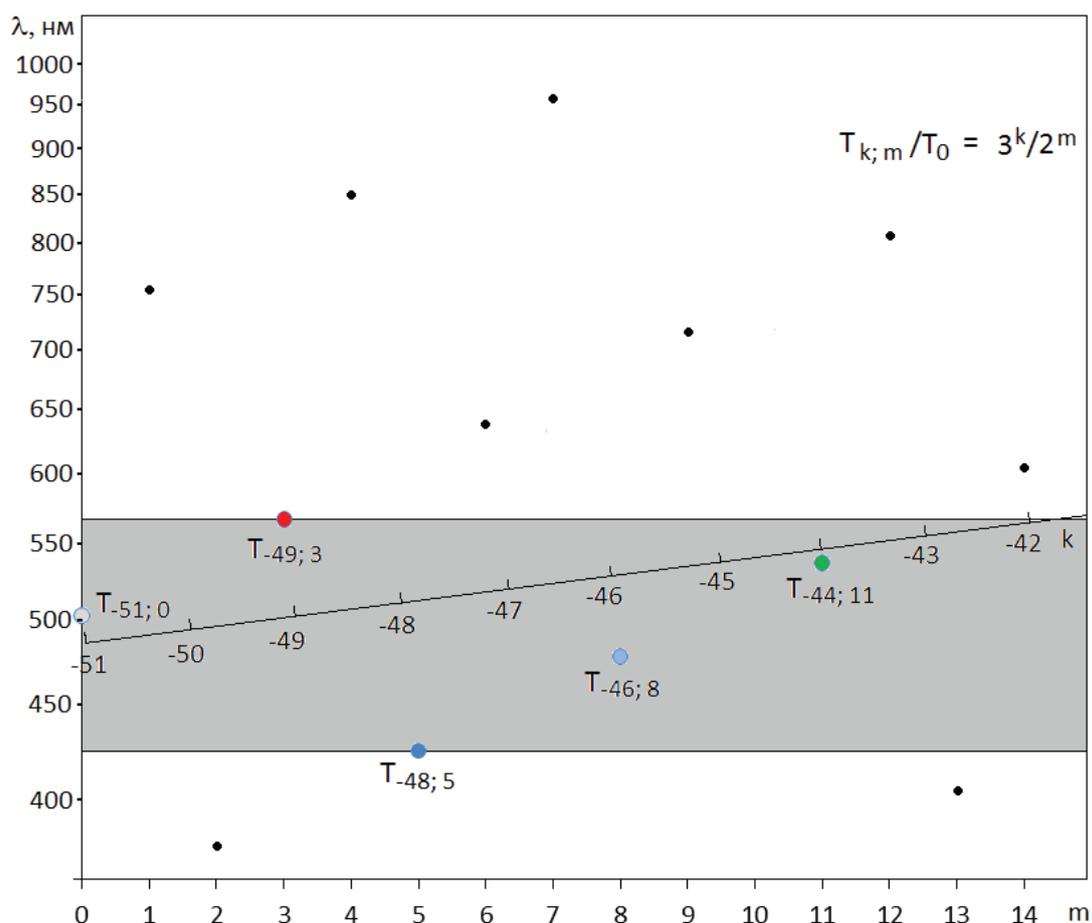
Мы исследовали спектр максимумов частот оптического диапазона, на которые настроены фоточувствительные системы глаза человека, и нашли, что они подчиняются эмпирическому закону Пиза [1-5]:

$$(T_{k,m}/T_0) = 3^{k/2^m} \text{ при } T_0 = 114,57 \text{ лет.}$$

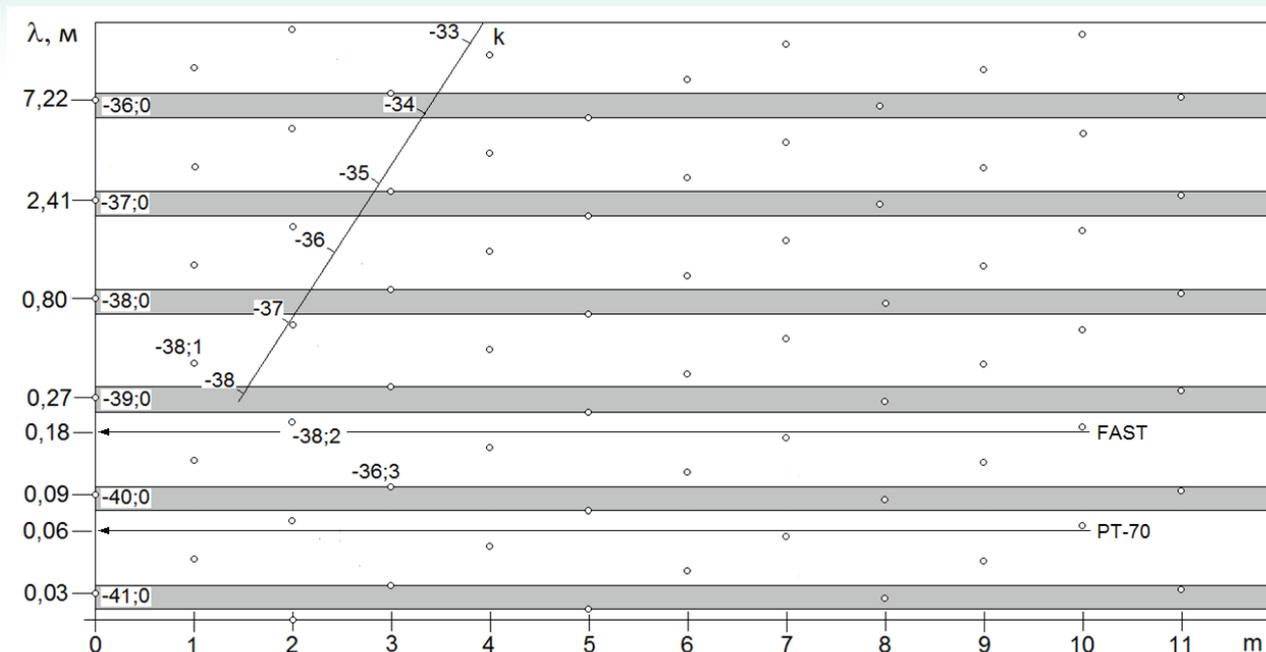
Целочисленные параметры  $k$  и  $m$  изменяются в широких пределах. В координатах «логарифм длины волн – параметр  $m$  формулы Пиза» множество значений длин волн, соответствующих периодам  $T_{k,m}$ , образуют правильную сеть – «сеть Пиза» [6-13] (см. рисунок 1).

Поскольку частоты фоточувствительных элементов глаза являются результатом долгой биологической эволюции, спектр используемых частот в этом случае можно воспринимать как готовое решение с уже доказанной эффективностью и попытаться применить это решение в технике. Это пример бионики – решения инженерно-технических задач на основе изучения строения и жизнедеятельности биологических систем.

Бионический перенос готового решения из оптической области в радиодиапазон приводит к предсказанию, по крайней мере, шести технических решений, различающихся расположением внутри окна прозрачности атмосферы (рисунок 2). При этом перенесении предполагается, что в каждом из выделенных диапазонов частота с параметром  $m=0$  и частоты с параметрами  $m=3,5,8,11$  внесут важные, но различные вклады в решение проблемы распознавания целей.



**Рис. 1.** Полоса частот в области оптического окна прозрачности атмосферы, в которую попали частоты максимумов всех пяти фотопигментов человеческого глаза: родопсина палочек (точка  $k=-51, m=0$ ), красного, синего и зеленого йодопсинов колбочек (точка  $k=-49, m=3$ ; точка  $k=-48, m=5$ ; точка  $k=-44, m=11$ ) и меланопсина фоточувствительных нервных клеток сетчатки (точка  $k=-46, m=8$ ) [6, 7]. По оси абсцисс – параметр  $m$  формулы Пиза. По оси ординат – длина волны в нанометрах, масштаб логарифмический (в этой системе координат ось параметра  $k$  формулы Пиза оказалась наклонной). Целочисленность параметров  $k$  и  $m$  приводит к дискретному расположению узлов «сети Пиза»



**Рис. 2.** Серым цветом выделены области бионических частот для РЛС в окне прозрачности атмосферы в радиодиапазоне. Это те области, где есть аналоги пяти частот, используемых в конструкции глаза человека. Здесь  $m$  и  $k$  – целочисленные параметры формулы Пицца, по вертикальной оси отложены значения длины сантиметровых и метровых радиоволн. Ось  $m$  как на *рисунке 1*

Так, в оптической области вариант  $m=0$  отвечает за работу в случае малого сигнала (в сумерках) и чувствительность этого канала выше на 2-3 десятичных порядка величины. Анализаторы с параметрами  $m=3, 5, 8, 11$  дают качественно различную информацию (в РЛС это будет условная разноцветность цели).

Можно предположить, что в спектре технических устройств, сконструированных на базе этого подхода, окажутся, в частности, те устройства, где итоговый сигнал будет выводиться на экран монитора в условных цветах, соответствующих *рисунку 1*. Это позволит оператору применить свою высокоэффективную систему распознавания цветных изображений, возникшую и отлаженную в процессе биологической эволюции глаза и мозга человека.

Однако априори неясно, действительно ли найденные решения хороши, и если да, то какое будет наилучшим. Здесь в очередной раз обнаруживается отмеченная в статье [12] тонкая особенность, состоящая в том, что частоты радиотехнических систем (в частности, телевидения и мобильной телефонии, но не компьютерных процессоров и не приборов для УВЧ-терапии) не только не тяготеют к частотам Пицца, но, наоборот, даже избегают их. По-видимому, на частотах Пицца легко возбуждается генерация шумов, а между частотами Пицца лежат тихие, незашумленные участки.

Самый большой в России радиотелескоп РТ-70/П-2500 – радиотелескоп дальней космической связи работает на длине волны около 5.984 см. Передача обычно осуществляется на частоте 5010.024 МГц, возможна линейная частотная модуляция полосой 0.512 МГц [14]. Ближайшие частоты Пицца (*рисунком 2*) имеют параметры  $m=7$ ,  $k=-36$  и  $m=10$ ,  $k=-34$ . Средняя (средняя геометрическая) длина волны, вычисленная по этим двум частотам Пицца, равна 5.985 см, т.е. отличие сравниваемых частот составляет величину порядка ширины полосы модуляции сигнала. Точность обнаруженного соответствия настолько хороша, что возможность случайного совпадения выглядит маловероятной, и можно предположить, что перед нами очередной пример избегания частот Пицца техническими системами, обеспечивающими прием слабого сигнала.

Самый большой в мире (с полукилометровым диаметром зеркала) китайский радиотелескоп FAST, вводимый сейчас в эксплуатацию, настроен на частоту с  $\lambda = 18$  см. Эта частота втрое меньше частоты российского РТ-70 (*рисунком 2*), и можно предполагать, что здесь тоже проявится феномен избегания частот Пицца.

Более тщательное исследование этого вопроса еще впереди, но уже рассмотренные примеры вполне позволяют предположить, что предложенный подход может быть использован для определения несущих частот РЛС, удобных для

адекватного представления на экране монитора в искусственных цветах. Надо, однако, учесть, что пятерку несущих частот, вычисленную по формуле Пиза, следует сместить точно в середины интервалов между вычисленными частотами.

### Литература

1. Puetz S.J., 2009. The unified cycle theory: How cycles dominate the structure of the universe and influence life on earth: Denver, OutskirtsPress.com, 489 p.

2. Stephen J. Puetz, Andreas Prokoph, Glenn Borchardt, Edward W. Mason. Evidence of synchronous, decadal to billion year cycles in geological, genetic, and astronomical events // *Chaos Solitons & Fractals* (2014) 62–63:55–75 DOI: 10.1016/j.chaos.2014.04.001

3. Stephen J. Puetz, Glenn Borchardt. Quasi-periodic fractal patterns in geomagnetic reversals, geological activity, and astronomical events // *Chaos Solitons & Fractals* 81:246–270, October 2015

4. Stephen J. Puetz, Glenn Borchardt. Period-Tripling and Fractal Features in Multi-Billion Year Geological Records // *Mathematical geosciences* DOI: 10.1007/s11004-015-9593-y, April 2015

5. Stephen J. Puetz, Andreas Prokoph, Glenn Borchardt. Evaluating alternatives to the Milankovitch Theory // *Journal of Statistical Planning and Inference* DOI: 10.1016/j.jspi.2015.10.006, October 2015

6. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Станкевич А.А. Соответствие сумеречного зрительного анализатора человека фундаментальной системе утраивающихся периодов // *Биофизика*, 2017. Т. 62. (В печати).

7. Коломбет В.А., Лесных В.Н. Универсальная система утраивающихся периодов как возможный индикатор дробления времени, сопровождающего эволюцию Вселенной // *Материалы конференции «Физика пространства и времени»*. Муром: научный городок «Премиловы горы». 23-28 марта 2017. С. 17-20.

8. Бондарь А.Т., Федоров М.В., Коломбет В.А. Утраивающиеся периоды в мультимасштабных физических и биологических явлениях // *Биофизика*, 2015. Т. 60. Вып. 6. С. 1208-1215.

9. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В., Федоров М.В. Обнаружение в технических устройствах фрактальной системы утраивающихся периодов, известной по своим физическим, геофизическим, биофизическим и биологическим манифестациям // *Биофизика*, 2016. Т.61. Вып. 3. С. 615-624.

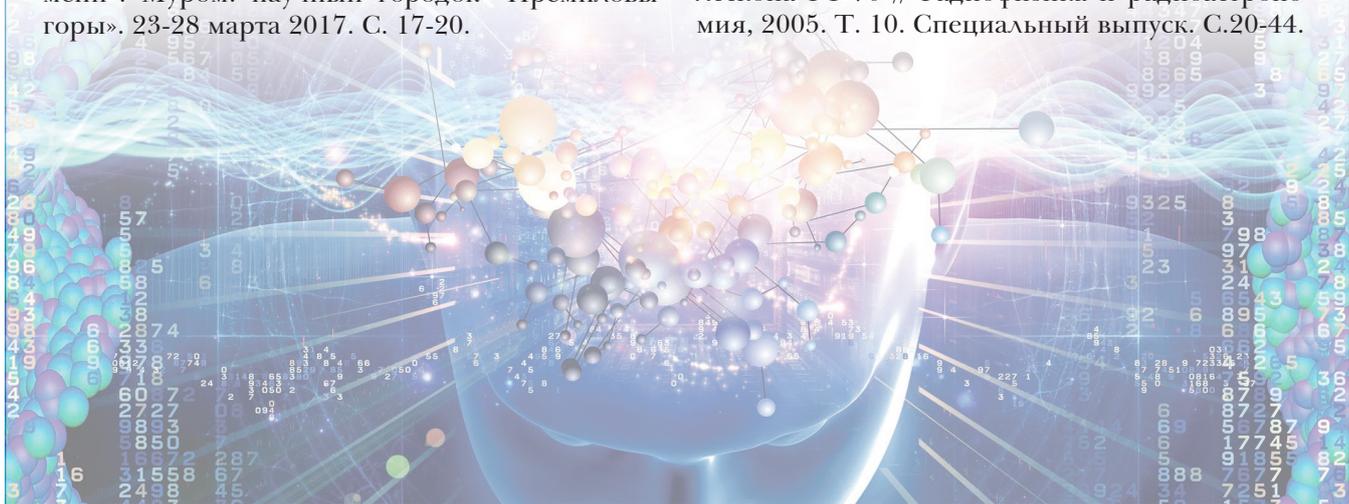
10. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. О перспективе применения фундаментальной системы утраивающихся периодов в мультимасштабных технических устройствах // *Известия Института инженерной физики*, 2016. №1(39). С. 8-11.

11. 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.

12. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. Особенность проявления фрактальной системы утраивающихся периодов в телевидении и мобильной телефонии // *Известия Института инженерной физики*, 2016. №4(42). С. 20-24.

13. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Скавуляк А.Н., Коломбет Е.В., Бондарь А.Т. Проявление универсальной системы утраивающихся периодов в УВЧ-терапии // *Известия Института инженерной физики*, 2017. №2(44). С. 70-73.

14. Коноваленко А.А., Фалькович И.С., Литвиненко Л.Н., Набатов А.С., Петренко А.Г., Федоров А.П., Камелин А.Б., Малевинский С.В., Молотов И.Е., Дементьев А.Ф., Липатов Б.Н., Нечаева М.Б., Туккари Дж., Лю Шю., Горшенков Ю.Н., Агапов В.М. Радиолокационные РСДБ-исследования с использованием радиотелескопа РТ-70 // *Радиофизика и радиоастрономия*, 2005. Т. 10. Специальный выпуск. С.20-44.





УДК 621.396

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДОСТУПНОСТИ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

### METHODOLOGY FOR ASSESSING THE AVAILABILITY OF A GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM UNDER THE INFLUENCE OF DESTABILIZING FACTORS

**Денис Владимирович Сальников**

кандидат технических наук  
старший преподаватель  
ФГКВОУ Военная академия связи им. Маршала  
Советского Союза С. М. Буденного МО РФ  
Адрес: 194064, Санкт-Петербург,  
Тихорецкий проспект, д. 3  
Тел.: 8 (911) 236-16-59  
E-mail: denis\_salnikov@mail.ru

**Илья Сергеевич Мешков**

адъюнкт  
ФГКВОУ Военная академия связи им. Маршала  
Советского Союза С. М. Буденного МО РФ  
Адрес: 194064, Санкт-Петербург,  
Тихорецкий проспект, д. 3  
Тел.: 8 (981) 877-05-54  
E-mail: ilya.meshkov.1987@mail.ru

#### Аннотация

В статье представлена методика оценки доступности глобальной навигационной спутниковой системы в условиях воздействия дестабилизирующих факторов. В алгоритм включены блоки, участвующие в навигационно-временных определениях. Производится расчет значений всех составляющих геометрического фактора, средней квадратической погрешности определения радионавигационных параметров навигационных сигналов, доступности глобальной навигационной спутниковой системы. Особенностью применения навигационной аппаратуры потребителя в военной сфере являются два дестабилизирующих фактора, оказывающих негативное влияние на доступность глобальной навигационной спутниковой системы, а именно сложные физико-географические условия и постановка радиопомех противником.

**Ключевые слова:** глобальная навигационная спутниковая система, доступность глобальной навигационной спутниковой системы, навигационная аппаратура потребителя, точность определения местоположения, геометрический фактор, навигационно-временные определения.

#### Summary

In article approach method of estimating the availability of global navigation satellite system in the conditions of influence of destabilizing factors. In data blocks involved in navigation-temporal settings. Calculates the values of all components of the geometric factor, the average quadratic error of determining the navigation parameters of the navigation signals, availability of the global navigation satellite system. Feature of the use of navigation equipment of the consumer in the military field are two destabilizing factors that have a negative impact on the availability of global navigation satellite systems, namely complex physical and geographical conditions and production of interference by the enemy.

**Keywords:** global navigation satellite system; service availability global navigation satellite system, navigation equipment of the consumer, the location accuracy, the geometric factor, navigation-temporal settings.

С развитием средств и способов ведения войны топогеодезическое и навигационное обеспечение становится ключевым элементом системы боевого управления войсками, возрастают требования к оперативности методов определения координат и качеству услуг, предоставляемых навигационным обеспечением.

Анализ видов оперативного обеспечения ВС РФ показал, что для более эффективного решения задач, поставленных перед системой навигационного обеспечения, необходимо наличие соответствующих органов управления с подчиненными ему силами и средствами. Структура этих подразделений и их основные задачи в настоящий момент находятся в стадии формирования. Классическая структура построения органов управления включает в себя подразделения планирования применения подразделений и сетей. Задача органов планирования дать прогноз использования подразделений и сетей для обеспечения ими требуемого качества в интересующий период времени.

Качество услуг навигационного обеспечения в основном определяется точностью навигационно-временных определений (НВО). Точность измерения местоположения, как правило выражается расстоянием от заявленного местоположения, в пределах которого, как установлено с определенной степенью вероятности, находится истинное местоположение [9]. Основным содержанием НВО в глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС) является определение пространственно-временных координат потребителя, а также составляющих его скорости, поэтому в результате решения НВО должен быть определен расширенный вектор состояния потребителя [2].

Критерий оценки НВО созданным качеством – доступность ГНСС (эксплуатационная готовность). Под доступностью (*Service Availability*) понимается способность ГНСС обеспечивать проведение навигационных определений с заданными точностными характеристиками (выражается в процентах времени, в течении которого обеспечиваются заданные условия) [1].

Другой документ классифицирует доступность на: доступность местоопределения по пространству *PSA*, по горизонтали *HSa*, по вертикали *VSA* [5]. Прогнозирование доступности требует анализа погрешностей, влияющих на точность НВО.

Рассматривая в качестве базовой навигационную аппаратуру потребителя (НАП) с двухэтапной обработкой сигналов, можно констатировать, что точность НВО определяется двумя типами погрешностей:

1. Погрешностями, возникающими на этапе первичной обработки;

2. Погрешностями, соответствующими этапу вторичной обработки.

Под погрешностью будем понимать разность между точным и приближенным значением измеряемой величины. Так как при первичной обработке формируются оценки псевдодальностей и псевдоскоростей. На этапе вторичной обработки оценки псевдодальностей и псевдоскоростей пересчитываются в оценки координат потребителя, поэтому погрешности этого этапа определяются факторами, влияющими на эффективность такого пересчета. Результат решения НВО является случайной величиной [4], поведение которой описывается математическим аппаратом теории вероятности. Погрешности первичной обработки являются некоррелированными между собой случайными величинами с гауссовским законом распределения, имеющими нулевые математическое ожидание и дисперсию  $\sigma_{2nd}$  [4]. Составляющие погрешностей вторичной обработки влияют на ухудшение точности решения НВО в сравнении с точностью определения псевдодальностей, зависящей от геометрии расположения потребителя и навигационных космических аппаратов (НКА). Для количественной оценки этого эффекта используют понятие геометрического фактора  $K_G$ .

Геометрический фактор – мера уменьшения точности навигационных определений в ГНСС из-за особенностей пространственного расположения НКА и потребителя (в иностранной литературе *GDOP*). Общее математическое решение расчета геометрического фактора представлено в [2]. Необходимо заметить, что *GDOP* состоит из ряда слагаемых, которые учитывают различные меры уменьшения точности навигационных определений в ГНСС из-за особенностей пространственного расположения НКА и потребителя: пространственный – *PDOP*, горизонтальный – *HDOP*, вертикальный – *VDOP*, временной – *TDOP*.

Совместное негативное действие погрешностей первичного и вторичного этапов обработки сигналов в НАП порождают не соответствие истинного местоположения НАП и расчетного. За меру точности НВО принимают среднюю квадратическую погрешность (СКП) определения местоположения (МП) потребителя ГНСС ( $\sigma_{mn}$ ):

$$\sigma_{mn} = \sigma_{nd} \cdot K_G, \quad (1)$$

где  $\sigma_{nd}$  – СКП определения псевдодальности навигационных сигналов в НАП;

$K_G$  – коэффициент геометрии [2, 3].

На основе изложенного, авторами данной

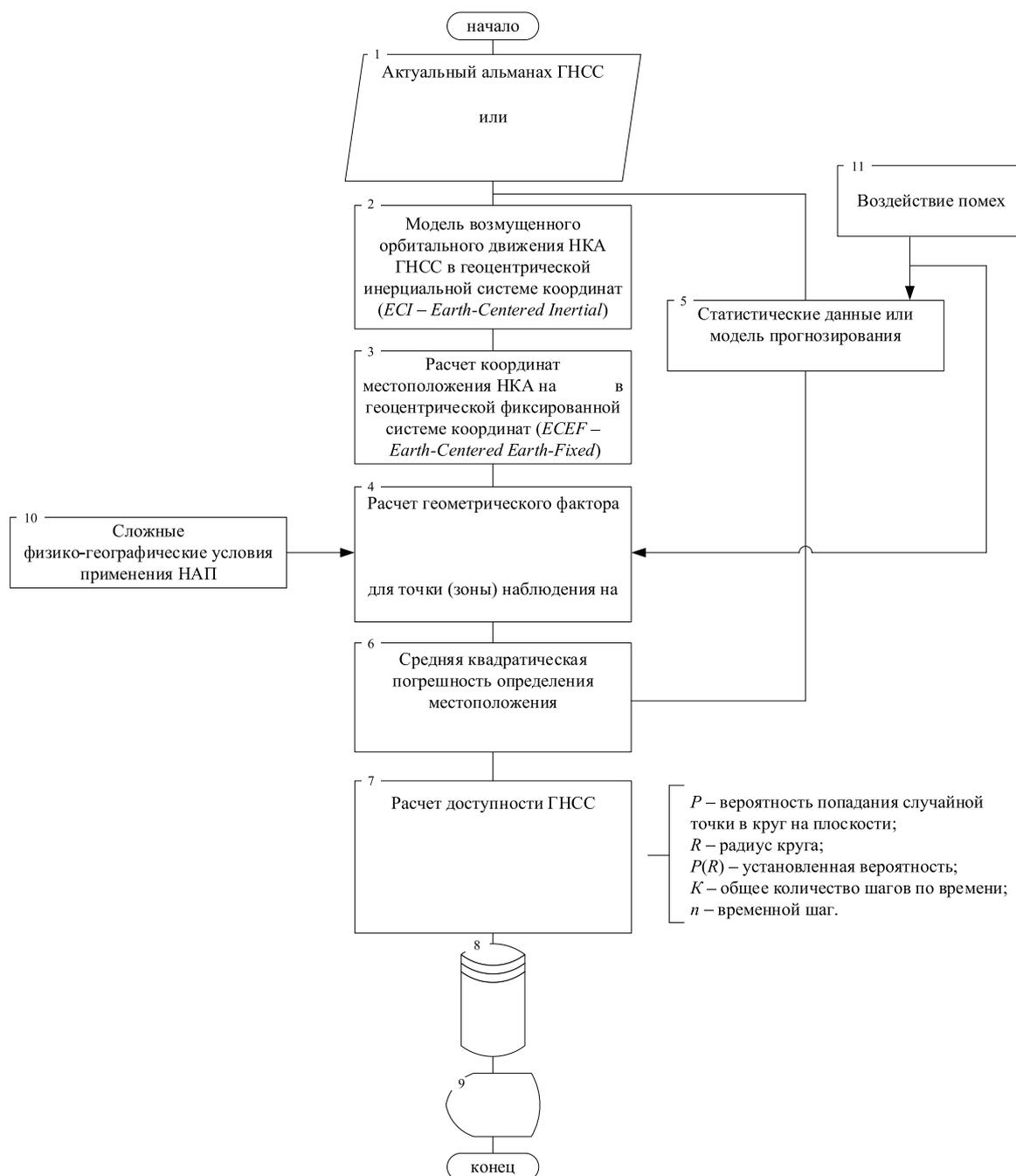
## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

статьи предлагается следующая методика для оценки доступности ГНСС, алгоритмизация которой представлена на *рисунке 1*:

1. Исходные данные: актуальный альманах ГНСС [1] (в частности, из альманаха ГНСС для работы методики необходимы элементы орбит НКА и их техническое состояние); координаты  $(x, y, z)_{\text{модель}}$  или зона  $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{\text{модель}}$  расположения НАП для которых или которой проводится оценка доступности ГНСС; требуемый интервал прогноза (наблюдения)  $\Delta t_{\text{модель}}$ ; пороговое значение погрешности местоопределения  $R_{x, y, z}$ .

2. Данный блок алгоритма производит расчет координат НКА на требуемый интервал прогноза (наблюдения)  $\Delta t_{\text{модель}}$ . Расчет координат НКА осуществляется по формулам и алгоритмам возмущенного Кеплеровского орбитального движения, приведенным в интерфейсных контрольных документах (ИКД) ГНСС [8], в геоцентрической инерциальной системе координат;

3. Координаты НКА блока 2 пересчитываются в координаты НКА отложенные в геоцентрической фиксированной системе координат;



**Рис. 1.** Алгоритм методики оценки доступности ГНСС в условиях дестабилизирующих факторов

4. Производится расчет значений всех составляющих  $K_r$  ( $GDOP$ ,  $PDOP$ ,  $HDOP$ ,  $VDOP$ ,  $TDOP$ ). Расчет  $K_r$  производится только для НКА, находящихся в зоне радиовидимости из точки расположения НАП  $(x, y, z)_{\text{модель}}$  или для каждой точки зоны расположения НАП  $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{\text{модель}}$ ;

5. СКП определения псевдодальностей навигационных сигналов в НАП ( $\sigma_{\text{пд}}$ ) задается на основе статистических данных или моделируется на основе модели прогнозирования;

6. СКП определения местоположения вычисляется путем произведения действующих значений опд и геометрического фактора, согласно бюджета погрешностей  $\sigma_{\text{пд}} = 6,2 \text{ м}$  [4];

7. Расчет доступности ГНСС вычисляемой как, процент времени на любом 24-часовом интервале, в течение которого с 95%-й вероятностью погрешность местоопределения по пространству (по горизонтали или по вертикали) меньше порогового значения для любой точки рабочей зоны системы. В нашей методике под любой точкой рабочей зоны системы будем понимать точку  $(x, y, z)_{\text{модель}}$  или точки зоны  $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{\text{модель}}$  расположения НАП;

8. Сохранение расчетных данных;

9. Отображение графического результата расчета.

Область применения военных подвижных объектов, оборудованных НАП достаточно специфична, данные объекты могут использоваться по назначению в различных физико-географических условиях (ФГУ). С большой долей вероятности данные условия могут приводить к затенению видимой части неба, что приводит к увеличению значений  $K_r$ . Увеличение значений  $K_r$  влечет увеличение погрешности НВО. Расчет выполнения условия радиовидимости НКА с учетом ФГУ производится в блоке 10 (рисунк 1).

Радиоприемная аппарата ГНСС, подвержена воздействию помех естественного и искусственного происхождения. Специфика военной НАП заключается в постановке противником преднамеренных помех.

Для борьбы с внеполосными помехами в приемнике используют методы частотной селекции в высокочастотном тракте. Помехи, спектр которых находится в полосе частот спутниковых сигналов, воздействуют непосредственно на основной тракт обработки навигационного сигнала и на характеристики режимов обнаружения и слежения за параметрами сигнала [3]. Негативное воздействие помех на режимы обнаружения и слежения за параметрами сигналов в НАП приводят к увеличению погрешностей первичной обработки, а при уровнях помех превышающих допустимый для заданной помехоустойчивости

НАП к полному подавлению полезного сигнала. Учет негативного воздействия помех на точность НВО производится в блоке 11 (рисунк 1).

Об актуальности и важности вопроса повышения устойчивости функционирования структурных элементов ГНСС в условиях воздействия преднамеренных факторов и дезорганизации функционирования НАП ГНСС свидетельствует решение руководства МО США о разработке Концепции ведения навигационной войны [6, 7].

Данная специфика применения НАП в военной сфере позволяет в первом приближении выделить два дестабилизирующих фактора, оказывающих негативное влияние на доступность ГНСС, это сложные ФГУ применения НАП и воздействие помех противника.

### Литература

1. ГОСТ Р 52928-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Система спутниковая навигационная глобальная. Взамен ГОСТ 52928-2008. Введ. 09.11.10. М.: Стандартинформ, 2011. 16 с.

2. Перов А.И., Харисов В.Н. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.

3. Яценков В. С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. М: Горячая линия-Телеком, 2005. 272 с.

4. Перов А. И. Основы построения спутниковых радионавигационных систем. М.: Радиотехника, 2012. 240 с.: ил.

5. ГОСТ 52865-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Параметры радионавигационного поля. Взамен ГОСТ 52865-2007. Введ. 15.12.09. М.: Стандартинформ, 2010. 17 с.

6. Тяпкин В.Н. Анализ возможностей вероятного противника по организации РЭП аппаратуре потребителей навигационной информации / В. Н. Тяпкин, И. А. Лубкин // Вестник СибГАУ. Спец. выпуск, 2011. С. 8-14.

7. Тяпкин В. Н. Характеристика РЭП вероятного противника аппаратуре потребителей навигационной информации / В. Н. Тяпкин, И. А. Лубкин // Сборник трудов секции № 4 XXXIX военно-научной конференции. Тверь: Военная академия воздушно-космической обороны, 2010. С. 429-434.

8. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 (Редакция 5.1). Москва, 2008. 74 с.

9. ИКАО. Приложение 14. Аэродромы. Издание 4, июль 2004 г.

УДК 621.391.1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОКОДЕРА ТРАНКИНГОВОЙ СЕТИ СТАНДАРТА TETRA

## DETERMINING THE ADDITIONAL BANDWIDTH OF THE TETRA TRUNKING NETWORK VOCODER

### Вячеслав Анатольевич Рыженков

кандидат технических наук  
начальник Управления заказов  
специальных средств  
Министерство обороны РФ  
Адрес: 119160, Москва,  
Хорошёвское шоссе, д. 76б

### Владимир Анатольевич Цимбал

заслуженный деятель науки РФ  
доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры «Автоматизированные  
системы управления»  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
ул. Бригадная, д. 17  
ведущий научный сотрудник  
управление АСУ и связи  
МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7 (4967) 35-31-93  
E-mail: tsimbalva@mail.ru

### Виктор Анатольевич Прасолов

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

### Сергей Николаевич Шиманов

доктор технических наук, профессор  
ведущий научный сотрудник  
управление АСУ и связи  
МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7 (4967) 35-31-93

### Сергей Юрьевич Бобрус

научный сотрудник  
МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7 (4967) 35-31-93

#### Аннотация

В статье рассматривается возможность передачи дополнительной цифровой информации при речевом обмене в радиосети стандарта TETRA за счет внесения преднамеренных искажений в цифровые фреймы ACELP вокодера без существенного снижения качества речевой связи.

**Ключевые слова:** транкинговая радиосвязь, TETRA, речевой сигнал, вокодер, ACELP, CELP, канальное кодирование, средняя оценка мнений, MOS, оценка качества речи, PESQ, качество связи, искажения сигнала, внедрение данных.

#### Summary

The article considers the possibility of transferring additional information in the speech exchange in the radio network TETRA due to the introduction of deliberate distortions into the digital frames of the ACELP vocoder without significantly reducing the quality of voice communication.

**Keywords:** trunking radio communication, TETRA, speech signal, vocoder, ACELP, CELP, channel coding, average opinion evaluation, MOS, speech quality estimation, PESQ, communication quality, signal distortion, data integration.

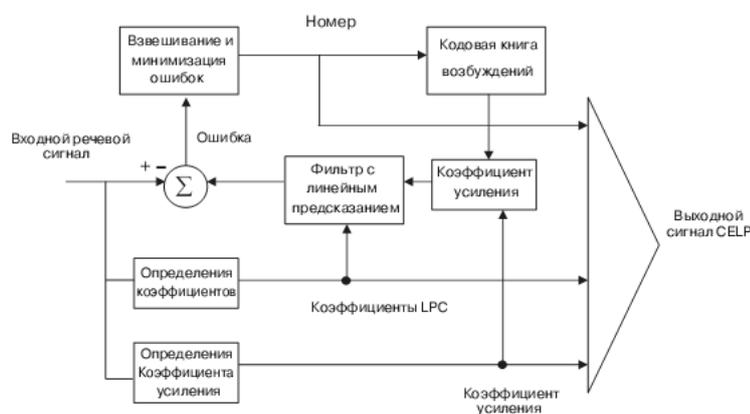
Системы транкинговой радиосвязи, представляющие собой радиально-зоновые системы подвижной УКВ-радиосвязи, осуществляющие автоматическое распределение каналов связи ретрансляторов между абонентами, являются классом систем подвижной связи, ориен-

тированным, прежде всего, на создание различных ведомственных и корпоративных сетей связи, в которых предусматривается активное применение режима связи абонентов в группе. Они широко используются силовыми и правоохранительными структурами, службами обществен-

ной безопасности различных стран для обеспечения связи подвижных абонентов между собой, со стационарными абонентами и абонентами телефонной сети.

Одним из наиболее распространенных в мире и в России стандартов транкинговой связи является стандарт TETRA, представляющий собой стандарт цифровой транкинговой радиосвязи, состоящий из ряда спецификаций, разработанных Европейским институтом телекоммуникационных стандартов ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Стандарт TETRA создавался как единый общеевропейский цифровой стандарт. Поэтому до апреля 1997 года аббревиатура TETRA означала Трансевропейское транкинговое радио (Trans-European Trunked Radio). Однако в связи с большим интересом, проявленным к стандарту в других регионах, территория его действия не ограничивается только Европой. В настоящее время TETRA расшифровывается как Наземное транкинговое радио (TErrestrial Trunked RAdio).

Для преобразования речи в стандарте используется вокодер с алгоритмом преобразования типа CELP (Code Excited Linear Prediction). Скорость цифрового потока на выходе вокодера составляет 4,8 Кбит/с. Цифровые данные с выхода речевого вокодера подвергаются блочному и сверточному кодированию, перемежению и шифрованию, после чего формируются информационные каналы. Пропускная способность одного информационного канала составляет 7,2 Кбит/с, а скорость цифрового информационного потока данных – 28,8 Кбит/с. (При этом общая скорость передачи символов в радиоканале за счет дополнительной служебной информации и контрольного кадра в мультикадре соответствует скорости модуляции и равна 36 Кбит/с). Общая структурная схема CELP вокодера приведена на *рисунке 1*.



**Рис. 1.** Структурная схема вокодера CELP

Рассмотрим более подробно работу вокодера стандарта TETRA.

Для кодирования речи в TETRA используется речевой вокодер (кодек) ACELP (Algebraic code-excited linear prediction – алгебраический код возбужденного линейного предсказания), преобразующий речевой сигнал в цифровой поток. Метод получил распространение и продолжает совершенствоваться, его суть состоит в том, что для прогноза текущего отсчета речевого сигнала можно использовать линейно взвешенную сумму предшествующих отсчетов, то есть предсказываемый отсчет.

В этой модели блок из  $N$  речевых выборок синтезируется путем фильтрации соответствующей обновленной последовательности из кодовой книги, масштабированной коэффициентом усиления, с помощью двух изменяющихся во времени фильтров [1]. Первый фильтр является фильтром долгосрочного предсказания (фильтром основного тона), цель которого – моделирование псевдопериодического речевого сигнала, а второй – фильтр краткосрочного предсказания, моделирующий огибающую речевого спектра.

Фильтр синтеза основного тона выполнен как адаптивная кодовая книга, где для задержек, меньших чем длина подфрейма, повторяется последнее возбуждение. Для определения основного тона и параметров кодовой книги возбуждения в кодеке TETRA используется способ «анализ через синтез». При данном способе синтезированная речь вычисляется для всех кандидатов-последовательностей, составляя особую последовательность, которая и формирует выходной сигнал, наиболее близкий к исходному, в соответствии со взвешенной величиной измененных искажений.

В ACELP используется специальная кодовая книга, имеющая алгебраическую структуру. Эта алгебраическая структура имеет некоторые преимущества в отношении сохранения, сложности поиска и помехоустойчивости (робастности). Кодек TETRA использует специальную динамическую алгебраическую кодовую книгу возбуждения, посредством которой, а также динамической матрицы формы образуются фиксированные векторы возбуждения. Матрица формы – это функция модели линейного предсказания, главная роль которой состоит в формировании векторов возбуждения в частотной области так, чтобы их энергия была сконцентрирована в наиболее важных частотных полосах.

В кодеке TETRA используются фреймы длительностью по 30 мс. Это требуется для того, чтобы параметры краткосрочного предсказания вычислялись и передавались в каждом речевом фрейме. Речевой фрейм разделен на 4 подфрейма по 7,5 мс (60 выборок). Основной тон и параметры алгебраической кодовой книги также передаются в каждом подфрейме. Описание каждого фрейма длительностью 30 мс занимает 137 бит, что в результате дает скорость передачи параметров речи 4567 бит/с.

В *таблице 1* представлено распределение бит для кодека TETRA.

**Таблица 1**  
Распределение бит для кодека TETRA

Параметр	Номер сегмента				Всего в кадре
	1	2	3	4	
Коэффициенты линейного предсказания	1	2	3	4	26
Параметр	Номер сегмента				Всего в кадре
Период основного тона	8	5	5	5	23
Индекс алгебраической кодовой книги	16	16	16	16	64
Коэффициенты усиления	6	6	6	6	24
Всего					137

Таким образом выходной сигнал кодека формируется в виде фреймов по 137 бит.

Современную цифровую связь невозможно представить без применения помехоустойчивого кодирования, обеспечивающего коррекцию ошибок, возникающих при передаче информации по каналам связи. Все коды, исправляющие ошибки, основаны на одной общей идее: для исправления ошибок, которые могут возникнуть в процессе передачи или хранения информации к ней добавляется некоторая избыточность. В соответствии с этим в TETRA каждый выходной фрейм ACELP кодека кодируется и помещается в поле данных стандартного пакета структура которого приведена в *таблице 2*.

**Таблица 2**  
Структура пакета речевого трафика (DMNB)

№	Длина, бит	Поле
1	34	начальный защитный интервал
2	12	преамбула
3	2	поле коррекции фазы
4	216	данные
5	22	обучающая последовательность эквалайзера
6	216	данные
7	2	переходные биты
8	6	конечный защитный интервал

Из приведенной *таблицы 2* видно, что вносимая в речевой фрейм избыточность составляет 79 бит. Однако не вся информация речевого фрейма кодируется одинаково.

С целью сокращения избыточности и обеспечения при этом требуемого качества связи биты речевого фрейма подразделяются на классы по уровню их влияния на конечную разборчивость речи на приемной стороне.

Особенность канального кодирования трафика речи в стандарте TETRA заключается в разделении первичного информационного блока из 137 бит, поступающих с выхода речевого кодера, на 3 класса в соответствии с чувствительностью к ошибкам в канале связи. Временной кадр, в соответствии с *таблицей 1.2*, включает в себя 2 речевых кадра, после канального кодирования информация с выхода речевого кодека (2\*137 бит) преобразуется в информационный кадр длиной 2\*216 бита (*таблица 1.2*).

Распределение данных бит по 3 классам чувствительности в речевом кадре осуществляется следующим образом: 0-й класс включает 51 из каждого речевого кадра (2\*51), 1-й класс – 56 бит (2\*56), 2-й класс – 30 бит (2\*30). К наиболее чувствительному 2-му классу относятся: 12 бит, содержащие 4 старших разряда 3-х 8-разрядных коэффициентов линейного предсказания; 6 бит, содержащие 6 старших разрядов 8-разрядного значения периода основного тона первого сегмента речевого кадра; 12 бит, содержащие 3 старших разряда 4-х 6-разрядных коэффициентов усиления для каждого из сегментов речевого кадра.

Биты второго класса чувствительности являются самыми важными, вследствие чего помимо кодирования СК со скоростью 8/18, закрываются CRC для обеспечения контроля целостности принятых данных. Биты первого класса менее значимые, потому кодируются уже менее мощным кодом, а отсутствие CRC означает, что возникающие ошибки при декодировании не оказывают существенного влияния на разборчивость речи. Биты же нулевого класса чувствительности передаются без какой-либо защиты от ошибок, очевидно, что их потеря (неправильный прием) незначительна.

Отсутствие CRC для бит нулевого и первого классов чувствительности в пакете позволяет частично использовать последние для передачи дополнительной информации в особых условиях при незначительном снижении качества речи. Тем не менее, биты данных классов несут определенную смысловую нагрузку, в противном случае, они не использовались бы. Проведенные эксперименты показали, что искаже-

ние данных бит приводит к появлению определенных шумовых эффектов, воспринимаемых на слух (щелчки, потрескивание и др.). Поэтому к выбору числа намеренно искажаемых бит в пределах одного пакета следует подходить обоснованно.

Важной характеристикой любого вокодера является качество воспроизводимой речи. Учитывая, что речевой сигнал воспринимается человеком, оценка его качества подчиняется законам психофизиологии слуха. Для оценки качества принято использовать критерий DAM (диагностическая мера приемлемости), используемый при проведении испытаний. Испытания заключаются в чтении несколькими дикторами (мужчинами и женщинами) ряда фраз, которые прослушиваются на выходе тракта связи рядом экспертов-слушателей, выставляющих оценки по 5-балльной шкале. Результатом является средняя субъективная оценка, или средняя оценка мнений (MOS) [2]. Хотя этот метод является субъективным, его результаты по сопоставлению различных типов кодеков при проведении испытаний одними и теми же группами дикторов и экспертов-слушателей являются достаточно объективными, и на них основываются выводы и решения. Оценки MOS приведены в таблице 3.

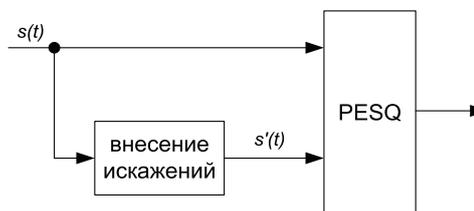
**Таблица 3**  
Оценка разборчивости речи MOS

Параметр	Уровень восприятия речевой информации	Оценка
отлично	Речь воспринимается полностью и без усилий	5
хорошо	Речь воспринимается свободно, без ощутимых усилий	4
удовлетворительно	Речь воспринимается с умеренными усилиями, наличие дефектов неоспоримо	3
плохо	Речь воспринимается вниманием	2
очень плохо	Речь не воспринимается полностью или частично	1

При передаче по каналам связи речь рассматривается как случайный процесс, характеристики которого определяют параметры передаваемого сигнала (динамический диапазон, полосу, отношение сигнал/шум). Все эти параметры поддаются измерению и могут быть точно определены. Объективные методы оценки качества предлагают менее трудоемкие способы по сравнению с субъективными и основываются на определении степени отличия кодированного и исходного сигналов.

Рассмотрим алгоритм объективной оценки качества речи PESQ [3, 4] (Perceptual Evaluation

of Speech Quality), предусматривающий сравнение входного, или эталонного, сигнала  $s(t)$  с его искаженной версией  $s'(t)$  (рисунок 2).



**Рис. 2.** Схема алгоритма PESQ

Результатом сравнения входного и выходного сигналов является оценка качества связи, которая аналогична усредненной субъективной оценке MOS. Оценки PESQ калибруются с использованием огромной базы данных оценок MOS.

В алгоритме PESQ учитываются следующие причины ухудшения качества сигнала: искажение его при кодировании, ошибки при передаче, потеря пакетов, время задержки передачи пакетов и флуктуация этого времени, фильтрация сигнала в аналоговых сетевых компонентах.

В ходе обработки осуществляются следующие операции [5]:

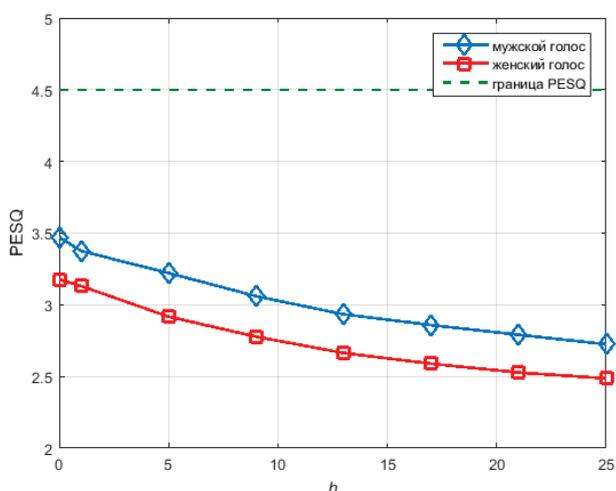
- выравнивание по уровню;
- входное фильтрование;
- выравнивание по времени;
- слуховое преобразование.

Сравнению входного и выходного сигналов предшествует их слуховое преобразование, которое имитирует определенные особенности человеческого слуха. Это дает информацию о воспринимаемой громкости сигнала в зависимости от времени и частоты, представляемую как поверхность восприятия. Разница между поверхностями восприятия входного и выходного файлов называется поверхностью ошибок, она указывает на все слышимые различия в звучании этих файлов, появляющиеся в тестируемой системе. Поверхность ошибок анализируется с учетом влияния на качество связи тех небольших искажений сигнала, которые не слышны на фоне сигналов большой громкости (эффект маскирования). На основании информации о позитивных и негативных ошибках рассчитываются два параметра искажений как нелинейные средние значения по определенным областям поверхности ошибок.

На конечном этапе работы алгоритма определяемые параметры искажений преобразуются в оценку качества, которая является линейной комбинацией средних значений симметричных и асимметричных искажений. Алгоритм PESQ оценивает качество речи по стандартизированной в телекоммуникационной отрасли пяти-

балльной шкале – от 1 до 5 (таблица 3). Оценка PESQ не превышает 4.5 – максимальный показатель, получаемый путем субъективного тестирования MOS. Высшая оценка, равная 4.5, означает, что алгоритм не выявил никаких искажений.

Воспользуемся алгоритмом PESQ для определения степени ухудшения качества речевого сигнала на выходе ACELP-вокодера при намеренном искажении бит, относящихся к нулевому классу чувствительности. Результаты оценки, проведенной в соответствии с методиками для файла-записи женского и мужского голосов, приведены на рисунке 3.



**Рис. 3.** Оценка PESQ при  $h$  ошибках в битах нулевого класса чувствительности блока из 137 бит ACELP-вокодера

Анализ представленных графиков позволяет обоснованно подойти к определению числа бит дополнительных данных, доступных к внедрению в речевые данные пакета TETRA, при котором степень ухудшения восприятия речи на слух не превзойдет требуемое значение. Так внедрение до 10 ошибок в биты нулевого класса приводит к снижению PESQ оценки до 0.5 балла, что не является критическим для передачи речевой информации.

Поскольку длительность одного кадра

TETRA, переносящего два речевых 137 битных фрейма, составляет 0,01417 с, то скорость передачи таких дополнительных данных при внедрении 10 ошибок на блок из 137 бит (20 бит на речевой пакет) составит  $\sim 353$  бит/с.

Внедрение дополнительных данных прикладным процессом (на уровне вокодера) делает возможным их передачу по сетям любой топологии, а отсутствие объективных методов для контроля – невозможным для обнаружения органами контроля. Таким образом, рассмотренный способ обладает значительной информационной емкостью для дополнительной передачи служебной информации в особых условиях связи стандарта TETRA.

Приведенные выше оценки достижимой скорости информационного обмена при искажении бит являются неточными, поскольку в одном временном тайм-слоте передача пакетов DMNB с определенной периодичностью сопровождается передачей пакетов других форматов (DMSB и рядом их разновидностей). При этом каждый из нерассмотренных пакетов имеет свою информационную емкость для дополнительной передачи информации и может также использоваться в данном направлении.

### Литература

1. Михайлов В.Г. Из истории исследований преобразования речи. Часть 2. Речевые технологии. Москва, 2008. С. 81-96.
2. Methods for subjective determination of transmission quality/ITU-T Recommendation P.800.
3. Methods for objective and subjective assessment of quality/ITU-T Recommendation P.862.1.
4. Методы для объективной и субъективной оценки качества / МСЭ-Т. Руководство по применению объективных измерений качества, основанных на Рекомендациях P.862, P.862.1 и P.862.2.
5. Способы оценки субъективного качества речи/URL:<https://habrahabr.ru/post/177099/> (дата обращения 01.09.2017).

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 539.182

## КВАНТОВАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ ГРУПП СИММЕТРИИ NV-ЦЕНТРА И МНОГОЭЛЕКТРОННЫХ СПИНОВЫХ СТРУКТУР

## QUANTUM INTERRELATION OF THE SYMMETRY GROUPS OF THE NV-CENTER AND MANY-ELECTRON SPIN STRUCTURES



### 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: sv\_s\_iif@mail.ru

### 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.r

### 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

### Ирина Олеговна Корчевая

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

### Анна Руслановна Мурадова

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

### Инна Александровна Мартынова

аспирант МФТИ (ГУ)  
младший научный сотрудник  
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский  
институт автоматики» им. Н.Л. Духова»  
Адрес: 119017, г. Москва,  
ул. Большая Ордынка, д. 24  
Тел.: +7 (965) 379-00-63

#### Аннотация

В данной статье представлено решение системы из двух-четырёх электронов с точки зрения теории групп. Такой подход позволяет упростить математическое описание NV-центра. Рассмотрены возможности поиска решения системы из четырёх электронов для более детального изучения состояний NV-центра.

**Ключевые слова:** NV-центр, теория групп, спин, электрон, синглет, триплет, квантовые числа.

#### Summary

This article presents a solution to a system of two-four electrons from the point of view of group theory. This approach simplifies the mathematical description of the NV-center. The possibilities of finding a solution of a system of four electrons for a more detailed study of the states of the NV-center are considered.

**Keywords:** NV-center, group theory, spin, electron, singlet, triplet, quantum numbers.

#### Введение.

#### Координатно-спиновая структура многоэлектронных атомарных систем

Продолжительное изучение стационарной системы NV-центров на основе как эксперимен-

та, так и групповой теории симметрий показало важность управления взаимодействиями между спинами самих электронов, спинами электронов и спинами ядер [1, 2].

В этой связи основной задачей является по-

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

строение и исследование соответствующего полного гамильтониана для NV-центра, а также нахождение решений, которые дают детальную информацию о виде волновых функций, позволяющих определять геометрические распределения электронных и спиновых плотностей.

В многоэлектронных орбитальных атомарных системах, таких как NV-центр, имеют место многоэлектронные волновые функции, учитывающие орбитальную  $n_i$  и спиновую  $\sigma_i$  структуры. Они отражают два свойства электрона: внешние пространственно-временные, описываемые в нерелятивистском случае группой  $O(3)$  или ее дискретными подгруппами, и внутренние, описываемые группой  $SU(2)$ .

Соответственно, в стационарном уравнении Шредингера

$$\hat{H}\psi(\vec{r}_1\sigma_1, \dots, \vec{r}_n\sigma_n) = E\psi(\vec{r}_1\sigma_1, \dots, \vec{r}_n\sigma_n), \quad (1)$$

полный гамильтониан должен учитывать оба эти свойства:

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{H}_1. \quad (2)$$

гамильтониан  $\hat{H}_0$  учитывает кинетическое движение и кулоновские взаимодействия:

$$\hat{H}_0 = \hat{T}_e + \hat{V}_{eN} + \hat{V}_{ee} + \hat{V}_{NV} + \dots, \quad (3)$$

где  $T_e$  – кинетическая энергия электронов;  $V_{eN}$ ,  $V_{ee}$ ,  $V_{NN}$  – потенциальные энергии парных электрон-ядерных, электрон-электронных, ядро-ядерных кулоновских взаимодействий.

Вид такого взаимодействия для систем из  $n$ -электронов и  $N$ -ядер в приближении без учета кинетического движения ядер мог бы принять следующий вид:

$$\hat{H}_0 = -\frac{\hbar^2}{2m} \sum_{i=1}^n \nabla_i^2(\vec{r}_i) - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0} \sum_{a=1}^N \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{ai}} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i,j>j}^n \frac{1}{r_{ij}} + \frac{(Ze)^2}{4\pi\epsilon_0} \sum_{a,b,a>b}^N \frac{1}{\rho_{ab}}. \quad (4)$$

Гамильтониан  $\hat{H}_1$  учитывает эффекты спиновой динамики электронов и ядер, то есть

$$\hat{H}_1 = \hat{H}_{SO} + \hat{H}_{SS} + \hat{H}_{Zeem} + \dots, \quad (5)$$

где слагаемые  $\hat{H}_{SO}$ ,  $\hat{H}_{SS}$ ,  $\hat{H}_{Zeem}$  учитывают спин-орбитальное, спин-спиновое и зеемановское взаимодействия.

Получение точных решений гамильтониана представляет огромную проблему. В литературе можно найти ряд приближенных методов, в которых используются вариационный метод, приближение Хартри-Фока, теория функциональной плотности и другие [3].

Открытие спина в квантовой физике привело к одному из важнейших свойств электромагнитно-заряженной материи, которая может быть разделена на две компоненты: бозоны – части-

цы с целым спином  $S=0,1,2,\dots$ ; фермионы – частицы с полуцелым спином  $S=1/2,3/2,5/2,\dots$ .

В результате установленной Ферми статистики, многоэлектронные волновые функции электронов как частицы со спином  $1/2$  по отношению к перестановке любой пары электронов анти-симметричны:

$$\hat{P}_{ij}\psi(\vec{r}_i\sigma_i, \vec{r}_j\sigma_j) = \psi(\vec{r}_j\sigma_j, \vec{r}_i\sigma_i), \quad (6)$$

$$\psi(\vec{r}_1\sigma_1, \dots, \vec{r}_i\sigma_i, \dots, \vec{r}_j\sigma_j, \dots, \vec{r}_N\sigma_N) = -\psi(\vec{r}_1\sigma_1, \dots, \vec{r}_j\sigma_j, \dots, \vec{r}_i\sigma_i, \dots, \vec{r}_N\sigma_N), \quad (7)$$

То есть собственное значение оператора перестановок  $P_{ij} = -1$  (принцип Паули). Хорошо известно на примерах решений многоэлектронных атомов гелия, лития, бериллия и др. какую важную роль играют спин электрона и принцип Паули в определении энергетических уровней. Естественно, эти факторы также очень важны и для определения и исследований энергетических уровней NV-центров.

## SU(2)-групповая спиновая структура электромагнитной материи

Группа спина  $SU(2)$  представляется унитарными  $(2 \times 2)$ -матрицами и является дважды накрывающей ортогональной группы  $SO(3)$ . Алгебры Ли групп  $SU(2)$  и  $SO(3)$  изоморфны:  $su(2) \approx so(3)$ , но сами группы как многообразия различны [4-6]:

$$SU(2) \approx S^3 : x_1^2 + y_1^2 + x_2^2 + y_2^2 = 1; \quad (8)$$

$$SO(3) \approx RP^3 = S^3/Z_2.$$

Именно группа  $SU(2)$  в физике является спин-группой, отвечающей за внутренние свойства частиц, а группа  $SO(3)$  и ее дискретные подгруппы отвечают за их пространственные свойства [5-7].

Генераторы  $S_i$  алгебры  $su(2)$  удовлетворяют коммутационным соотношениям

$$[S_i, S_j] = i\epsilon_{ijk} S_k,$$

где  $\epsilon_{ijk}$  – абсолютно антисимметричный тензор, и строятся из эрмитовых матриц  $2 \times 2$  матриц Паули.

Алгебра  $su(2)$  имеет один инвариантный оператор Казимира, который строится из квадратичной комбинации генераторов:

$$\vec{S}^2 = S_x^2 + S_y^2 + S_z^2. \quad (9)$$

Инвариантность оператора Казимира заключается в том, что он коммутирует со всеми генераторами алгебры:

$$[\vec{S}^2, S_x] = [\vec{S}^2, S_y] = [\vec{S}^2, S_z] = 0, \quad (10)$$

где  $i=x, j=y, k=z$ .

Оператор Казимира классифицирует неприводимые представления. Набор его собственных

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

векторов, принадлежащих одному собственному значению, вместе с одним из выбранных генераторов алгебры  $su(2)$  (например  $S_z$ ) образуют базис неприводимого представления [4].

Каждое базисное состояние  $|\lambda, \alpha\rangle$ , строящегося неприводимого представления, будет определяться двумя числами, которые выбираются как собственные значения операторов Казимира и  $S_z$ :

$$\bar{S}^2|\lambda, \alpha\rangle = \lambda|\lambda, \alpha\rangle, \quad (11)$$

$$S_z|\lambda, \alpha\rangle = \alpha|\lambda, \alpha\rangle, \quad (12)$$

где  $\lambda$  – собственное значение оператора Казимира;  $\alpha$  – собственное значение оператора  $S_z$ .

Можно ввести эрмитовы повышающий и понижающий операторы:

$$S_{\pm} = S_x \pm iS_y$$

Повышающий и понижающий операторы получаются друг из друга эрмитовым сопряжением, а их коммутаторы с оператором Казимира и оператором  $S_z$  следующие:

$$[\bar{S}^2, S_{\pm}] = 0, \quad (13)$$

$$[S_z, S_{\pm}] = \pm S_{\pm}, \quad (14)$$

$$[S_+, S_-] = 2S_z. \quad (15)$$

При воздействии операторами Казимира и  $S_z$  на состояния  $S_{\pm}|\lambda, \alpha\rangle$  в соответствии с (13) и (14) получено

$$\bar{S}^2 S_{\pm}|\lambda, \alpha\rangle = S_{\pm} \bar{S}^2|\lambda, \alpha\rangle = \lambda S_{\pm}|\lambda, \alpha\rangle \quad (16)$$

$$S_z S_{\pm}|\lambda, \alpha\rangle = S_{\pm} S_z|\lambda, \alpha\rangle + S_{\pm}|\lambda, \alpha\rangle = (\alpha \pm 1) S_{\pm}|\lambda, \alpha\rangle \quad (17)$$

$$\bar{S}_z S_{\pm}|\lambda, \alpha\rangle = S_{\pm} \bar{S}_z|\lambda, \alpha\rangle + S_{\pm}|\lambda, \alpha\rangle = (\alpha \pm 1) S_{\pm}|\lambda, \alpha\rangle \quad (18)$$

Таким образом, получены новые состояния с новыми собственными значениями оператора  $S_z$ , но с тем же собственным значением  $\lambda$  оператора Казимира, то есть понижающий и повышающий операторы не меняют собственное значение Казимира.

В общем виде, воздействия  $S_{\pm}$  имеют вид:

$$S_+|\lambda, \alpha\rangle = A|\lambda, \alpha+1\rangle,$$

$$S_-|\lambda, \alpha\rangle = B|\lambda, \alpha-1\rangle,$$

где  $A, B$  – константы.

Стоит отметить, что нормы состояний  $S_{\pm}|\lambda, \alpha\rangle$  являются неотрицательными

$$\langle \lambda, \alpha | S_+ S_+ |\lambda, \alpha\rangle = \langle \lambda, \alpha | S_- S_- |\lambda, \alpha\rangle \geq 0 \quad (19)$$

$$\langle \lambda, \alpha | S_+ S_- |\lambda, \alpha\rangle = \langle \lambda, \alpha | S_- S_+ |\lambda, \alpha\rangle \geq 0 \quad (20)$$

Суммированием (11) и (12) получено

$$\begin{aligned} & \left\langle \lambda, \alpha \left| \frac{1}{2} (S_+ S_- + S_- S_+) \right| \lambda, \alpha \right\rangle = \\ & = \left\langle \lambda, \alpha \left| (\bar{S}^2 - S_z^2) \right| \lambda, \alpha \right\rangle = (\lambda - \alpha^2) \geq 0, \end{aligned} \quad (21)$$

где  $S_{\pm} S_{\mp} = \bar{S}^2 - S_z^2 \pm S_z$  и  $\langle \lambda, \alpha | \lambda, \alpha \rangle = 1$ .

Из (21) следует, что  $a2 \leq \lambda$ .

Следовательно существуют значения  $\alpha_{max}$  и

$\alpha_{min}$  такие, что  $S_+|\lambda, \alpha_{max}\rangle = 0$  и  $S_-|\lambda, \alpha_{min}\rangle = 0$ .

Для построения конечномерного представления вычислены следующие комбинации:

$$\begin{aligned} S_- S_+ |\lambda, \alpha_{max}\rangle &= (\bar{S}^2 - S_z^2 - S_z) |\lambda, \alpha_{max}\rangle = \\ &= (\lambda - \alpha_{max}^2 - \alpha_{max}) |\lambda, \alpha_{max}\rangle = 0, \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} S_+ S_- |\lambda, \alpha_{min}\rangle &= (\bar{S}^2 - S_z^2 - S_z) |\lambda, \alpha_{min}\rangle = \\ &= (\lambda - \alpha_{min}^2 + \alpha_{min}) |\lambda, \alpha_{min}\rangle = 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Отсюда

$$\lambda = \alpha_{max}^2 + \alpha_{max} = \alpha_{min}^2 - \alpha_{min}, \quad (24)$$

и  $\alpha_{min} = -\alpha_{max}$ .

Поскольку число шагов от одного значения  $\alpha$  к другому конечно и является целым числом, то значения  $\alpha_{max}$  и  $\alpha_{min}$  должны отличаться на целое число  $n=0, 1, 2, 3, \dots$ , причем

$$n = \alpha_{max} - \alpha_{min} = 2\alpha_{max}$$

и

$$\alpha_{max} = n/2 = s,$$

где  $s$  – спин, который может быть любым положительным числом, кратным  $1/2$ .

В результате, собственное значение оператора Казимира можно определить как  $\lambda = s(s+1)$ .

Таким образом, любое неприводимое представление  $SU(2)$  можно охарактеризовать  $\lambda$  и  $s$ .

Неприводимое представление  $su(2)$ -спиновой алгебры со спином  $s$  имеет  $m_s = 2S+1$  подуровней с одним собственным значением оператора Казимира. Тогда имеет место следующая замена:  $|\lambda, \alpha\rangle \rightarrow |s, m_s\rangle$ .

В свою очередь, действия  $S_{\pm}$  и  $S_z$  операторов в гильбертовом пространстве можно определить как

$$S_+ |s, m_s\rangle = \sqrt{s(s+1) - m_s(m_s+1)} |s, m_s+1\rangle, \quad (25)$$

$$S_- |s, m_s\rangle = \sqrt{s(s+1) - m_s(m_s-1)} |s, m_s-1\rangle, \quad (26)$$

$$S_z |s, m_s\rangle = m_s |s, m_s\rangle, \quad (27)$$

$$\{|s, m_s\rangle : m_s = -s, -s+1, \dots, s-1, s\} \quad (28)$$

Таким образом, через алгебраические соотношения  $su(2)$ -алгебры строится вся бесконечная цепочка базисных состояний, где значения спина могут быть целыми и полуцелыми.

В соответствии с результатами анализа  $su(2)$  алгебры  $SU(2)$ -теория спина дает бесконечное число неприводимых представлений  $D^{(s)}$  размерности  $(2S+1)$ , характеризующихся собственными значениями оператора Казимира (11).

### Система двух – четырех электронов

Полная волновая функция электрона включает в себя как спиновую, так и координатную части.

Сначала необходимо рассчитать спиновую составляющую [7].

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Рассматривается система из двух электронов, в которой спин каждого электрона равен  $1/2$ , а полный спин системы определяется их суммой:

$$\vec{S} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2. \quad (29)$$

Так как число уровней

$$m_s = -s, -s+1, \dots, s-1, s,$$

то для  $s=1/2$  состояния электрона имеют вид:

$$|s, m_s\rangle = \left\{ \left| \frac{1}{2}, +\frac{1}{2} \right\rangle, \left| \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle \right\}. \quad (30)$$

Собственное значение оператора Казимира для представления со спином  $1/2$  равно

$$\lambda = s(s+1) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + 1 \right) = \frac{3}{4} \quad (31)$$

для обоих электронов.

Вектор-состояние для системы двух электронов может быть представлен в виде:

$$\begin{aligned} & |s, m_s\rangle_1 \otimes |s, m_s\rangle_2 = \\ & = \left| s = \frac{1}{2}, m_s = \alpha \right\rangle_1 \otimes \left| s = \frac{1}{2}, m_s = \beta \right\rangle_2. \end{aligned} \quad (32)$$

Для обоих электронов вводятся следующие упрощения обозначений:

$$\left| s = \frac{1}{2}, m_s = \frac{1}{2} \right\rangle_1 \equiv \left| m_s = \frac{1}{2} \right\rangle_1 \equiv \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1, \quad (33)$$

$$\left| s = \frac{1}{2}, m_s = -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \equiv \left| m_s = -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \equiv \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1, \quad (34)$$

$$\left| s = \frac{1}{2}, m_s = \frac{1}{2} \right\rangle_2 \equiv \left| m_s = \frac{1}{2} \right\rangle_2 \equiv \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2, \quad (35)$$

$$\left| s = \frac{1}{2}, m_s = -\frac{1}{2} \right\rangle_2 \equiv \left| m_s = -\frac{1}{2} \right\rangle_2 \equiv \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2. \quad (36)$$

Тогда

$$|s, m_s\rangle_1 \otimes |s, m_s\rangle_2 = |\alpha\rangle_1 \otimes |\beta\rangle_2 = |\alpha, \beta\rangle, \quad (37)$$

где  $\alpha, \beta = \pm 1/2$ .

Построен спин-оператор для системы из двух электронов, в которой полный спин может быть представлен как векторная сумма:

$$\begin{aligned} \vec{S} &= (\vec{S}_1 + \vec{S}_2) = \{S_x = S_{1x} + S_{2x}, S_y = \\ &= S_{1y} + S_{2y}, S_z = S_{1z} + S_{2z}\} \end{aligned} \quad (38)$$

$$\vec{S}^2 = \vec{S}_1^2 + \vec{S}_2^2 + 2\vec{S}_1 \vec{S}_2 \quad (39)$$

Для того, чтобы найти неприводимые представления в прямом произведении двух неприводимых представлений  $D^{s=1/2}$  необходимо доказать равенство

$$D^{s=1/2} \otimes D^{s=1/2} = D^{s=0} \oplus D^{s=1}. \quad (40)$$

Для рассматриваемых представлений действует правило  $2 \times 2 = 1 + 3$ .

Собственные значения операторов Казимира для рассматриваемых неприводимых представлений равны: для  $D^{s=1/2} - 3/4$ , для  $D^{s=0} - 0$ , для  $D^{s=1} - 2$ .

Поскольку  $S_z = S_{1z} + S_{2z}$ , то из двух электронных спиновых состояний можно получить  $S_z$  - проекцию на ось квантования:

$$S_z = M_s = m_1 + m_2 = \pm 1, 0.$$

Тогда

$$\begin{aligned} S_z |\alpha\rangle_1 |\beta\rangle_2 &= (S_{1z} + S_{2z}) |\alpha\rangle_1 |\beta\rangle_2 = \\ &= (m_1 + m_2) |\alpha\rangle_1 |\beta\rangle_2 = M_s |\alpha\rangle_1 |\beta\rangle_2. \end{aligned} \quad (41)$$

Имеется четыре варианта: три для  $S=1$  и один для  $S=0$ :

$$M_s = 1 \rightarrow \{m_1 = +\frac{1}{2}, m_2 = +\frac{1}{2}\}, \quad (42)$$

$$M_s = -1 \rightarrow \{m_1 = -\frac{1}{2}, m_2 = -\frac{1}{2}\}, \quad (43)$$

$$M_s = 0 \rightarrow \{m_1 = +\frac{1}{2}, m_2 = -\frac{1}{2}\}, \quad (44)$$

$$M_s = 0 \rightarrow \{m_1 = -\frac{1}{2}, m_2 = +\frac{1}{2}\}. \quad (45)$$

Формулы (42)-(45) образуют приводимое четырехмерное представление. Имеет место запутанность состояний  $S=1, M_s=0$  и  $S=0, M_s=0$ . Чтобы отличить два неприводимых представления  $D^{s=1}$  (трехмерное) и  $D^{s=0}$  (одномерное), необходимо вычислить для них собственные значения оператора Казимира:

$$\begin{aligned} \vec{S}^2 |\alpha\rangle_1 |\beta\rangle_2 &= (S_1^2 + S_2^2 + 2S_{1x}S_{2x} + \\ &+ 2S_{1y}S_{2y} + 2S_{1z}S_{2z}) |\alpha\rangle_1 |\beta\rangle_2 = \Lambda |\alpha\rangle_1 |\beta\rangle_2. \end{aligned} \quad (46)$$

С учетом того, что

$$S_x = \frac{S_+ + S_-}{2} \quad (47)$$

$$S_y = \frac{S_+ - S_-}{2i} \quad (48)$$

(46) можно представить как

$$\begin{aligned} \vec{S}^2 |\alpha\rangle_1 |\beta\rangle_2 &= (S_1^2 + S_2^2 + 2 \frac{S_{1+} + S_{1-}}{2} \frac{S_{2+} + S_{2-}}{2} + \\ &+ 2 \frac{S_{1+} - S_{1-}}{2i} \frac{S_{2+} - S_{2-}}{2i} + 2S_{1z}S_{2z}) |\alpha\rangle_1 |\beta\rangle_2. \end{aligned} \quad (49)$$

При воздействии оператором Казимира на два электронных состояния с полным спином  $S=1$  при  $M_s=1$  и  $M_s=-1$ , получено

$$\begin{aligned} \vec{S}^2 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2 &= \left( \frac{3}{4} + \frac{3}{4} + 2 \frac{S_{1+}S_{2+}}{4} + \frac{S_{1-}S_{2-}}{2i \cdot 2i} + \right. \\ &+ 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \left. \right) \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2 = 2 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2, \end{aligned} \quad (50)$$

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$$\begin{aligned} \bar{S}^2 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 &= \left( \frac{3}{4} + \frac{3}{4} + 2 \frac{S_{1+} S_{2+}}{4} + \frac{S_{1+} S_{2+}}{2i \cdot 2i} + \right. \\ &+ \left. 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \right) \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 = 2 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2. \end{aligned} \quad (51)$$

Таким образом, оба эти состояния в неприводимом представлении  $D^{S=1}$  имеют одинаковое собственное значение оператора Казимира, то есть  $\Lambda=2$ .

$$\begin{aligned} \bar{S}^2 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 &= \left( \frac{3}{4} + \frac{3}{4} - 2 \frac{S_{1+} S_{2+}}{4} + \right. \\ &+ \left. \frac{S_{1-} S_{2+}}{2i \cdot 2i} - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \right) \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 \end{aligned} \quad (52)$$

или

$$\bar{S}^2 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 = \left( \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 + \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2 \right), \quad (53)$$

где

$$S_{1+} S_{2+} \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 = \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2, \quad (54)$$

$$S_{1+} S_{2-} \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2 = \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2. \quad (55)$$

Аналогично

$$\begin{aligned} \bar{S}^2 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2 &= \left( \frac{3}{4} + \frac{3}{4} - 2 \frac{S_{1+} S_{2-}}{4} + \right. \\ &+ \left. \frac{S_{1+} S_{2-}}{2i \cdot 2i} - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \right) \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2 \end{aligned} \quad (56)$$

или

$$\bar{S}^2 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2 = \left( \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2 + \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 \right), \quad (57)$$

Имеются две ортогональные комбинации:

$$\begin{aligned} \bar{S}^2 \left( \frac{\left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 + \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2}{\sqrt{2}} \right) &= \\ = 2 \left( \frac{\left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 + \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2}{\sqrt{2}} \right), \Lambda = 2, \end{aligned} \quad (58)$$

$$\bar{S}^2 \left( \frac{\left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 - \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2}{\sqrt{2}} \right) = 0, \Lambda = 0. \quad (59)$$

Таким образом, можно увидеть, что три симметричных состояния

$$\begin{aligned} \chi(S=1, M_s = -1, 0, 1) = \\ = \left\{ \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2, \frac{\left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 + \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2}{\sqrt{2}}, \left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2 \right\} \end{aligned} \quad (60)$$

образуют трехмерное неприводимое представление со спином  $S=1$  (триплет).

Антисимметричное состояние

$$\chi(S=0, M_s = 0) = \left\{ \frac{\left| \frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_2 - \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{1}{2} \right\rangle_2}{\sqrt{2}} \right\} \quad (61)$$

образует одномерное представление со спином  $S=0$  (синглет).

Далее приводятся разложения на неприводимые представления в прямом произведении 3-х и 4-х неприводимых представлений  $D^{S=1/2}$

Так для прямого произведения 3-х спиновых  $D^{S=1/2}$  представлений с помощью некоторой алгебры можно получить следующее разложение, в котором появляется состояние с  $S=3/2$ :

$$\begin{aligned} D^{S=1/2} \otimes D^{S=1/2} \otimes D^{S=1/2} &= (D^{S=1} \oplus D^{S=0}) \otimes D^{S=1/2} = \\ &= (D^{S=1} \otimes D^{S=1/2}) \oplus (D^{S=0} \otimes D^{S=1/2}) = \\ &= D^{S=3/2} \oplus D^{S=1/2} \oplus D^{S=1/2}. \end{aligned} \quad (62)$$

Аналогично можно получить, последовательно применяя разложение для 4-х спиновых представлений,  $D^{S=1/2}$ :

$$\begin{aligned} D^{S=1/2} \otimes D^{S=1/2} \otimes D^{S=1/2} \otimes D^{S=1/2} &= \\ &= (D^{S=3/2} \oplus D^{S=1/2} \oplus D^{S=1/2}) \otimes D^{S=1/2} = \\ &= D^{S=2} \oplus D^{S=1} \oplus D^{S=1} \oplus D^{S=1} \oplus D^{S=0} \oplus D^{S=0}. \end{aligned} \quad (63)$$

Для получения этого разложения был использован промежуточный результат

$$D^{S=3/2} \otimes D^{S=1/2} = D^{S=2} \oplus D^{S=1}. \quad (64)$$

Для рассматриваемых прямых произведений 3-х и 4-х представлений действуют соответственно следующие правила:

$$\{2\} \otimes \{2\} \otimes \{2\} = \{4\} \oplus \{2\} \oplus \{2\}, \quad (65)$$

$$\{2\} \otimes \{2\} \otimes \{2\} \otimes \{2\} = \{5\} \oplus \{3\} \oplus \{3\} \oplus \{3\} \oplus \{1\} \oplus \{1\}.$$

где указаны размерности неприводимых представлений – скалярного  $\dim(D^{S=0})=1$ , спинорного  $\dim(D^{S=1/2})=2$ , векторного  $\dim(D^{S=1})=3$  и  $\dim(D^{S=3/2})=4$ ,  $\dim(D^{S=2})=(2S+1)=5$ . Для многомерных неприводимых представлений  $\dim(D^{S=1})$ ,  $\dim(D^{S=3/2})$ ,  $\dim(D^{S=2})$  можно привести соответственно 3-х, 4-х и 5-ти мерные базисы  $|s, m_s\rangle$ , которые характеризуются собственными значениями оператора Казимира:

$S(S+1) = \{1(1+1)=2, 3/2(3/2+1)=15/4, 2(2+1)=6\}$  и проекцией  $m_s$  генератора  $S_3$ , представленного во всех случаях в диагональном виде:

$$|1, +1\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, |1, 0\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, |1, -1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad (66)$$

$$\left| \frac{3}{2}, +\frac{3}{2} \right\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \left| \frac{3}{2}, +\frac{1}{2} \right\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \left| \frac{3}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \left| \frac{3}{2}, -\frac{3}{2} \right\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad (67)$$

$$\begin{aligned} |2, +2\rangle &= \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, |2, +1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, |2, 0\rangle = \\ &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, |2, -1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, |2, -2\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (68)$$

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

В многоэлектронных системах появление неприводимых представлений с высшими спинами естественно.

Благодаря пространственной симметрии  $C_{3v}$  и принципу Паули неприводимые представления с высшими спинами  $S=2$  и  $S=3/2$  реализоваться в NV-центре не могут.

### Анти-симметрия и факторизуемость полной волновой функции.

#### Принцип Паули

Для построения полной многоэлектронной волновой функции необходимо учитывать как пространственные симметрии системы, так и свойства  $SU(2)$ -представлений спиновых функций с общим требованием выполнения антисимметрии полной волновой функции.

Существует два варианта построения волновых функций для системы из двух электронов:

$$\psi^A(1,2) = \phi^A(\vec{r}_1, \vec{r}_2) \cdot \chi^S(\sigma_1, \sigma_2), \quad (69)$$

или

$$\psi^A(1,2) = \phi^S(\vec{r}_1, \vec{r}_2) \cdot \chi^A(\sigma_1, \sigma_2), \quad (70)$$

где  $\phi^{AS}$  – пространственная антисимметричная/симметричная часть;  
 $\chi^{AS}$  – спиновая антисимметричная/симметричная часть общей антисимметричной волновой функции.

Эти два случая следуют из принципа Паули:

1. Полная волновая функция двух электронов должна быть антисимметричной в пределах одной системы.

$$\psi(1,2) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_\alpha(1)\psi_\beta(2) - \psi_\alpha(2)\psi_\beta(1)) = -\psi(2,1). \quad (71)$$

2. Два электрона должны иметь разные квантовые числа:  $\alpha \neq \beta$ .

Таким образом, полная волновая функция всегда должна быть антисимметричной. Если пространственная часть симметрична, то спиновая – антисимметрична и наоборот.

Для двух уровней квантовой системы с двумя электронами можно построить общую волновую функцию со спином  $S=1$ :

$$\psi^A(1,2) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_1(\vec{r}_1)\phi_2(\vec{r}_2) - \phi_1(\vec{r}_2)\phi_2(\vec{r}_1)) \cdot \begin{cases} \chi(S=1, M_s=+1) \\ \chi(S=1, M_s=0) \\ \chi(S=1, M_s=-1) \end{cases} \quad (72)$$

или

$$\psi^A(1,2) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_1(\vec{r}_1)\phi_2(\vec{r}_2) - \phi_1(\vec{r}_2)\phi_2(\vec{r}_1)) \cdot \begin{cases} \alpha(\sigma_1)\alpha(\sigma_2) \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha(\sigma_1)\beta(\sigma_2) + \beta(\sigma_1)\alpha(\sigma_2)) \\ \beta(\sigma_1)\beta(\sigma_2) \end{cases} \quad (73)$$

а также три спин-синглета ( $S=0$ ):

$$\psi(1,2) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_1(\vec{r}_1)\phi_2(\vec{r}_2) + \phi_1(\vec{r}_2)\phi_2(\vec{r}_1)) \cdot \begin{cases} \phi_1(\vec{r}_1)\phi_1(\vec{r}_2) \\ \phi_2(\vec{r}_1)\phi_2(\vec{r}_2) \end{cases} \cdot \chi(S=0, M_s=0) \quad (74)$$

или

$$\psi(1,2) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_1(\vec{r}_1)\phi_2(\vec{r}_2) + \phi_1(\vec{r}_2)\phi_2(\vec{r}_1)) \cdot \begin{cases} \phi_1(\vec{r}_1)\phi_1(\vec{r}_2) \\ \phi_2(\vec{r}_1)\phi_2(\vec{r}_2) \end{cases} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha(\sigma_1)\beta(\sigma_2) - \beta(\sigma_1)\alpha(\sigma_2)). \quad (75)$$

Таким образом, в одном NV-центре можно построить один триплет и три синглета на невозбужденном состоянии, два триплета и два синглета – на возбужденном состоянии, только один синглет – на двойном возбужденном уровне. В общем, имеется  $6_0 + 8_1 + 1_2 = 15$  состояний.

Далее приводятся 6 волновых функций, один триплет и три синглета, представленные шестью детерминантами Слэтера [1], характеризующие основное состояние NV-центра:

$$S=1: \begin{cases} m_s=1, [a\bar{a}xy] \\ m_s=0, \frac{1}{\sqrt{2}}([a\bar{a}xy] + [a\bar{a}x\bar{y}]); \\ m_s=-1, [a\bar{a}x\bar{y}] \end{cases} \quad (76)$$

$$S=0: \{m_s=0, \frac{1}{\sqrt{2}}([a\bar{a}x\bar{y}] - [a\bar{a}xy])\}; \quad (77)$$

$$S=0: \{m_s=0, \frac{1}{\sqrt{2}}([a\bar{a}x\bar{x}] + [a\bar{a}y\bar{y}])\}; \quad (78)$$

$$S=0: \{m_s=0, \frac{1}{\sqrt{2}}([a\bar{a}x\bar{x}] - [a\bar{a}y\bar{y}])\}. \quad (79)$$

Аналогично можно построить 8 волновых функций – два триплета ( $2S+1=3$ ) и два синглета  $S=0$  для возбужденного уровня:

$$S=1: \begin{cases} m_s=1, [ax\bar{y}\bar{y}] \\ m_s=0, \frac{1}{\sqrt{2}}([ax\bar{y}\bar{y}] + [\bar{a}x\bar{y}\bar{y}]); \\ m_s=-1, [\bar{a}x\bar{y}\bar{y}] \end{cases} \quad (80)$$

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$$S = 1: \begin{cases} m_s = 1, [ax\bar{x}y] \\ m_s = 0, \frac{1}{\sqrt{2}}([ax\bar{x}y] + [\bar{a}x\bar{x}y]); \\ m_s = -1, [\bar{a}x\bar{x}y] \end{cases} \quad (81)$$

$$S = 0: \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}([ax\bar{x}y] - [\bar{a}x\bar{x}y]) \right\}; \quad (82)$$

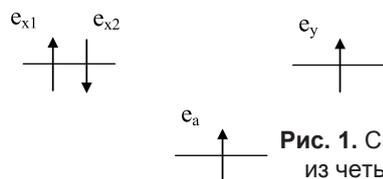
$$S = 0: \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}([ax\bar{x}y] - [\bar{a}x\bar{x}y]) \right\}. \quad (83)$$

Один дважды возбужденный уровень  $S=0$ :

$$S = 0: \{[x\bar{x}y\bar{y}]\}. \quad (84)$$

### Заключение

В данной статье представлен анализ группового подхода к определению спиновых и полных волновых функций в многоэлектронных системах  $n=2, \dots, 6$ . Такой подход позволяет подойти к прямым вычислениям электронных и спиновых плотностей в NV-центре. Если случай с двухэлектронными системами может представлять важность для подобных вычислений основного состояния NV-центра, то для возбужденного состояния сепарабельное приближение для расположения пар электронов на орбиталях  $(e_x, e_y)$  и  $(a_1)$  уже не допустимо и для вычислений потребуется более строгое определение полных волновых функций через детерминанты Слэтера для четырех электронов (рисунки 1).



**Рис. 1.** Система NV-центра из четырех электронов

Такую систему можно описать полной волновой функцией

$$\psi^A(a, e_{x1}, \bar{e}_{x2}, e_y) \equiv [a, x, \bar{x}, y], \quad (85)$$

представляющей собой детерминант Слэтера:

$$[a, x, \bar{x}, y] = \begin{vmatrix} \phi_a(\vec{r}_1)\alpha(\sigma_1) & \phi_a(\vec{r}_2)\alpha(\sigma_2) & \phi_a(\vec{r}_3)\alpha(\sigma_3) & \phi_a(\vec{r}_4)\alpha(\sigma_4) \\ \phi_{x1}(\vec{r}_1)\beta(\sigma_1) & \phi_{x1}(\vec{r}_2)\beta(\sigma_2) & \phi_{x1}(\vec{r}_3)\beta(\sigma_3) & \phi_{x1}(\vec{r}_4)\beta(\sigma_4) \\ \phi_{x2}(\vec{r}_1)\alpha(\sigma_1) & \phi_{x2}(\vec{r}_2)\alpha(\sigma_2) & \phi_{x2}(\vec{r}_3)\alpha(\sigma_3) & \phi_{x2}(\vec{r}_4)\alpha(\sigma_4) \\ \phi_y(\vec{r}_1)\alpha(\sigma_1) & \phi_y(\vec{r}_2)\alpha(\sigma_2) & \phi_y(\vec{r}_3)\alpha(\sigma_3) & \phi_y(\vec{r}_4)\alpha(\sigma_4) \end{vmatrix} \quad (86)$$

который является антисимметричным по любым двум строкам и столбцам.

Таким образом, любые два электрона из системы четырех электронов удовлетворяют принципу Паули. В результате выражения для полных волновых функций соответствующих со-

стояний приобретают до 24 слагаемых, что значительно усложняет вычисления.

Определение 4-х электронных волновых функций может дать возможность более глубокого изучения NV-центра, описания его энергетических уровней с учетом их вырождения и переходов между ними.

В связи с тем, что прямые методы получения точных решений для полных волновых функций  $N$ -электронных состояний сталкиваются с дифференциальными уравнениям  $6N$ -переменных, поиски решений которых представляют интеллектуально неразрешимые проблемы, были найдены другие пути и методы: вариационные подходы, приближение Хартри-Фока, теория функциональной плотности и другие [3]. Так в теории функциональной плотности вместо рассмотрения уравнений Шредингера для волновых функций используется вариационный принцип для одночастичной электронной плотности

$$n(\vec{r}) = N \sum_{\sigma_1} \dots \sum_{\sigma_N} \int d\vec{r}_1 \dots d\vec{r}_N |\psi(\vec{r}_1\sigma_1, \dots, \vec{r}_N\sigma_N)|^2, \quad (87)$$

где  $n(r)dr$  – вероятность нахождения любого электрона в области  $dr$  вблизи  $r$ .

### Литература

1. Doherty M.W., Manson N.B., Delaney P., Jelezko F., Wrachtrup J., Hollenberg L.C.L. The nitrogen-vacancy colour centre in diamond, *Physics Reports* 528, 1 (2013).
2. Волков Г.Г., Смуров С.В., Спин-электронные и ядерные кубиты. Квантовое запутывание NV-центров алмаза // *Известия Института инженерной физики*, 2017. №2(44). С.40-49.
3. Telnov D.A., Heslar J.T., Chu Shih-I. Time-dependent density functional theoretical methods for treatment of many-electron molecular systems in intense laser fields, *Theoretical and Computational Developments in Modern Density Functional Theory* Nova Science Publishers, Inc Editor: A. K. Roy, pp. 1-34, 2012
4. Kostrikin A., *Algebra*, Iv, Iiv, IIiv, 2000.
5. Волков Г.Г., Смуров С.В., Кукин Н.С., Мурадова А.Р., Глотова И.О. Математические вопросы расширения основ квантовой теории // *Известия Института инженерной физики*, 2015. №4(38). С.71-84.
6. Волков Г.Г., Смуров С.В., Кукин Н.С., Мурадова А.Р., Глотова И.О. Введение в геометрию  $N$ -арных комплексных чисел // *Известия Института инженерной физики*, 2016. №2(40). С.75-82.
7. Beveren E., Some notes on group theory, *Departamento de Fisica Faculdade de Cienciase Tecnologia*, P-3000 COIMBRA, Portugal, 2012.
9. Дементьев А.И. Структура молекул и квантовая химия. Учебное пособие. МФТИ, 2008. 252 с.



## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.942

### ПРОГРАММНО-МОДЕЛИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАНЕВРЕННОСТИ САМОЛЕТА

### SOFTWARE-SIMULATING COMPLEX FOR INTEGRAL RESEARCH AIRCRAFT MANEUVERABILITY

#### Павел Сергеевич Костин

кандидат технических наук  
доцент 72 кафедры  
Военный учебно-научный центр ВВС  
«Военно-воздушная академия имени  
профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
Адрес: 394064, г. Воронеж,  
ул. Старых Большевиков, д. 54а  
Тел.: 8 (919) 231-53-87

#### Алексей Николаевич Чеботарев

кандидат исторических наук, доцент  
доцент кафедры С-02  
филиал «Стрела» ФГБОУВО «МАИ  
(национальный исследовательский университет)»  
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4  
Тел.: 8 (910) 418-14-27

#### Аннотация

Рассмотрен процесс исследования маневренных характеристик самолета с помощью математического моделирования. Разработаны законы имитационного моделирования при выполнении пространственных маневров самолетом. На основе имитационного моделирования получены интегральные характеристики маневренности самолета. Результаты работы позволяют значительно сократить временные и финансовые затраты на определение маневренных характеристик самолета.

В связи с тем, что на вооружение ВКС РФ поступают новые образцы авиационной техники с цифровой электродистанционной системой управления (ЭДСУ) самолетом возникает необходимость исследовать характеристики маневренности таких боевых авиационных комплексов. Применение цифровых ЭДСУ расширяет основной эксплуатационный диапазон полета самолета, при этом необходимо исследовать характеристики самолета во всей эксплуатационной области, для чего проводятся летные испытания, на которые затрачиваются большие экономические и временные ресурсы.

Таким образом, для сокращения затрат на натурные испытания был разработан программно-моделирующий комплекс (ПМК), в основу которого легли: математическая модель динамики пространственного движения самолета, учитывающая комплексную систему управления самолетом и характеристики двигателя; имитационная модель управления самолетом при выполнении маневров, а также алгоритм проведения исследования и графическое представление результатов моделирования. С помощью данного ПМК, были проведены исследования характеристик маневренности учебно-боевого самолета, при выполнении им петли Нестерова и боевого разворота

**Ключевые слова:** моделирование, самолет, характеристики, программный комплекс.

#### Summary

The paper considers the process of maneuvering the aircraft characteristics research using mathematical modeling. The laws are developed when performing a simulation of spatial maneuvering aircraft. Simulation-based integrated mobility characteristics were obtained from the aircraft. The results of the work can significantly reduce the time and cost for determining maneuverability characteristics of aircraft.

In connection with the fact that adopted air-space forces of the Russian Federation received new models of aircraft, with a digital electronic control system (EDCS) plane, there is a need to investigate the mobility characteristics of such combat aircraft. Application of digital basic operational range extends EDCS airplane flight, in addition you must explore the characteristics of the aircraft throughout the operational area, for which flight tests that consume large economic and time resources are conducted. Thus, in order to reduce the cost of field tests software-simulating complex (SSC) was developed, which is based on the mathematical model of spatial dynamics: movement of an aircraft, taking into account the integrated control system of aircraft and engine performance; simulation model of aircraft control while performing maneuvers as well as conducting research algorithm and graphical representation. With the help of the SSC, studies on training and combat maneuverability of the aircraft have been carried out, in connection with the performance of loops and Nesterov fighting spread.

**Keywords:** simulation, aircraft specifications, program complex.



# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

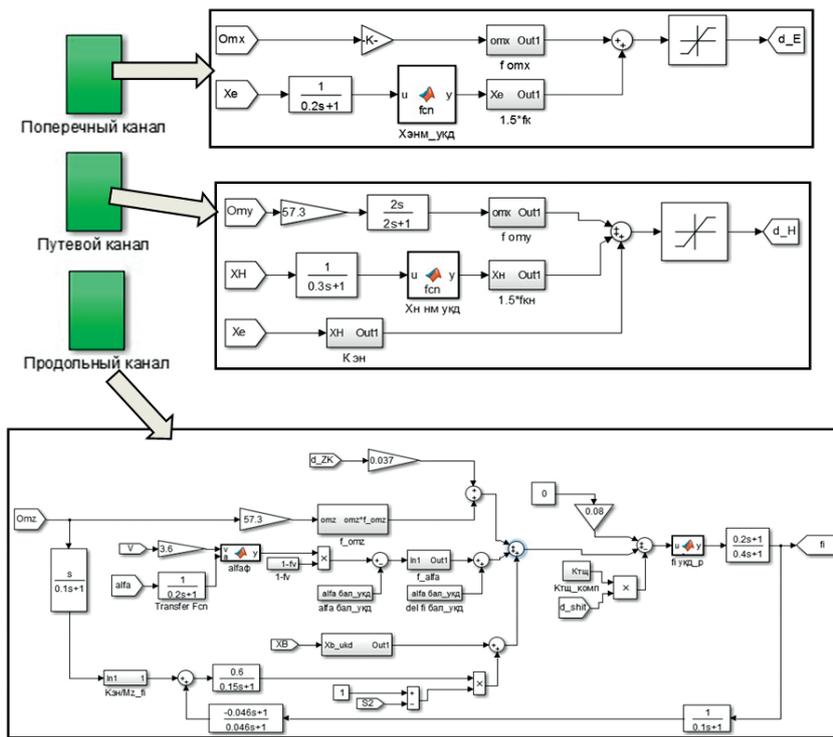


Рис. 2. Simulink-модель комплексной системы управления самолетом

$$m \left( \frac{dV_x}{dt} + \omega_y V_z - \omega_z V_y \right) = \sum R_x,$$

$$m \left( \frac{dV_y}{dt} + \omega_z V_x - \omega_x V_z \right) = \sum R_y,$$

$$m \left( \frac{dV_z}{dt} + \omega_x V_y - \omega_y V_x \right) = \sum R_z,$$

$$I_x \frac{d\omega_x}{dt} + (I_z - I_y) \omega_z \omega_y = \sum M_x,$$

$$I_x \frac{d\omega_y}{dt} + (I_x - I_z) \omega_x \omega_z = \sum M_y,$$

$$I_x \frac{d\omega_z}{dt} + (I_y - I_x) \omega_x \omega_y = \sum M_z,$$

$$\frac{dx_g}{dt} = V \cos \theta \cos \varphi,$$

$$\frac{dy_g}{dt} = V \sin \theta,$$

$$\frac{dz_g}{dt} = V - V \cos \theta \cos \varphi,$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \omega_z \cos \gamma + \omega_y \sin \gamma,$$

$$\frac{d\gamma}{dt} = \omega_x - (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma) \operatorname{tg} \vartheta,$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma}{\cos \vartheta},$$

(1)

где  $V_x, V_y, V_z$  – продольная, вертикальная, боковая скорости;  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  – скорости крена, рыскания и тангажа;  $\psi, \gamma, \vartheta$  – углы рыскания, крена и тангажа;  $I_x, I_y, I_z$  – осевые моменты инерции самолета;  $M_x, M_y, M_z$  – моменты крена, рыскания и тангажа;  $R_x, R_y, R_z$  – продольная, нормальная и поперечная силы;  $x_g, y_g, z_g$  – координаты вдоль соответствующих осей нормальной земной системы координат.

Аэродинамические силы  $X_a, Y_a, Z_a$  и моменты  $M_x, M_y, M_z$  определяются в соответствии с банком аэродинамических характеристик.

Математическая модель системы управления самолетом соответствует частным алгоритмам комплексной системы управления КСУ-130, реализуемым в резервном режиме ручного управления.

Эти алгоритмы формируют сигналы на отклонение рулевых поверхностей самолета.

В математическую модель динамики самолета включена модель силовой установки, состоящей из двух турбореактивных двигателей АИ-225-25. Значение тяги двигателей зависит от их режима работы, высоты и скорости полета в соответствии с высотнo-скоростными характеристиками, представленными на рисунке 4. Simulink-модель силовой установки представлена на рисунке 5.

### Имитационный алгоритм управления самолетом

#### при выполнении основных маневров

Исследование динамики самолета с помощью Simulink-моделей возможно, например, с помощью имитационного моделирования [4, 5]. В данной работе случайные факторы (турбулентность атмосферы, индивидуальные особенности летчика и др.), вносящие коррективы в динамику движения самолета, не учитывались.

Суть имитационного моделирования детерминированной динамической системы, к которой при определенных допущениях можно отнести самолет, заключается в следующем. Для конкретных начальных условий (значений кинематических параметров движения, конфигурации самолета, массы и др.) и закона управле-

$C_{ya} = f(\alpha, M, \delta_{noc} = 0^\circ)$

$\alpha$ (вкр)	M=0.2	M=0.6	M=0.7	M=0.8	M=0.9
-2	-0.198	-0.222	-0.228	-0.242	-0.203
-1	-0.126	-0.142	-0.150	-0.158	-0.131
0	-0.054	-0.063	-0.065	-0.072	-0.056
1	0.017	0.015	0.019	0.015	0.028
2	0.087	0.093	0.094	0.102	0.111
3	0.156	0.170	0.179	0.188	0.187
4	0.225	0.248	0.258	0.275	0.255
5	0.294	0.324	0.336	0.365	0.318
6	0.364	0.401	0.414	0.453	0.379
7	0.434	0.477	0.486	0.537	0.434
8	0.504	0.549	0.573	0.596	0.489
9	0.572	0.613	0.642	0.642	0.544
10	0.639	0.677	0.691	0.688	0.595
11	0.702	0.732	0.741	0.722	0.650
12	0.763	0.785	0.771	0.757	0.700
13	0.820	0.840	0.810	0.794	0.750
14	0.876	0.882	0.847	0.829	0.803
15	0.927	0.916	0.882	0.868	0.851
16	0.990	0.953	0.914	0.909	0.896
17	1.032	0.983	0.950	0.946	0.927
18	1.078	1.011	0.986	0.985	0.960
19	1.110	1.034	1.018	1.021	0.987
20	1.137	1.057	1.043	1.056	1.008
21	1.151	1.078	1.075	1.085	1.040
22	1.167	1.103	1.103	1.115	1.068
23	1.177	1.135	1.135	1.145	1.096
24	1.189	1.163	1.163	1.173	1.125
25	1.210	1.186	1.186	1.197	1.151
26	1.231	1.204	1.209	1.220	1.177
27	1.249	1.222	1.233	1.240	1.198
28	1.265	1.239	1.251	1.255	1.213
29	1.274	1.253	1.264	1.268	1.223
30	1.278	1.260	1.272	1.273	1.225
31	1.276	1.257	1.272	1.272	1.223
32	1.269	1.243	1.262	1.264	1.214
33	1.253	1.220	1.239	1.244	1.196
34	1.230	1.193	1.213	1.218	1.184
35	1.203	1.166	1.190	1.195	1.155
36	1.170	1.139	1.167	1.173	1.130
37	1.150	1.120	1.146	1.153	1.113
38	1.147	1.114	1.135	1.141	1.104
39	1.147	1.116	1.127	1.136	1.098
40	1.153	1.131	1.121	1.131	1.096

$C_{ya} = f(\alpha, \delta_{noc}, M=0.2)$

$\alpha$ (вкр)	$\delta_{noc}=0^\circ$	$\delta_{noc}=20^\circ$	$\delta_{noc}=30^\circ$
-2	-0.198	-0.238	-0.222
-1	-0.126	-0.168	-0.178
0	-0.054	-0.098	-0.120
1	0.017	-0.030	-0.068
2	0.087	0.046	0.009
3	0.156	0.125	0.088
4	0.225	0.198	0.163
5	0.294	0.268	0.238
6	0.364	0.341	0.310
7	0.434	0.418	0.382
8	0.504	0.485	0.464
9	0.572	0.563	0.536
10	0.639	0.632	0.597
11	0.702	0.698	0.669
12	0.763	0.772	0.744
13	0.820	0.838	0.807
14	0.876	0.906	0.870
15	0.927	0.976	0.929
16	0.990	1.047	0.999
17	1.032	1.113	1.055
18	1.078	1.175	1.111
19	1.110	1.237	1.169
20	1.137	1.294	1.228
21	1.151	1.350	1.279
22	1.167	1.396	1.322
23	1.177	1.423	1.369
24	1.189	1.438	1.404
25	1.210	1.455	1.440
26	1.231	1.475	1.467
27	1.249	1.488	1.502
28	1.265	1.508	1.522
29	1.274	1.525	1.545
30	1.278	1.541	1.565
31	1.276	1.544	1.577
32	1.269	1.537	1.577
33	1.253	1.519	1.573
34	1.230	1.488	1.565
35	1.203	1.460	1.545
36	1.170	1.425	1.525
37	1.150	1.383	1.489
38	1.147	1.339	1.459
39	1.147	1.307	1.432
40	1.153	1.296	1.416

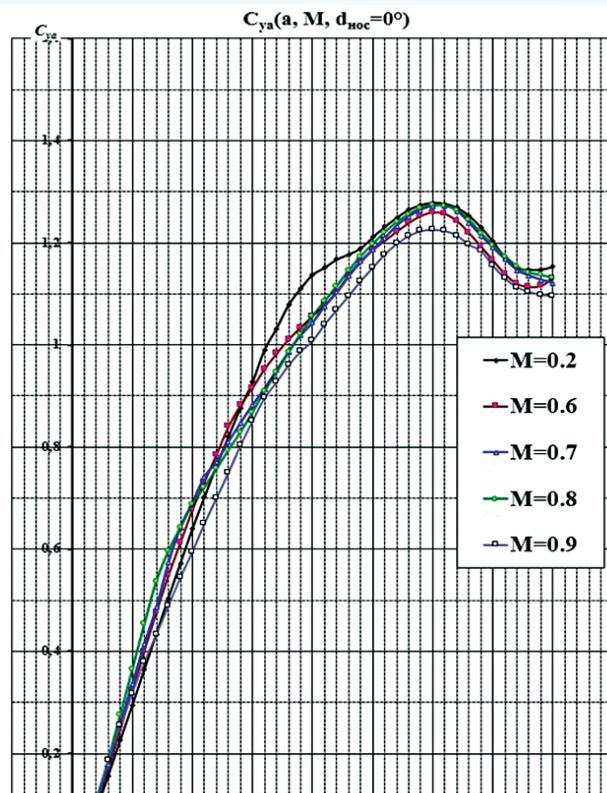


Рис. 3. Банк данных аэродинамических характеристик

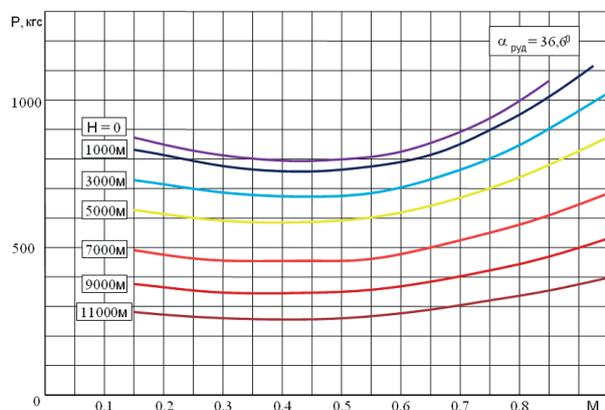


Рис. 4. Располагаемая тяга двигателя на крейсерском режиме

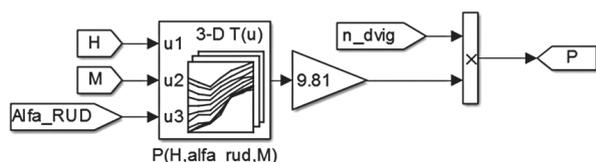


Рис. 5. Simulink-модель двигателя

ния самолетом проводится моделирование пространственного движения и фиксируется его результат. Следующая реализация выполняется при других начальных условиях.

Применительно к решению задачи моделирования движения самолета по заданной траектории с использованием Simulink-моделей имитационное моделирование сводится к следующему:

1. Создание Simulink-моделей, позволяющих с необходимой точностью описать динамику движения самолета (математическая модель динамики самолета, включающая модели двигателей и системы управления самолетом).

2. Задание исходных данных для каждой реализации моделирования. В целях сокращения времени и трудоемкости исследования исходные данные могут задаваться в автоматическом режиме, для этого необходимо указать диапазон значений, в рамках которого выполняется моделирование, и шаг изменения этих значений. Пример *m-файла*, управляющего моделированием, представлен на рисунке 6.

3. Запуск Simulink-модели, получение и накопление результатов моделирования. Результаты моделирования сохраняются во внешнем файле (файлах). Запуск и остановка моделирования одного типового маневра самолета осуществляется в автоматическом режиме в указанном диапазоне высот и скоростей полета с определенной дискретизацией по скорости ( $V$ ) и высоте ( $H$ ).

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

4. Отображение результатов моделирования в виде графических зависимостей. Построение графических зависимостей выполняется в специализированном программном продукте *Grapher*.

```

1- a=7; % Сколько нужно высот просчитать
2- c=17; % Сколько нужно скоростей просчитать
3- Y1=1000; % Начальная высота
4- d1=1000; % Шаг просчета высот
5- d=25; % Шаг просчета скоростей
6- Y0=0;
7- Vx0=0;
8- Vx1=850; % Начальная скорость
9- for i=1:a
10- Y0=Y1+d1*(i-1);
11- for n=1:c
12- Vx0=Vx1-d*(n-1);
13- sim('untitled123');
14- if i == 1 % высота H=1000 м
15- if n == 3 % скорость V=800 км/ч
16- T = XX; % Координаты X и Y и Z
17- xlsxwrite('H1000.xls',T) % Запись полученных координат в файл Excel
18- D1(1,1)=Hn; % Приращение высоты
19- D1(1,2)=T; % Время выполнения маневра
20- T4 = D1;
21- sheet = 2;
22- xlRange = 'A1';
23- xlsxwrite('H1000.xls',T4,sheet,xlRange) % Запись полученных данных в файл Excel
24- end;
25- if n == 7 % скорость V=700 км/ч

```

**Рис. 6.** М-файл для многократного запуска Simulink-модели

В качестве примера имитационного моделирования полета самолета по заданным траекториям ниже представлены результаты моделирования петли Нестерова и боевого разворота.

### Петля Нестерова

Петля Нестерова – маневр, при выполнении которого центр масс самолета описывает в вертикальной плоскости замкнутую кривую, представленную на рисунке 7, расположенную выше точки начала маневра, а вектор скорости изменяет свое направление на  $360^\circ$ .

В соответствии с Руководством по летной эксплуатации самолета Як-130 петлю Нестерова разрешается выполнять без подвесок при работе двигателей на режиме «Максимальный» [6]. Для выполнения восходящей части петли могут использоваться следующие законы управления:

1. На заданной высоте и скорости за 2–3 с создать и зафиксировать нормальную перегрузку  $n_y = 4.5-5$ , при достижении на траектории угла атаки  $\alpha = 16^\circ-18^\circ$  пилотирование продолжить в этом диапазоне углов атаки до прохода верхней точки.

2. На заданной высоте и скорости за 2–3 с создать перегрузку

$$n_{y,зад} = n_{y,max}^2 - 0,5$$

и сохранять ее до достижения на траектории угла атаки

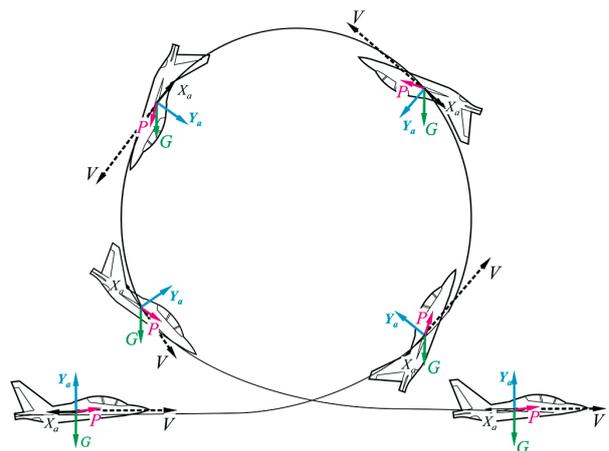
$$\frac{d\gamma}{dt} = \omega_z \cos \gamma + \omega_y \sin \gamma,$$

в дальнейшем пилотировать с этим значением угла атаки до прохода верхней точки.

Если в процессе ввода в фигуру предельный угол атаки реализуется раньше, чем перегрузка, то пилотирование выполнять по углу атаки.

В верхней точке петли оценить высоту и скорость полета. Если в верхней точке петли высота менее необходимой для выполнения второй части петли, необходимо выполнить полубочку и вывести самолет в горизонтальный полет, увеличив режим работы двигателей. После прохода верхней точки петли установить режим работы двигателя «Малый газ» и пилотировать с заданными значениями нормальной перегрузки и угла атаки до окончания фигуры.

Минимальная скорость на траектории при выполнении петли Нестерова должна быть не менее 230 км/ч.



**Рис. 7.** Петля Нестерова

В соответствии с приведенными рекомендациями в работе формировался закон управления самолетом по тангажу через отклонение ручки управления самолетом (РУС). Ввод в петлю выполнялся из режима установившегося по скорости горизонтального полета. Маневр выполняется согласно 1-му варианту закона управления, указанному в РЛЭ:

$$X_\epsilon = W \left( \int (n_y - n_{y,зад}) dt + K_{n_y} \dot{n}_y \right) + (1-W) \left( \int K_\alpha (\alpha - \alpha_{зад}) dt + K_\alpha \dot{\alpha} \right), \quad (2)$$

где  $X_\epsilon$  – величина отклонения РУС по тангажу;  $W$  – признак перехода управления с выдерживания заданной перегрузки на выдерживание заданного угла атаки ( $W=1$  если  $\alpha < 16^\circ$ ,  $W=0$  если  $\alpha > 16^\circ$ );

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

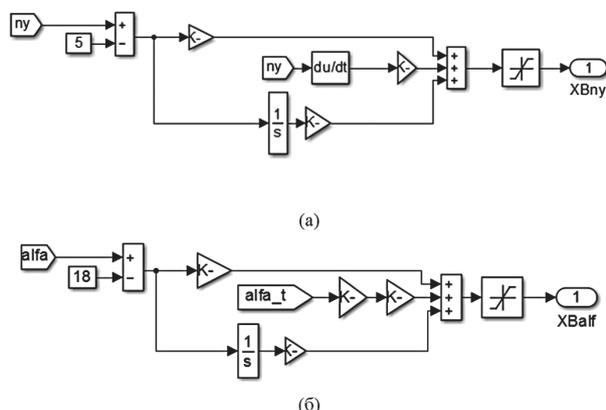
$n_y, n_{y\text{ зад}}$  – текущая и заданная нормальные перегрузки;  
 $\alpha, \alpha_{\text{зад}}$  – текущий и заданный углы атаки;  
 $K_{n_y}, K_\alpha, K_{n_y}, K_\alpha$  – коэффициенты усиления.

При моделировании петли Нестерова контролируемые параметры ограничивались следующими значениями:  $n_{y\text{ зад}}=5, \alpha_{\text{зад}}=18^\circ, V_{np\text{ min}}=230$  км/ч. Реализация управления в Simulink представлена на рисунке 8.

По результатам имитационного моделирования петли Нестерова при различных конфигурациях самолета (полетная и взлетно-посадочная конфигурация (ВПК)) определялись:

- область выполнимости маневра в координатах «высота ввода – скорость ввода»;
- изменение высоты и скорости за маневр;
- время выполнения манёвра.

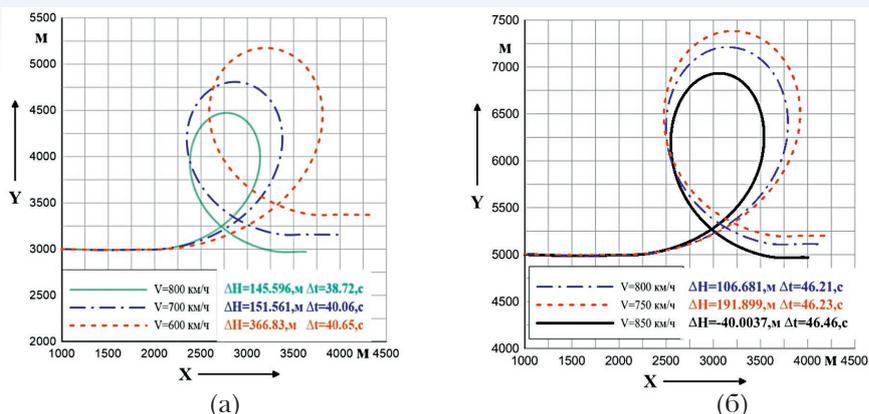
Диапазон выполнимости маневра определялся как массив значений минимально допустимых скоростей ввода в петлю на различных высотах из условия достижения  $V_{np}=230$  км/ч на маневре.



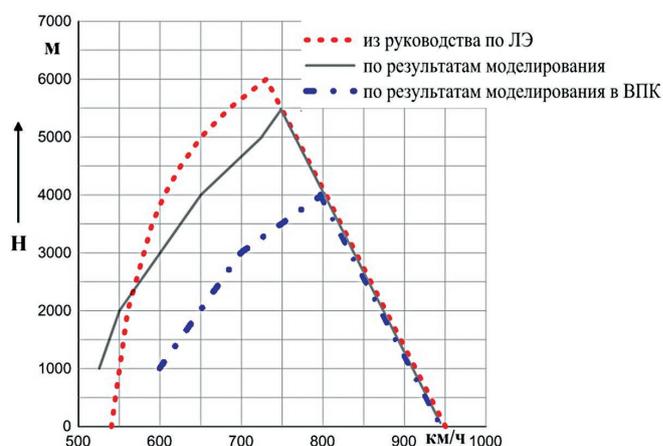
**Рис. 8.** Simulink-модель управления самолетом при выполнении петли Нестерова: (а) – по перегрузке, (б) – по углу атаки

Результаты моделирования петли Нестерова и сравнения с данными руководящих документов представлены на рисунках 9 и 10.

Сопоставление результатов моделирования с данными из Руководства по летной эксплуатации показали качественно схожие диапазоны выполнения маневра. Количественные отличия могут быть обусловлены неточностями в банке аэродинамических характеристик, а также логикой работы резервного алгоритма комплексной системы управления.



**Рис. 9** Траектории выполнения петли Нестерова: (а) –  $H=3000$  м, (б) –  $H=5000$  м



**Рис. 10.** Диапазон выполнения петли Нестерова

### Боевой разворот

Боевой разворот – пространственный маневр, изображенный на рисунке 11, при выполнении которого самолет энергично набирает высоту с одновременным разворотом на  $180^\circ$  или на заданный угол.

В соответствии с РЛЭ боевой разворот разрешается выполнять при работе двигателей на режиме «Максималь» по типу восходящей спирали или по типу первой половины косой петли. Перед вводом в боевой разворот необходимо установить заданную скорость и высоту полета.



**Рис. 11.** Боевой разворот

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

При выполнении боевого разворота по типу восходящей спирали плавным отклонением ручки управления на себя и в сторону выполняемого разворота перевести самолет в набор высоты с начальным углом крена 10-15°, создав за 2-3 с перегрузку 4,5-5,0 с плавным непрерывным увеличением угла крена. В конце второй трети боевого разворота угол крена должен составлять 65-70°. По мере уменьшения скорости в процессе выполнения боевого разворота при достижении на траектории угла атаки 16-18° пилотирование продолжить в этом диапазоне углов атаки.

После разворота самолета на 110-120° постепенно уменьшать углы крена и тангажа координированным отклонением ручки управления по диагонали от себя и педалей с таким расчетом, чтобы вывести самолет после разворота на 180° в горизонтальный полет со скоростью не менее 230 км/ч. Высота, набираемая за боевой разворот, зависит от начальных значений высоты, скорости и угла крена.

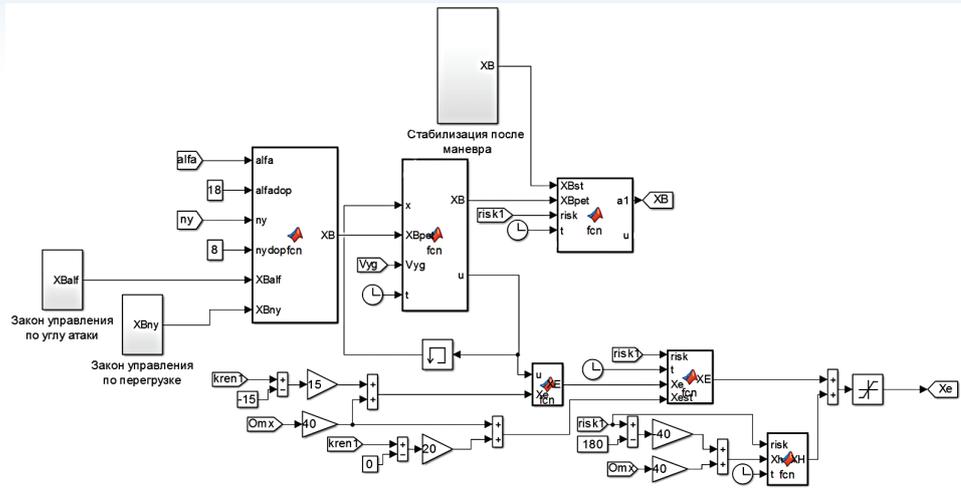


Рис. 12. Simulink-модель управления самолетом при выполнении боевого разворота

где  $X_\gamma$  – величина отклонения РУС по крену;  
 $\gamma, \gamma_{зад}$  – текущий и заданный углы крена;  
 $K_\gamma, K_{\omega_x}$  – коэффициенты усиления.

При создании перегрузки  $n_y = 4,5$  через 3 с после начала маневра  $X_\gamma = 0$ , и при изменении курса самолета на 180° выдерживается  $\gamma_{зад} = 0$ , и управление в канале крена осуществляется по следующему закону:

$$X_\gamma = (\gamma - \gamma_{зад})K_\gamma + \omega_x K_{\omega_x} + (\psi - \psi_{зад})K_\psi, \quad (4)$$

где  $\psi, \psi_{зад}$  – текущий и заданный курс;  
 $\psi_{зад} = \psi_{исх} + 180^\circ$ ;  
 $\psi_{исх}$  – исходный курс (курс самолета в начале маневра).

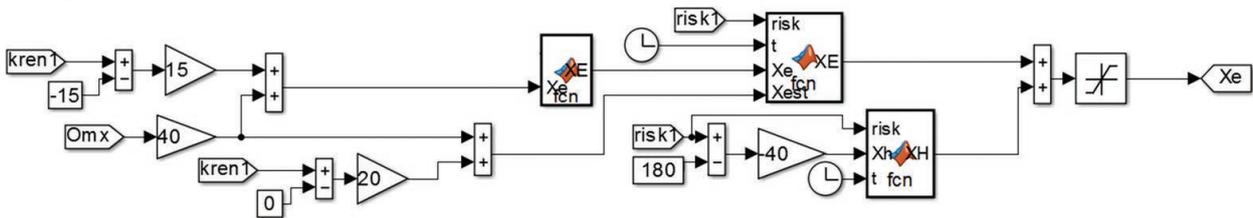


Рис. 13. Simulink-модель управления самолетом по крену

Для уменьшения времени выполнения боевого разворота, фигура выполняется по типу первой половины косой петли. При подходе носа самолета к линии горизонта самолет выводится из крена.

Реализация управления самолетом при моделировании боевого разворота представлена на рисунке 12. В продольном канале, так же как и для петли Нестерова, реализованы два алгоритма управления (по перегрузке или по углу атаки), в канале крена в соответствии с РЛЭ при прямолинейном горизонтальном полете создается крен  $\gamma_{зад} = 15^\circ - 20^\circ$  по закону:

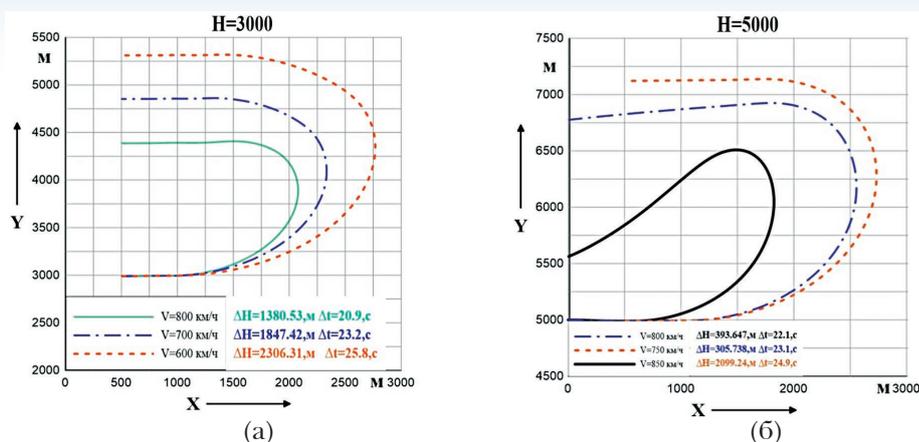
$$X_\gamma = (\gamma - \gamma_{зад})K_\gamma + \omega_x K_{\omega_x}, \quad (3)$$

Алгоритм управления в канале крена представлен на рисунке 13.

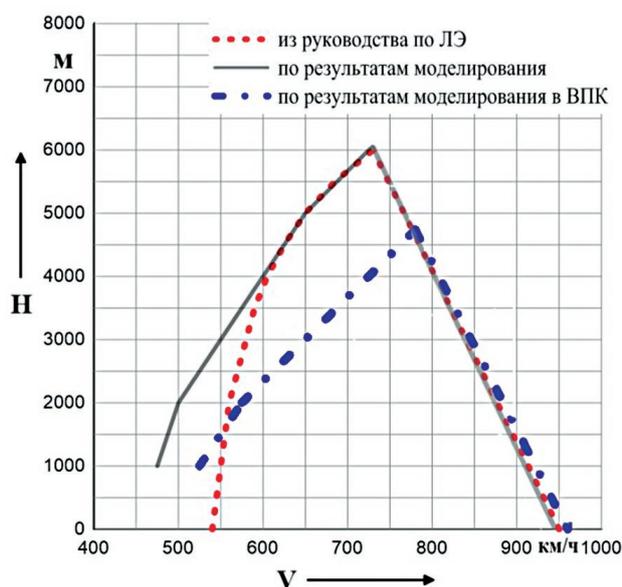
Результаты моделирования боевого разворота в различных конфигурациях самолета (полетная конфигурация и ВПК) представлены на рисунках 14 и 15. По результатам моделирования боевого разворота после каждой реализации определялись изменение высоты за маневр и его время выполнения.

Результат сравнения полученного в результате моделирования диапазона выполнения боевого разворота с аналогичным диапазоном, указанным в РЛЭ свидетельствует об адекватности полученных результатов.

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ



**Рис. 14.** Траектории движения самолета при боевом развороте: (а) –  $H=3000 \text{ м}$ , (б) –  $H=5000 \text{ м}$



**Рис. 15.** Диапазон выполнения боевого разворота

### Заключение

В результате синтеза разработанных элементов был создан программно-моделирующий комплекс для исследования интегральных характеристик маневренности самолета, позволяющий оперативно получить информацию о его маневренных характеристиках.

По результатам моделирования пространственного движения самолета были получены диапазоны выполнения петли Нестерова и боевого разворота. Сравнение полученных диапазонов с аналогичными диапазонами, указанными в РЛЭ показало хорошую сходимость результатов моделирования с данными нормативной документации.

Работоспособность программно-моделирующего комплекса для исследования интегральных характеристик маневренности продемонстрирована на примере учебно-боевого самолета

та. Для получения маневренных характеристик другого самолета необходимо иметь математическую модель этого самолета с учетом его особенностей (аэродинамических, массовых, геометрических характеристик, алгоритмов работы системы управления и высотно-скоростных характеристик двигателей). Предлагается, разработанный программно-моделирующий комплекс, использо-

вать при проведении летных испытаний самолетов для получения первичной информации о маневренных характеристиках самолета.

Дальнейшие исследования направлены на синтез алгоритмов имитационного моделирования, позволяющих получить маневренные характеристики самолета при выполнении других типовых маневров (пикирование, горка, вираж и др.). Кроме этого перспективной задачей является разработка математических моделей, учитывающих влияние на динамику движения самолета случайных факторов, таких как турбулентность атмосферы, ошибки летчика в выдерживании заданных параметров движения и др.

### Литература

1. Костин П. С., Верещагин Ю. О., Волошин В. А. Программно-моделирующий комплекс для полунатурного моделирования динамики маневренного самолета // Труды МАИ, 2015. № 81. С. 1-30.
2. Левицкий С. В. Динамика полета: учебник для слушателей и курсантов Военно-воздушной инженерной академии имени проф. Н. Е. Жуковского / С. В. Левицкий, Н. А. Свиридов. М.: Изд. ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2008. 527 с.
3. Самолет Як-130УБС. Аэродинамика и летные характеристики / Е. Д. Икрянников, А. С. Исько, С. В. Левицкий и др. Под ред. В. А. Подобедова и К. Ф. Поповича. М.: Машиностроение, 2015. 348 с.
4. Строгалев В. П., Толкачева И. О. Имитационное моделирование. М.: МГТУ им. Баумана, 2008. С. 697-737.
5. Верещиков Д. В., Разуваев Д. В., Костин П. С. Прикладная информатика: Применение Matlab@ Simulink для решения практических задач: Учебное пособие. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. 104 с.
6. Руководство по летной эксплуатации самолета Як-130.
7. Разработка методических, алгоритмических и программных средств, обеспечивающих применение программно-моделирующих комплексов для исследования динамики полета самолета: отчет о НИР, шифр «ВАСУ-2» / В.С. Мельников, П.С. Костин, Д.В. Верещиков и др. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. 167 с.

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 623.1.7

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

## ECONOMIC CHARACTERISTICS OF DIFFICULT ELECTRONIC SYSTEM

**Александр Анушаванович Авакян**

*доктор технических наук, профессор*  
Главный конструктор систем авионики  
ЗАО НТКЦ «Петрофарм»  
Адрес: 197101, Санкт-Петербург,  
Большая Монетная улица, д. 24  
Тел.: +7 (910) 403-74-07  
E-mail alexavakyan1@mail.ru

**Юрий Александрович Романенко**

*заслуженный деятель науки РФ*  
*доктор технических наук, профессор*  
старший научный сотрудник  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7 (906) 055-80-89  
E-mail: romanenko-55@inbox.ru

### Аннотация

В статье рассматривается экономический критерий – отношение стоимости изделия к среднегодовым затратам на техническую эксплуатацию изделия, характеризующий затраты на техническую эксплуатацию сложных систем электроники (в дальнейшем – изделий электроники) в течение жизненного цикла изделия. Предлагается также ввести понятие экономического ресурса, равный периоду, когда экономический критерий становится равным единице. Необходимость включения в технические задания требования по экономическому критерию и ресурсу обяжет разработчиков на стадии разработки и создания изделия закладывать в него такие эксплуатационные характеристики, которые минимизируют затраты на техническую эксплуатацию изделий электроники в течение всего жизненного цикла изделия. В настоящее время в технические задания включаются требования к эксплуатационным характеристикам только на гарантийный период эксплуатации.

**Ключевые слова:** техническая эксплуатация, среднегодовые затраты, экономический ресурс, жизненный цикл.

### Summary

The article deals with the economic criterion of cost ratio to the average annual cost of maintenance products, describing the cost of maintenance of complex systems of electronic in future electronics products throughout the life cycle of products. It is also proposed to introduce the concept of an economic resource equal to the period, when the economic criterion becomes equal to 1. The need to include in the terms of reference of the economic criteria and requirements resource will oblige developers under development and creation of products to appoint such performance characteristics that minimize the cost of maintenance of electronics products during the whole product life cycle. Currently, this includes technical tasks are performance requirements only on the warranty period of maintenance.

**Keywords:** maintenance, annual expenditures, economic resource, life cycle.

Эксплуатационные характеристики сложной электронной системы (в дальнейшем – изделия электроники), формируются на стадиях разработки и создания, а проявляются на стадии эксплуатации всего жизненного цикла системы. Если разработчик не связан никакими экономическими обязательствами с заказчиком относительно расходов на техническую эксплуатацию изделия электроники, он, естественно, будет направлять свои усилия на разработку изделия с высокими функциональными характеристиками и оптимизацией расходов на его создание и мало

уделять внимания эксплуатационным характеристикам, которые будут проявляться в течение всего жизненного цикла изделия электроники.

В технических заданиях на изделия электроники, как правило, указывается некоторый гарантийный срок (чаще всего один год), в течение которого разработчик обязуется оценить вместе с заказчиком выполнение требований по надежности изделия электроники. Но такой подход проверки эксплуатационных характеристик изделия электроники страдает следующими недостатками.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Во-первых, на ранних стадиях эксплуатации не бывает больших парков изделий и потому на них не возникает достаточное количество отказов, чтобы получить достоверные характеристики надежности. Приходится применять метод доверительных интервалов и методы испытаний, учитывающих риск разработчика и риск заказчика, что в силу случайности процесса возникновения отказов позволяет создать иллюзорное представление о выполнении требований по надежности.

Во-вторых, для гарантированного выполнения требований по надежности разработчик может включить в требования по надежности заниженные требования, зная, что их он будет выполнять в течение только гарантийного периода, а не в течение периода массовой эксплуатации, когда возникнут условия для получения достоверных оценок надежности.

Кроме того, большинство отказов составных частей изделий электроники эксплуатирующие организации восстановить самостоятельно не могут и направляют разработчику или на завод изготовитель для их восстановления. Эти работы оплачиваются эксплуатирующими организациями. Складывается порочная практика, когда чем больше отказывает техника, тем выгодней разработчику и изготовителю.

Для исключения этих недостатков и включения в технические задания на изделия электроники требований к экономическим характеристикам затрат на техническую эксплуатацию на протяжении всего жизненного цикла изделия электроники предлагается ввести во все технические задания на изделия электроники следующий критерий: *отношение стоимости изделия к среднегодовым затратам на техническую эксплуатацию изделия.*

Определим формулу этого критерия. Обозначим среднегодовые затраты на техническую эксплуатацию изделия через  $Z_{сг}$ , стоимость изделия через  $C_u$ , экономический критерий через  $\mathcal{E}_к$ , а экономический ресурс через  $P_s$ . Тогда формула расчета экономического критерия будет иметь следующий вид:

$$\mathcal{E}_к = \frac{C_u}{Z_{сг}} \quad (1)$$

А формула расчета экономического ресурса будет иметь вид:

$$P_s = T_s(\mathcal{E}_к = 1) \quad (2)$$

где  $T_s$  – период эксплуатации изделия, при котором заказчик тратит на техническую эксплуатацию еще одну стоимость изделия.

Эти характеристики можно задавать в ТЗ на изделие, если будет существовать ГОСТ, в котором будет стандартизован метод расчета затрат на техническую эксплуатацию изделий электроники. В данной работе предлагается вариант такой методики.

Исходными данными для расчета затрат на техническую эксплуатацию будут:

1. Организационная структура технической эксплуатации, включающая следующие данные:
  - места базирования и парки изделий в каждом месте базирования;
  - места проведения профилактических работ;
  - центры технического обслуживания и и ремонта ТООиР;
  - заводы-изготовители изделий и его составляющих.
2. Нарботка (налет) изделия.
3. Перечень минимального состава оборудования, без которого система не может функционировать.
4. Количество центров ТО и Р.
5. Перечень заводов-изготовителей, где будут ремонтироваться отказавшие блоки, которые не смогут быть восстановленными в центрах ТООиР. Максимальные периоды (в днях) с момента снятия с борта отказавшего блока и до момента возвращения в ЗИП восстановленного блока.
6. Количество персонала центров ТООиР и всех пунктов, на которых будет проходить процесс обслуживания изделий.
7. Средняя зарплата по каждой категории персонала.
8. Продолжительность жизненного цикла самолета.
9. Стоимость блоков изделия.
10. Стоимость технических средств технической эксплуатации изделия в центрах ТООиР и на всех пунктах обслуживания.

Расчет затрат на техническую эксплуатацию рассмотрим на примере комплексов БРЭО транспортной авиации [5]. При всем разнообразии различных структур наиболее рациональными для ТООиР самолетов транспортной авиации являются следующие элементы (уровни).

### Первый уровень

ТО соответствует основным и промежуточным аэродромам, на которые могут садиться ЛА для дозаправки, взятия пассажиров, грузов и т.п. В ряде случаев на таких аэродромах ТООиР может осуществляться на открытых площадках, поэтому на этих аэродромах возможно только замена конструктивно съемных единиц (КСЕ).

На этом уровне осуществляется непрерывный контроль исправного состояния комплекса сред-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ствами встроенного в БРЭО контроля (ВСК), диагностика неисправных состояний с локализацией отказов до КСЕ. Неисправные КСЕ заменяются на исправные следующим образом.

Если отказавшее КСЕ входит в состав минимального оборудования, то оно заменяется на исправный, как на основном (базовом) аэродроме, так и на промежуточном (транзитном) аэродроме. Замены КСЕ, входящих в состав минимального комплекта, осуществляются из комплектов ЗИП (обменных фондов), хранящихся как на борту ЛА в виде технических аптечек, так и в хранилищах промежуточных аэродромов. Состав аптечек должен быть таким, чтобы вероятность готовности соответствовала заданным для самолетов данной категории требованиям регулярности полетов, а время оборачиваемости не превышало двух суток. За двое суток состав аптечек, как и в состав хранилищ промежуточных аэродромов, пополняется из состава ЗИП базового аэродрома.

Если отказ БРЭО произошел на подлете к основному (базовому) аэродрому, то вне зависимости от принадлежности отказавшего КСЕ к минимальному или общему комплекту БРЭО КСЕ заменяется на исправное из состава ЗИП, которое хранится в АТБ или ТЭЧ основного аэродрома. Состав ЗИП (обменного фонда) основного аэродрома должен быть таким, чтобы вероятность готовности соответствовала заданным для самолетов данной категории требованиям регулярности полетов, а время оборачиваемости не превышало четырнадцати суток. За период не более четырнадцати суток ЗИП (обменный фонд) основного аэродрома должен пополниться до полного состава, за счет отремонтированных КСЕ либо в АТБ или ТЭЧ, либо КСЕ отремонтированных в центрах ТОиР.

На этом уровне также выполняются работы по подтверждению конфигурации комплекса, включая загрузку программного обеспечения, а также работы по калибровке, юстировке, настройке и других операций, необходимых для возвращения блока в эксплуатацию без замены основных частей.

### Второй уровень

ТО соответствует основным (базовым) аэродромам, где приписан для базирования ЛА. На этих аэродромах размещаются авиационно-технические базы (АТБ), в условиях которых может производиться ремонт КСЕ заменой ССЕ с целью восстановления работоспособности демонтированного блока путем:

- локализации отказа до дефектной платы (ССЕ);
- замены отказавшей платы на исправную;
- возвращения блока в обменный фонд.

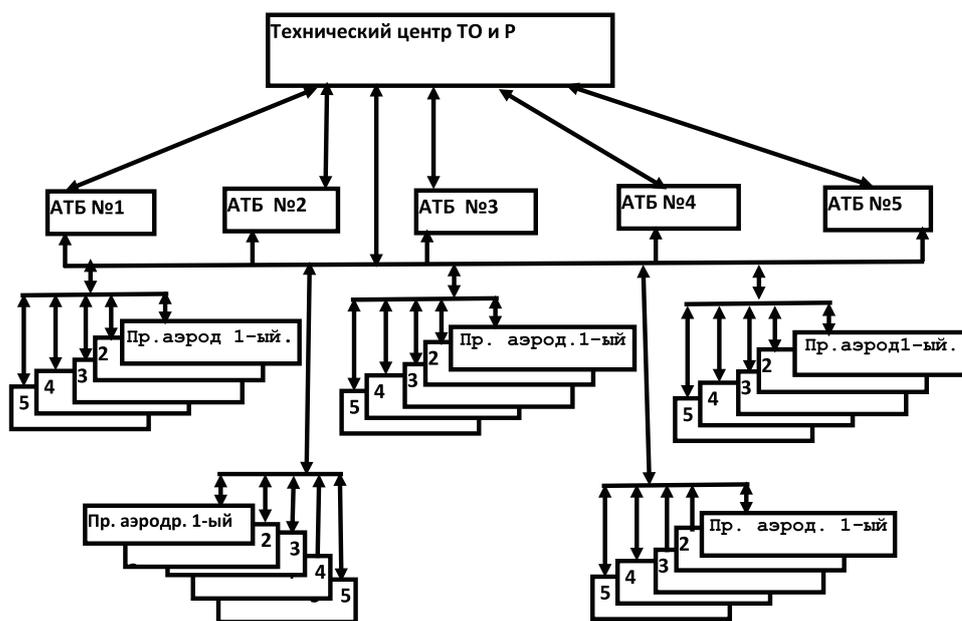


Рис. 1. Типовая структура системы ТО и Р

### Третий уровень

ТО соответствует специализированным центрам ТОиР. В них производятся все виды ремонта ССЕ с целью восстановления работоспособности отказавшей платы в центрах ТОиР путем следующих процессов:

- локализации отказа в плате (ССЕ);
- восстановления платы путем замены отказавшей части (микросхемы, процессора и т.д.) на исправную;
- возврат восстановленной платы в обменный фонд плат АТБ.

Типовая организационная структура, описанной выше системы ТОиР с учетом указанных уровней восстановления, представлена на рисунке 1.

В общие затраты на техническую эксплуатацию БРЭО в течение всего периода жизненного цикла самолета ( $N_{ж}$ ), на котором установлено БРЭО, в разрабатываемой методике предлагается включить следующие затраты:

- на закупку устройств ИКБО, установленных на ЛА;

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- на закупку обменного фонда КСЕ на основных и промежуточных аэродромах;
- на ремонт отказавших КСЕ заменой ССЕ в центре ТОиР;
- на закупку оснастки для АТБ основных аэродромов;
- на закупку оснастки для центров ТОиР;
- на содержание обслуживающего персонала на основных и промежуточных аэродромах и центрах ТОиР.

Остальные затраты, включая затраты на контрольно-проверочные работы, не включаются в состав затрат, поскольку предполетная и послеполетная подготовки БРЭО не требуют специального оборудования и осуществляются, в основном, посредством осмотров с использованием средств встроенного контроля. При проведении профилактических работ на основных аэродромах используется оборудование, стоимость которого включалась в стоимость оснастки для АТБ и центров ТОиР.

Особенность расчета затрат на техническую эксплуатацию заключается в том, что все затраты, кроме затрат на ремонт и содержание персонала, делаются единовременно при покупке оборудования на весь жизненный цикл, а затраты на ремонт и содержание персонала планируются на каждый год. Для получения оценок по общим затратам, оценки затрат на закупку блоков комплексов, оснастки АТБ и центров ТОиР, а также затраты на закупку обменных фондов делятся на период жизненного цикла (величину  $N_{ж}$ ), в результате чего получают среднегодовые затраты, которые могут быть суммированы с затратами на ремонт и содержание персонала. Для получения оценок общих затрат на техническую эксплуатацию суммарные среднегодовые затраты умножаются на период жизненного цикла.

### Расчет среднегодовых затрат на закупку комплексов

Стоимость БРЭО, установленных на ЛА  $C_k$ , рассчитывается по следующей формуле:

$$C_k = \frac{P_c}{N_{ж}} \sum_{j=1}^S C_{jksc} \quad (3)$$

где  $P_c$  – парк (количество) самолетов;  
 $N_{ж}$  – количество лет жизненного цикла самолета;  
 $S$  – число КСЕ в комплексе.

### Расчет затрат на закупку обменных фондов

Как показано в [1] поток отказов бортового оборудования летательных аппаратов является пуассоновским. Это обстоятельство позволяет связать количество обменного фонда  $d_i(T)$  кон-

кретной  $i$ -й КСЕ, функционирующего в течение времени  $T$  с вероятностью задержки вылета из-за отсутствия в обменном фонде данной КСЕ посредством следующей формулы Пуассона [1]:

$$1 - \sum_{k=0}^{d_i(T)} \frac{(\lambda_{kceoi} T_{об})^k}{k!} e^{-\lambda_{kceoi} T_{об}} \leq P_{збоi} \quad (4)$$

где  $\lambda_{kceoi}$  – интенсивность отказов группы  $i$ -х КСЕ;  $T_{об}$  – среднее время оборачиваемости обменного фонда (доставка и ремонт одной отказавшей КСЕ, как правило, в центре ТО и Р);

$P_{збоi}$  – вероятность задержки вылета из-за отсутствия  $i$ -й КСЕ в обменном фонде.

Интенсивность отказов группы  $i$ -х КСЕ равна:

$$\lambda_{kceoi} = ((n_{kcei} + n_{ai}) * P_c + d_{ци}) * \lambda_{kcei}$$

где  $n_{kcei}$  – количество однотипных КСЕ  $i$ -го типа в БРЭО;

$n_{ai}$  – количество однотипных КСЕ  $i$ -го типа в технической аптечке;

$P_c$  – парк самолетов, обслуживаемых центром ТОиР;

$d_{ци}$  – число КСЕ  $i$ -го типа в обменном фонде центра ТОиР;

$\lambda_{kcei}$  – интенсивность отказов  $i$ -го типа КСЕ.

Левая часть неравенства (4) имеет физический смысл вероятности возникновения в потоке мгновенно восстанавливаемых отказов, возникающих с интенсивностью  $\lambda_{kceoi}$  за интервал времени  $T_{об}$  более  $d_{ци}$  отказов.

При эксплуатации БРЭО гражданских самолетов восстановление отказавших БРЭО происходит не мгновенно, а за конечный небольшой интервал времени  $T_{зи}$ . В документе [7] определены нормы регулярности полетов, касающиеся восстановления отказов БРЭО. Согласно нормам, это время не должно превышать 15 минут ( $T_{зи} \leq 15$ ), вероятность задержки вылета (восстановления отказа за время, превышающее 15 минут) должна быть не более величины  $P_{зб} \leq 0,002$ .

На основании опыта эксплуатации среднемагистральных самолетов гражданской авиации период оборачиваемости ремонта КСЕ может быть принят равным 14 дням, если предположить, что ремонт отказавших КСЕ будет производиться в основном заменой отказавших КСЕ в центре ТО и Р и в редких случаях на заводах-изготовителях. Следовательно, временем доставки КСЕ можно пренебречь.

Учитывая, что среднесуточный налет среднемагистрального самолета равен 10-ти часам, то среднее время оборачиваемости обменного фонда  $T_{об}$  в часах налета равно 140 л.ч. Поскольку  $T_{зи} = 0,25$  ч. существенно меньше  $T_{об} = 140$  ч., то можно считать, что восстановление БРЭО происходит мгновенно и, следовательно, для этого случая формула (2) справедлива.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

При расчете количества обменного фонда (ЗИП) необходимо учесть влияние на процесс отказов и восстановлений рекомендаций «Главного перечня минимального оборудования» (ММЕЛ), т.е. учесть категории интервала восстановления и сами интервалы восстановления  $t_{e_i}$ , в течение которых самолет может летать с отказавшим КСЕ. Если отказавшее КСЕ не резервировано, то за время  $t_{e_i}$  новых отказов возникнуть практически не может.

После завершения интервала восстановления или ранее, если самолет окажется на основном аэродроме, отказавшее КСЕ будет снято с борта и отправлено в ремонт. За время обрабатываемости ремонта оно может вновь отказаться и может летать с отказом в течение времени  $t_{e_i}$ , без новых отказов. Следовательно, для этого времени в ЗИП можно не делать запасов и рассчитывать запас обменного фонда  $d_{ij}$  необходимо только на время  $T_{об} - t_{e_i}$ . Когда  $T_{об} \leq t_{e_i}$  запас КСЕ  $d_{ij} = 1$ , так как одна КСЕ всегда (исправная или неисправная) будет на борту, а другая в составе обменного фонда (в ремонте или в запасе). Левая часть формулы (4), вероятность задержки вылета будет равна нулю, поскольку  $T_{об} - t_{e_i} = 0$ , а  $d_{ij} = 1$ . Тогда неравенство (4) для этого случая будет иметь следующий вид:

$$1 - \sum_{k=0}^{d_{ij}(T)} \frac{(\lambda_{КСЕi} * (T_{об} - t_{e_i}))^k}{k!} e^{-\lambda_{КСЕi} * (T_{об} - t_{e_i})} \leq P_{звоб} \quad (5)$$

Поскольку вероятность задержки вылета БРЭО в целом  $P_{зв}$  равна вероятности задержки вылета из-за отказа хотя бы одной КСЕ, то эта вероятность будет равна сумме вероятностей задержки вылета из-за отказа всех КСЕ входящих в БРЭО, то есть

$$\sum_{i=1}^{N_{КСЕ}} P_{зв_i}$$

где  $N_{КСЕ}$  – число КСЕ в БРЭО.

Из теории вероятности известно, что сумма вероятностей из  $m$  членов  $P_s$  вычисляется по формуле:

$$P_s = \sum_{i=1}^m P_{si} - \left( \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m P_{sij} - \left( \sum_{i=1}^{m-2} \sum_{j=i+1}^{m-1} \sum_{k=i+2}^m P_{sik} - \dots \right. \right. \\ \left. \left. - \left( \sum_{i=1}^{m-(n-1)} \sum_{j=i+1}^{m-(n-2)} \sum_{k=i+2}^{m-(n-3)} P_{sik} \dots \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \sum_{l=i+n}^m P_{sil} P_{slj} P_{slk} \dots P_{sl1} \dots - (P_{s1} P_{s2} \dots P_{sm}) \dots \right) \right) \quad (6)$$

Сумма вероятности задержки вылета из-за отказа любой КСЕ существенно меньше единицы, следовательно, в формуле (6) можно пренебречь членами, являющимися произведением вероятностей отдельных КСЕ. С учетом этого приближения вероятность того, что задержка вылета из-за отказа хотя бы одной КСЕ по причине от-

сутствия в обменном фонде исправной КСЕ данного типа  $P_{звкбо}$  будет иметь следующий вид:

$$P_{звкбо}(d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iN_{КСЕ}}) = \sum_{i=1}^{N_{КСЕ}} \left( 1 - \sum_{K=0}^{d_{i1}} \frac{(\lambda_{КСЕi} T_{об})^K}{K!} \right) e^{-\lambda_{КСЕi} T_{об}} \quad (7)$$

В нормативной документации [7] задаются допустимые нормы на вероятность задержки вылета  $P_{дзвкбо}$ . Тогда уравнение в виде неравенства, ограничивающих вероятность задержки вылета из-за недостатка обменного фонда, будет иметь следующий вид

$$P_{дзвкбо} \geq \sum_{i=1}^{N_{КСЕ}} \left( 1 - \sum_{K=0}^{d_{i1}} \frac{(\lambda_{КСЕi} T_{об})^K}{K!} \right) e^{-\lambda_{КСЕi} T_{об}} \quad (8)$$

С учетом интервала восстановления формула (8) примет вид:

$$P_{дзвкбо} \geq \sum_{i=1}^{N_{КСЕ}} \left( 1 - \sum_{K=0}^{d_{i1}} \frac{(\lambda_{КСЕi} * (T_{об} - t_{e_i}))^K}{K!} \right) e^{-\lambda_{КСЕi} (T_{об} - t_{e_i})}$$

Комплектов обменных фондов, удовлетворяющих условию (8) может быть множество. Среди них необходимо выбрать тот, у которого стоимость комплекта минимальна, т.е. выполняется условие (8). Тогда оптимизационная задача комплектации БРЭО обменными фондами формулируется следующим образом:

Минимизировать стоимость обменного фонда БРЭО:

$$C_{офкбо} = \min \sum_{i=1}^{N_{КСЕ}} C_{КСЕi} \cdot d_{i1}(T_{об}) \quad (9)$$

где  $C_{офкбо}$  – стоимость обменного фонда всего оборудования, при ограничении области всевозможных значений выполнением условия (8);

$C_{КСЕi}$  – стоимость  $i$ -ой КСЕ;

$d_{i1}(T_{об})$  – количество обменного фонда в центре ТОиР.

Метод решения этой оптимизационной задачи приведен в [8]. В основе метода лежит, доказанная в [8] теорема о том, что «Множество точек  $U(d_{i1}, \lambda_i, T)$ , где  $i=1, 2, \dots, N_{КСЕ}$ , полученных в результате решения уравнения (6) при возрастании  $N_{КСЕ}$  стремится к выпуклому множеству». В теории математического программирования доказано, что однозначное решение оптимизационных задач находится в области выпуклых множеств, ограничивающих область возможных значений переменных, подлежащих оптимизации. Используя эти доказательства, был разработан метод решения оптимизационной задачи с оптимизационным функционалом (7).

Метод решения сводится к следующей последовательности операций:

- определяются оптимальные значения в непрерывной области, для чего дискретные выражения, находящиеся под суммой выражения (6) аппроксимируются непрерывными функциями;

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- на основе дифференцирования выражений аппроксимированной (7) и (8) составляется система дифференциальных уравнений оптимизации, в результате решения которой отыскивается локальный непрерывный оптимум;

- посредством перебора конечных дискретных значений количеств обменных фондов по каждой КСЕ в области локального оптимума, методом перебора, отыскивается глобальный оптимальный комплект обменных фондов.

### Расчет годовых затрат на ремонт отказавших КСЕ заменой ССЕ

Расчет производится в следующей последовательности:

- производится оценка ожидаемого количества отказов  $j$ -ой ССЕ  $i$ -ой КСЕ ( $I_{i,j}$ ) за год;
- оценивается средняя стоимость ремонта  $i$ -ой КСЕ заменой  $j$ -ой ССЕ ( $C_{i,j}$ );
- оцениваются среднегодовые затраты на текущий ремонт комплекса по формуле

$$C_{rr} = \sum_{i=1}^{N_{КСЕ}} \sum_{j=1}^{N_{ССЕ}} I_{i,j} * C_{i,j} \quad (10)$$

Поскольку на стадии эскизного проектирования отсутствуют сведения о ССЕ подавляющего количества КСЕ, принималось, что стоимость ремонта одного КСЕ составляет 10% от стоимости КСЕ ( $C_i$ ).

Для этого случая расчет годовых затрат на ремонт производится в следующей последовательности:

- производится оценка ожидаемого количества отказов  $i$ -ой КСЕ ( $I_i$ ) за год;
- оценивается средняя стоимость ремонта  $i$ -ой КСЕ  $C_{pi} = 0,1 * C_i$ ;
- оцениваются среднегодовые затраты на текущий ремонт комплекса.

Оценка ожидаемого количества отказов  $i$ -ой КСЕ ( $I_i$ ) за год производится по формуле

$$I_i = (1 - e^{-\lambda_{ксерi} H}) * P_c$$

где  $I_i$  – количество отказов  $i$ -го типа КСЕ;  
 $\lambda_{ксерi}$  – интенсивность отказов  $i$ -го типа КСЕ подлежащих ремонту;  
 $H$  – среднегодовой налет самолета;  
 $P_c$  – парк самолетов обслуживаемых центром ТОиР.

Интенсивность отказов  $i$ -го типа КСЕ подлежащих ремонту равна

$$\lambda_{ксерi} = (n_{ксерi} + n_{ав}) * \lambda_{ксерi}$$

На основании изложенного выше среднегодовые затраты на ремонт БРЭО равны

$$C_{rr} = \sum_{i=1}^{N_{КСЕ}} I_i * 0,1 * C_i \quad (11)$$

### Расчет затрат на закупку оснастки для АТБ и центров ТОиР

Оборудование АТБ и центров ТОиР должно позволять проведение входного контроля и контроля при хранении изделий, восстанавливаемых на основном и промежуточных аэродромах, а также проведение работ по ремонту КСЕ заменой ССЕ.

Поскольку, большинство изделий комплекса имеют в своем составе вычислители, то основным устройством этого оборудования будет эксплуатационно-ремонтная система, состоящая из:

- устройства, позволяющего подсоединить и включить в работу любое другое устройство комплекса, с возможностью одновременной работы не менее трех устройств;
- устройства, вырабатывающего и подающего в изделия стимулирующие сигналы;
- локальной компьютерной сети, позволяющей загружать в изделия комплекса тесты входного и диагностического контроля и анализировать результаты прохождения стимулирующих сигналов и тестов.

Основным методом контроля такой системы должен быть контроль посредством тестов без параметрических измерений.

Для радиотехнических систем, некоторые устройства которых нельзя проверить описанной выше системой, целесообразно, изделия обменного фонда объединить в стенды, позволяющие имитировать функции этих изделий. Для анализа результатов функционирования, а также диагностики отказов эти стенды должны быть подключены к описанной выше вычислительной сети.

Наконец, для контроля и диагностики устройств, в принципе требующих измерения параметров, должна быть предусмотрена контрольно-поверочная аппаратура. Кроме того, это оборудование должно включать в свой состав технические средства восстановления отказавших устройств.

Предварительная оценка показала, что стоимость, описанного выше оборудования, составит:

- для восстановления (ремонта) КСЕ заменой ССЕ в технических центрах ТОиР стоимость оснастки центров  $C_{оц}$  принимается равной стоимости одного комплекса  $C_{кбо}$  если в год в среднем происходит 50 отказов. В общем случае  $C_{оц}$  рассчитывается по формуле

$$C_{оц} = \frac{I_{кбо}}{50} * C_{кбо} \quad (12)$$

в которой количество отказов БРЭО –  $I_{кбо}$  равно сумме количества отказов каждого КСЕ и вычисляется по следующей формуле

$$I_{кбо} = \sum_{i=1}^{N_{КСЕ}} I_i \quad (13)$$

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Среднегодовые затраты на оснастку центра ТОиР ( $C_{осст}$ ) рассчитываются по формуле:

$$C_{осст} = \frac{C_{ст}}{N_{ж}} \quad (14)$$

### Расчет затрат на содержание персонала в центрах ТОиР

На основании консультаций со специалистами по системам и отдельным КСЕ комплексов и имитации ряда работ по замене и ремонту КСЕ были сформированы следующие исходные данные для расчета затрат на содержание персонала в центрах ТОиР:

- количество персонала в центре ТОиР ( $K_{ц}$ ) – 5 чел.;
- среднемесячная зарплата одного сотрудника 40 тыс. руб.;
- суммарная зарплата всех сотрудников составляет 20% от годового фонда затрат на обеспечение работы персонала;

Среднегодовые затраты на содержание персонала центров ТОиР равны

$$Z_{ц} = K_{ц} * 40000 * 12$$

и составляют 20% от годового фонда затрат на обеспечение работы персонала:

$$\Phi_{гз} = \frac{Z_{ц}}{0,2} \quad (15)$$

### Расчет суммарных среднегодовых затрат на техническую эксплуатацию комплекса

Среднегодовые затраты на техническую эксплуатацию, включая среднегодовые затраты на закупку БРЭО  $C_{ЭКБОГ}$ , вычисляются как сумма среднегодовых затрат на закупку КСЕ  $C_{КБОГ}$ , на закупку обменных фондов центров ТОиР  $C_{ОФКБО}$ , на ремонт КБО  $C_{РКБОГ}$ , на оснастку центров ТОиР  $C_{ОССТ}$  и на содержание персонала ФГЗ по формуле

$$C_{ЭКБОГ} = C_{КБОГ} + C_{ОФКБО} + C_{РГ} + C_{ОССТ} + \Phi_{гз} \quad (16)$$

### Заключение

Поскольку основные эксплуатационные характеристики закладываются в сложную электронную систему на стадии разработки, то счита-

емым важным введением экономического критерия, касающегося эксплуатационных характеристик сложной электронной системы на всем жизненном цикле изделия. Авторы надеются, что поднятая в статье проблема, устраняющая недостаток в оценке эксплуатационных характеристик после гарантийного периода эксплуатации, позволит создавать сложные электронные системы, обладающие высокой надежностью на всем протяжении жизненного цикла изделия.

### Литература

1. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
2. Крамер Г. Математические методы статистики / Под редакцией А.Н. Колмогорова. М.: Мир, 1973. 648 с.
3. Инструкция по разработке «Перечня минимального состава оборудования для отправки воздушного судна в рейс». Авиационный Сертификационный Центр ГосНИИ ГА. Москва, 2007.
4. ГОСТ В 15.705-86 «Запасные части, инструменты и принадлежности» (основные положения). М.: Издательство стандартов, 1988.
5. Авакян А.А., Копиёнова М.В. «Методика расчета одиночного и группового комплектов ЗИП составных частей системы автоматического управления полетом и тягой (СУПТ-112В) для применения в составе ПрНПК-112В», НИИ АО, г. Жуковский, 2010 г.
6. Типовые требования к эксплуатационно-техническим характеристикам комплексов бортового оборудования гражданских магистральных самолетов, самолетов МВА и авиации общего назначения. Утв. зам. дир. ГосНИИ «Аэронавигация» В.Я. Кушельманом 10 мая 1994 г.
7. Авакян А.А., Ключев В.В. Синтез сложных многофункциональных отказоустойчивых систем электроники. М.: Издательский дом «Спектр», 2014. 104 с.
8. Беишев Г.А., Кратко М.И. Элементарное введение в геометрическое программирование. М.: Физматгиз, 1980. 144 с.

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.872

## РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИОРИТЕТНЫХ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ\*

## CALCULATION OF PRIORITY QUEUING SYSTEMS CHARACTERISTICS

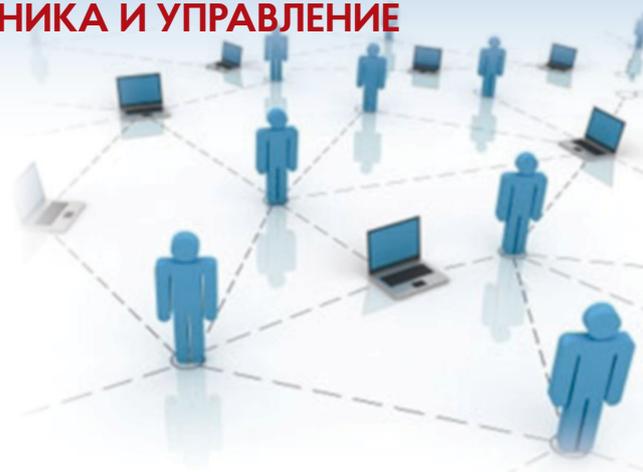
### Борис Федорович Безродный

доктор технических наук, профессор  
заведующий кафедрой прикладной математики  
Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет  
(МАДИ)

Адрес: 125319, Москва,  
Ленинградский проспект, д. 64  
Тел.: 8 (499) 151-40-09  
E-mail: boris-bezrodny@yandex.ru

### Сергей Сергеевич Рыбаков

магистр  
Мюнхенский технический университет  
Германия, Мюнхен  
Тел.: +7 (915) 145-41-81  
E-mail: koncopd@mail.ru



### Татьяна Валерьевна Захарова

кандидат физико-математических наук  
доцент кафедры математической статистики  
МГУ имени М.В. Ломоносова

Адрес: 119991, Москва, Ленинские горы,  
д. 1, стр. 52

старший научный сотрудник  
Институт проблем информатики  
ФИЦ ИУ РАН

Адрес: 119333, Москва, ул. Вавилова,  
д. 44, корп. 2  
Тел.: +7 (926) 210-70-75  
E-mail: lsa@cs.msu.ru

#### Аннотация

В статье предлагается новый метод для расчета основных характеристик системы обслуживания с приоритетами. С одной стороны, метод прост и интуитивно понятен, так как опирается на классические уравнения Колмогорова-Чепмена и аппарат производящих функций. С другой стороны, является эффективным средством для исследования достаточно сложных систем. Работа метода демонстрируется на примере расчета характеристик марковской системы обслуживания с двумя потоками вызовов и абсолютным приоритетом.

**Ключевые слова:** приоритетная система массового обслуживания; время обслуживания; длина очереди; загрузка.

#### Summary

The article proposes a new method for calculating the main characteristics of a service system with priorities. On the one hand, the method is simple and intuitive, since it relies on the classical Kolmogorov-Chapman equations and the apparatus of generating functions. On the other hand, it is an effective tool for researching quite complex systems. The work of the method is demonstrated using the example of calculating the characteristics of a Markov system with two call flows and absolute priority.

**Keywords:** priority queuing system; service time; length of the queue; loading.

#### Введение

Исследование различных процессов массового обслуживания имеет большое практическое значение. Модели систем массового обслуживания (СМО) широко используются при описании разнообразных экономических, производственных и транспортных систем [1-5].

Теория массового обслуживания или теория очередей – раздел теории вероятностей, целью которого является исследование структуры си-

стемы обслуживания и процесса обслуживания на основе изучения потоков требований на обслуживание, поступающих в систему и выходящих из нее, длительности нахождения заявки в системе и в очереди, количества заявок в системе и длины очередей.

Важнейшими задачами при этом являются задачи установления зависимостей между характером потока заявок, числом каналов обслуживания, производительностью отдельного канала и эффек-

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-07-00736).

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

тивным обслуживанием с целью нахождения наилучших путей управления этими процессами.

### Основные понятия и методы изучения СМО Система массового обслуживания

Система массового обслуживания (СМО) – система, которая производит обслуживание поступающих в нее требований. Обслуживание требований в системах массового обслуживания производится обслуживающими устройствами (приборами). Классическая СМО содержит от одного до бесконечного числа приборов. Описываемая в данной работе СМО содержит один обслуживающий прибор.

Требования (заявки) поступают в систему массового обслуживания (СМО) обычно не регулярно, а случайно, образуя так называемый случайный поток требований (заявок). Обслуживание заявок, вообще говоря, также продолжается какое-то случайное время. Случайный характер потока заявок и времени обслуживания приводит к тому, что СМО оказывается загруженной неравномерно: в какие-то периоды времени скапливается очень большое количество заявок (либо они становятся в очередь, либо покидают СМО необслуженными), в другие же периоды СМО работает с недогрузом или простаивает.

В качестве основных элементов СМО следует выделить входной поток (или потоки) заявок, дисциплину очереди на обслуживание и механизм обслуживания.

Для того, чтобы описать входной поток заявок, необходимо задать вероятностный закон, определяющий последовательность моментов поступления заявок на обслуживание и указать количество таких заявок в каждом очередном поступлении. В данной модели системы массового обслуживания два входных потока заявок на обслуживание, они являются потоками Пуассона, то есть число  $n$  событий (поступления заявок) каждого из таких потоков, выпадающих на интервал длины  $t$ , распределено по закону Пуассона:

$$P(n,t) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}, \quad \lambda > 0. \quad (1)$$

Процесс Пуассона – это так называемый простейший поток. В рамках этого потока вероятность попадания на элементарный участок  $(t, t+\delta t)$  двух или более событий (заявок) пренебрежимо мала, число событий любого интервала времени  $(s, s+t)$  не зависит от числа событий на любом другом не пересекающимся с  $(s, s+t)$  интервале времени. Вероятность появления  $n$  событий на интервале времени  $(s, s+t)$  не зависит от времени  $s$ , а зависит только от длины  $t$  этого

участка [6]. Пуассоновский поток заявок удобен при решении задач теории массового обслуживания. Строго говоря, простейшие потоки редки на практике, однако многие моделируемые потоки допустимо рассматривать как простейшие [3-4].

Дисциплина очереди определяет принцип, в соответствии с которым поступающие на вход обслуживающей системы требования подключаются из очереди к процедуре обслуживания.

Для системы обслуживания с одним прибором наиболее известными являются варианты дисциплин:

- **Первый пришел – первый обслуживается** (*first in first out, FIFO*). При этой дисциплине вызовы упорядочиваются по времени поступления в систему и сначала обслуживаются более ранние вызовы.

- **Приоритетная**. Заявки второго класса имеют приоритет перед заявками первого класса. Это означает, что заявки разных классов образуют две разные очереди, и в каждый момент, когда прибор заканчивает обслуживание какой-нибудь заявки, на обслуживание направляется заявка второго класса (первая заявка из второй очереди), и только если вторая очередь пуста, то разрешается обслуживание заявке первого класса. Приоритет может быть абсолютным или относительным. При абсолютном приоритете поступающие заявки второго класса не только обслуживаются перед заявками первого класса, но и если в работе есть заявка первого класса, то поступившая заявка второго класса вытесняет ее из работы, вытесненная заявка становится в начало очереди и ее обслуживание возобновится, как только будут обслужены все заявки второго класса. При относительном приоритете заявки второго класса не вытесняют из обслуживания заявки первого класса, если это обслуживание уже началось.

Дисциплина очереди описываемой в данной работе системы массового обслуживания является приоритетной, приоритет в свою очередь является абсолютным.

Механизм обслуживания определяется характеристиками самой процедуры обслуживания и структурой обслуживающей системы. К характеристикам процедуры обслуживания относятся: продолжительность процедуры обслуживания и количество заявок, удовлетворяемых в результате выполнения каждой такой процедуры. Для описания характеристик процедуры обслуживания оперируют понятием «вероятностное распределение времени обслуживания заявок». Прибор в СМО, описываемой в данной работе, может обслуживать только одну заявку

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

за раз, при этом время обслуживания заявки  $S$  распределено согласно экспоненциальному закону с параметром  $\mu > 0$ :

$$F(t) = P(S \leq t) = \begin{cases} 1 - e^{-\mu t}, & t \geq 0, \\ 0, & t < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Для систем массового обслуживания имеет место важная взаимосвязь показателей, называемая формулой Литтла [1]:

$$\frac{\bar{N}}{N_q} = \lambda W, \quad (3)$$

$$\bar{N}_q = \lambda W_q \quad (4)$$

Формула (3) устанавливает, что среднее число заявок в системе равно произведению интенсивности поступления заявок в систему на среднее время пребывания заявки в системе. Формула (4) означает, что среднее число заявок в очереди равно произведению интенсивности поступления заявок в систему на среднее время ожидания в очереди.

### Основные сведения из теории цепей Маркова с непрерывным временем и счетным числом состояний

Случайный процесс  $X(t), t \geq 0$  называется цепью Маркова с непрерывным временем и счетным числом состояний, если выполняется [9]:

$$P(X(s+t) = j | X(s) = i, X(r) = i_r, r \in A_s) \subset [0, s) = P(X(s+t) = j | X(s) = i),$$

$$j, i, i_r \in S,$$

где  $S$  – это счетное множество допустимых состояний.

Цепь Маркова с непрерывным временем называется однородной, если справедливо соотношение

$$P(X(s+t) = j | X(s) = i) = P(X(t) = j | X(0) = i) = P_{i,j}(t).$$

Матрицей переходных вероятностей называется матрица вида

$$P(t) = \{P_{i,j}(t)\}.$$

Матрица переходных вероятностей удовлетворяет уравнениям Колмогорова-Чепмена:

$$P(s+t) = P(s)P(t), \quad (5)$$

$$P_{i,j}(s+t) = \sum_k P_{i,k}(s)P_{k,j}(t). \quad (6)$$

По определению, матрица интенсивностей вычисляется как

$$Q = \{q_{i,j}\} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{P(h) - I}{h}.$$

Цепь Маркова с непрерывным временем называется консервативной, если для любого  $i$  и  $t \geq 0$  выполняется:

$$\sum_{j \in S} P_{i,j}(t) = 1.$$

Цепь Маркова будет консервативной, если [7]:

$$\sup_{i \in S} -q_{i,i} < \infty. \quad (7)$$

Состояния  $i, j \in S$  марковской цепи с непрерывным временем называются сообщающимися, если найдутся такие  $t_1 > 0, t_2 > 0$ , что

$$P_{i,j}(t_1) > 0, P_{j,i}(t_2) > 0.$$

Состояния  $i, j \in S$  будут сообщающимися тогда и только тогда, когда для некоторых  $i_1, \dots, i_n \in S$  выполняется [8]:

$$q_{i,i_1} q_{i_1,i_2} \dots q_{i_n,j} > 0 \quad (8)$$

Процесс Маркова называется неприводимым, если все его состояния сообщаются.

Стационарным распределением цепи Маркова или распределением в состоянии статистического равновесия называется такое распределение вероятностей перехода в состояние цепи Маркова

$$u_i = P(X_0 = i), i \in S,$$

которое не меняется с течением времени.

Стационарное распределение должно удовлетворять уравнениям глобального баланса [2]:

$$uQ = 0, \quad (9)$$

которые также можно записать как

$$\sum_{j \in S, j \neq i} u_j q_{j,i} = \sum_{j \in S, j \neq i} u_i q_{i,j}. \quad (10)$$

Также должно выполняться условие нормировки:

$$\sum_j u_j = 1.$$

Смысл уравнений глобального баланса состоит в том, что в состоянии статистического равновесия суммарный поток вероятностей, выходящий из (любого) состояния  $i$  (левая сторона равенства (10)) должен быть равен суммарному потоку вероятностей, входящему в это состояние  $i$  (правая сторона равенства (10)).

Наравне с уравнениями глобального баланса должны выполняться и уравнения локального баланса [2]. Пусть множество состояний произвольным образом поделено на два подмножества

$$S_1, S_2 = S \setminus S_1.$$

Тогда для них выполняется

$$\sum_{i \in S_1, j \in S_2} u_i q_{i,j} = \sum_{i \in S_1, j \in S_2} u_j q_{j,i}. \quad (11)$$

Смысл этого соотношения состоит в том, что суммарный поток вероятностей из подмножества  $S_1$  в подмножество  $S_2$  (левая часть равенства (11)) равен суммарному потоку вероятностей из  $S_2$  в  $S_1$  (правая часть равенства (11)).

Предельные вероятности перехода или предельное (дискретное) распределение задаются как

$$a_j = \lim_{t \rightarrow \infty} P_{i,j}(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} P(X(t) = j | X(0) = i).$$

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Предельное распределение консервативной и неприводимой цепи Маркова, имеющей стационарное распределение  $u_j$ , существует и является этим стационарным распределением  $u_j$  [8]

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_{i,j}(t) = u_j.$$

Процесс рождения и гибели – это особый тип марковских цепей с непрерывным временем [7]. Он состоит из множества состояний  $\{0, 1, 2, \dots\}$ , переходы между состояниями совершаются только «вниз» или «вверх» от текущего состояния. Это означает, что если процесс находится в состоянии  $n \geq 0$ , то время до перехода в состояние  $n+1$  – это случайная величина, распределенная согласно экспоненциальному закону с параметром  $\lambda_n$ . Если процесс находится в состоянии  $n \geq 1$ , то время до перехода в состояние  $n-1$  – это случайная величина, распределенная согласно экспоненциальному закону с параметром  $\mu_n$ . Это означает, что интенсивности равны

$$q_{i,i-1} = \mu_i, q_{i,i+1} = \lambda_i,$$

а также

$$q_{i,j} = 0, \text{ если } j \notin \{i+1, i, i-1\}.$$

Для процессов гибели и размножения вектор предельного распределения является единственным решением уравнений детального баланса [8]:

$$\begin{aligned} \lambda_i u_i &= \mu_{i+1} u_{i+1}, \\ \sum_j u_j &= 1. \end{aligned} \quad (12)$$

Из (11) получается распределение в состоянии статистического равновесия, а также предельное распределение для процесса гибели и размножения [8]:

$$u_j = \frac{r_j}{\sum_{n=0}^{\infty} r_n}, \quad j \in \mathbb{N} \quad (13)$$

$$r_j = \frac{\lambda_0 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdots \lambda_{j-1}}{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdots \mu_j}, \quad r_0 = 1 \quad (14)$$

при условии [2]

$$\sum_{i=1}^{\infty} \prod_{j=1}^i \frac{\mu_j}{\lambda_j} = \infty.$$

### Марковская очередь с одним обслуживающим прибором и одним входящим потоком заявок

Марковская очередь с одним обслуживающим прибором и одним входящим потоком заявок по символической классификации Д.Кендалла [6] обозначается как  $M|M|1$ . Входной поток заявок подчиняется пуассоновскому распределению (1) с параметром  $\lambda$ . Время обслуживания заявки подчиняется экспоненциальному распределению (2) с параметром  $\mu$ . СМО  $M|M|1$  является процессом гибели и размножения с посто-

янными параметрами  $\lambda_i = \lambda$  и  $\mu_i = \mu$ . Обозначим  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ . Исходя из уравнения (13) стационарное распределение марковской очереди будет равно

$$u_j = (1-\rho)\rho^j, \quad \rho < 1. \quad (15)$$

Математическое ожидание числа заявок в системе в состоянии статистического равновесия будет равно [7]:

$$E(Q) = \frac{\rho}{1-\rho}. \quad (16)$$

Используя формулу Литтла (3), можно получить среднее время нахождения заявки в системе:

$$E(W) = \frac{E(Q)}{\lambda} = \frac{1}{\mu(1-\rho)}. \quad (17)$$

Средняя длительность периода занятости, то есть периода, который начинается, когда заявка приходит в пустую систему, и заканчивается, когда система снова становится пустой, равна [7]

$$E(T_b) = \frac{1}{\mu - \lambda}. \quad (18)$$

### Марковская очередь с абсолютным приоритетом с 2 классами обслуживания Постановка задачи

На обслуживающий прибор в соответствии с пуассоновскими распределениями поступают заявки двух классов, назовем их класс 0 и класс 1. Прибор может обслуживать лишь одну заявку за раз и время обслуживания заявки распределено экспоненциально с параметром, зависящим от класса заявки.

Заявки класса 1 имеют больший приоритет, чем заявки класса 0. Это означает, что поступающие заявки класса 1 обслуживаются перед заявками класса 0, и если в работе есть заявка класса 0, то поступившая заявка класса 1 вытесняет ее из работы, вытесненная заявка становится в начало очереди и ее обслуживание возобновится, как только будут обслужены все заявки класса 1.

В условиях статистического равновесия требуется рассчитать математические ожидания основных характеристик системы: длины очереди, времени пребывания в системе для заявок каждого класса.

### Условие существования совместного распределения числа заявок в состоянии статистического равновесия

Заявки класса 0 и класса 1 появляются в соответствии с пуассоновскими процессами с параметрами  $\lambda_0 > 0$  и  $\lambda_1 > 0$ , соответственно. Время

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

обслуживания заявок класса 0 и класса 1 подчиняется экспоненциальному распределению с параметрами  $\mu_0 > 0$  и  $\mu_1 > 0$ , соответственно. Обозначим

$$\rho_0 = \frac{\lambda_0}{\mu_0}, \rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$$

Отметим, что распределение времени обслуживания вытесненной заявки класса 0 не меняется из-за свойства отсутствия памяти экспоненциального распределения. Обозначим через  $S_0$  время обслуживания заявки класса 0. Допустим, заявка класса 0 попала на обслуживание и прибор отработал с ней время  $s$ , по прошествии которого эта заявка была вытеснена заявкой класса 1. Тогда распределение оставшегося времени обслуживания этой заявки равно

$$P(S_0 > s + t | S_0 > s) = P(S_0 > t).$$

Таким образом, свойство отсутствия памяти показывает, что распределение оставшегося времени обслуживания заявки равно изначальному распределению, оно не меняется.

Пусть  $Q_0(t), Q_1(t)$  – случайные процессы, представляющие количество заявок класса 0 и 1 соответственно в момент времени  $t$  (включая заявку в обслуживании, если она есть). Процесс  $\{Q_0(t), Q_1(t)\}$  является марковским процессом [6] с пространством состояний  $\{0, 1, 2, \dots\} \times \{0, 1, 2, \dots\}$ .

Обозначим

$$P(i, m, j, n, t) = P(Q_0(t) = j, Q_1(t) = m | Q_0(0) = i, Q_1(0) = m)$$

вероятность перехода из одного состояния в другое за время  $t$ . Через  $P_{j,n}(t)$  обозначим вероятность перехода в состояние  $(j, n)$  за время  $t$ , когда начальное состояние нас не интересует. Нас будет прежде всего интересовать (дискретное) распределение

$$u(j, n) = u_{j,n} = \lim_{t \rightarrow \infty} P(i, m, j, n, t),$$

являющееся предельным распределением перехода системы в состояние  $(j, n)$ .

Интенсивности входных потоков и параметры длительностей обслуживания заявок постоянны, а это значит, что интенсивности перехода  $q_{ij}$ , в том числе и  $-q_{ij}$ , постоянны. Согласно критерию (7), описываемый марковский процесс является консервативным. Также для любых двух состояний  $(i, m)$  и  $(j, n)$  можно подобрать такие

$$\begin{aligned} & q_{i_1, i_2} \rightarrow (i_1 + 1, i_2), q_{i_1, i_2} \rightarrow \\ & \rightarrow (i_1, i_2 + 1), q_{i_1, i_2} \rightarrow (i_1, i_2 - 1), q_{i_1, 0} \rightarrow (i_1 - 1, 0), i_1, i_2 \in \mathbb{N} \end{aligned}$$

что будет выполняться условие (8). Это означает, что описываемый процесс является и неприводимым.

Так как марковский процесс является кон-

сервативным и неприводимым, то при существовании распределения в состоянии статистического равновесия (стационарного распределения), предельное распределение будет существовать и совпадать с этим стационарным распределением.

Для стационарного распределения должны выполняться уравнения детального баланса (11):

$$\mu_0 u_{j+1,0} = \lambda_0 \sum_{n=0}^{\infty} u_{j,n}, \forall j \in \mathbb{N} \quad (19)$$

При этом

$$\sum_{j=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} u_{j,n} = 1$$

Обозначим

$$u_{\cdot, n} = \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,n}$$

$$u_{j, \cdot} = \sum_{n=0}^{\infty} u_{j,n}$$

Просуммируем обе части (19) по  $j$ , тогда

$$\begin{aligned} \mu_0 \sum_{j=0}^{\infty} u_{j+1,0} &= \lambda_0 \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} u_{j,n} \\ \mu_0 (u_{\cdot,0} - u_{0,0}) &= \lambda_0 \\ u_{0,0} &= u_{\cdot,0} - \frac{\lambda_0}{\mu_0} = u_{\cdot,0} - \rho_0. \end{aligned}$$

Так как класс 1 не зависит от класса 0, он образует обычную очередь  $M|M|1$ . Это значит, что, исходя из (15), вероятность перехода в состояние 0 заявок для класса 1 в состоянии статистического равновесия равна

$$u_{\cdot,0} = 1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1} = 1 - \rho_1$$

Тогда

$$u_{0,0} = 1 - \rho_1 - \rho_0 = 1 - (\rho_1 + \rho_0) \quad (20)$$

$$\rho_1 + \rho_0 < 1. \quad (21)$$

Условие (21) является условием существования стационарного распределения  $u_{j,n}$ .

### Уравнения Колмогорова-Чепмена

Составим уравнения Колмогорова-Чепмена (5) для вероятностей перехода из одного состояния в другое.

$$\begin{aligned} P_{j,n}(t+h) &= P_{j,n}(t)P(j, n, j, n, h) + P_{j-1,n}(t)P(j-1, n, j, n, h) + \\ &+ P_{j,n-1}(t)P(j, n-1, j, n, h) + P_{j,n+1}(t)P(j, n+1, j, n, h) + o(h) \end{aligned} \quad (22)$$

Учитывая то, что входящие потоки обоих классов являются пуассоновскими процессами, а также то, что распределения времен обслуживания подчиняются экспоненциальному закону, запишем необходимые вероятности перехода.

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Рассмотрим возможные варианты событий, исключив такие, которые имеют вероятности порядка  $o(h)$ :

- не пришло ни одной новой заявки класса 0 и класса 1, прибор не окончил обслуживание текущей заявки

$$P(j, n, j, n, h) = e^{-\lambda_0 h} e^{-\lambda_1 h} e^{-\mu_1 h} + o(h) = 1 - h(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1) + o(h),$$

- пришла заявка класса 0, не пришло заявок класса 1, прибор не окончил обслуживания текущей заявки

$$P(j-1, n, j, n, h) = (1 - e^{-\lambda_0 h}) e^{-\lambda_1 h} e^{-\mu_1 h} + o(h) = \lambda_0 h + o(h),$$

- не пришло заявок класса 0, пришла заявка класса 1, прибор не окончил обслуживания текущей заявки

$$P(j, n-1, j, n, h) = e^{-\lambda_0 h} (1 - e^{-\lambda_1 h}) e^{-\mu_1 h} + o(h) = \lambda_1 h + o(h),$$

- не пришло ни одной новой заявки класса 0 и класса 1, прибор окончил обслуживания текущей заявки (класса 1, так как обслуживание заявок класса 0 невозможно, пока в очереди есть заявки класса 1)

$$P(j, n+1, j, n, h) = e^{-\lambda_0 h} e^{-\lambda_1 h} (1 - e^{-\mu_1 h}) + o(h) = \mu_1 h + o(h).$$

Остальные варианты имеют вероятности порядка  $o(h)$ .

Подставим полученные вероятности перехода в уравнение (22).

$$P_{j,n}(t+h) = P_{j,n}(t)(1 - h(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1)) + P_{j-1,n}(t)\lambda_0 h + P_{j,n-1}(t)\lambda_1 h + P_{j,n+1}(t)\mu_1 h + o(h)$$

Перенесем  $P_{j,n}(t)$  из правой части в левую:

$$P_{j,n}(t+h) - P_{j,n}(t) = -hP_{j,n}(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1) + P_{j-1,n}(t)\lambda_0 h + P_{j,n-1}(t)\lambda_1 h + P_{j,n+1}(t)\mu_1 h + o(h)$$

Разделим получившееся выражение на  $h$  и устремим  $h \rightarrow 0$ . Получим систему разностно-дифференциальных уравнений

$$P'_{j,n}(t) = -P_{j,n}(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1) + P_{j-1,n}(t)\lambda_0 + P_{j,n-1}(t)\lambda_1 + P_{j,n+1}(t)\mu_1$$

Аналогичным образом получаются уравнения для

$$P'_{0,0}(t), P'_{0,n}(t), P'_{j,0}(t)$$

Устремим  $t \rightarrow \infty$ . При выполнении условия (21) полученные разностно-дифференциальные уравнения преобразуются к виду

$$(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1)u_{j,n} = \lambda_0 u_{j-1,n} + \lambda_1 u_{j,n-1} + \mu_1 u_{j,n+1} \quad (23)$$

$$(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_0)u_{j,0} = \lambda_0 u_{j-1,0} + \mu_0 u_{j+1,0} + \mu_1 u_{j,1} \quad (24)$$

$$(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1)u_{0,n} = \lambda_1 u_{0,n-1} + \mu_1 u_{0,n+1} \quad (25)$$

$$(\lambda_0 + \lambda_1)u_{0,0} = \mu_1 u_{0,1} + \mu_0 u_{1,0} \quad (26)$$

Учитывая, что

$$\sum_{j=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} u_{j,n} = 1, \quad (27)$$

решим полученную систему разностных уравнений методом производящих функций. Обозначим производящую функцию предельного распределения

$$U(z, w) = \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} u_{j,n} z^j w^n, \\ 0 < z < 1, \\ 0 < w < 1.$$

Домножим уравнение (23) на  $z^j w^{n+1}$  и просуммируем от 1 до  $\infty$ , тогда

$$w(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1) \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} u_{j,n} z^j w^n = w\lambda_0 z \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} u_{j-1,n} z^{j-1} w^n + w^2 \lambda_1 \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} u_{j,n-1} z^j w^{n-1} + \mu_1 \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} u_{j,n+1} z^j w^{n+1}.$$

Таким образом,

$$w(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1)(U(z, w) - \sum_{n=0}^{\infty} u_{0,n} w^n - \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,0} z^j + u_{0,0}) = w\lambda_0 z(U(z, w) - \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,0} z^j) + w^2 \lambda_1 (U(z, w) - \sum_{n=0}^{\infty} u_{0,n} w^n) + \mu_1 (U(z, w) - \sum_{n=0}^{\infty} u_{0,n} w^n - \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,0} z^j - \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,1} z^j w + u_{0,1} w + u_{0,0}) \quad (28)$$

Соберем все  $U(z, w)$  слева и рассмотрим левую сторону уравнения (28) отдельно. Она будет иметь вид

$$w(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1)U(z, w) - w\lambda_0 zU(z, w) - w^2 \lambda_1 U(z, w) - \mu_1 U(z, w) = U(z, w)(w(\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1) - w^2 \lambda_1 - \mu_1). \quad (29)$$

Перенесем выражения, не содержащие  $U(z, w)$ , в правую часть уравнения (28). Получим

$$w(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1) \sum_{n=0}^{\infty} u_{0,n} w^n + w(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1) \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,0} z^j - w(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1) u_{0,0} - w\lambda_0 z \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,0} z^j - w^2 \lambda_1 \sum_{n=0}^{\infty} u_{0,n} w^n - \mu_1 \sum_{n=0}^{\infty} u_{0,n} w^n - \mu_1 \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,0} z^j - \mu_1 \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,1} z^j w + \mu_1 w u_{0,1} + \mu_1 u_{0,0}.$$

Используя уравнение (25), получим соотношение

$$w(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_1) \left( \sum_{n=0}^{\infty} u_{0,n} w^n - u_{0,0} \right) = w^2 \lambda_1 \sum_{n=0}^{\infty} u_{0,n} w^n + \mu_1 \left( \sum_{n=0}^{\infty} u_{0,n} w^n - u_{0,0} - w u_{0,1} \right). \quad (30)$$

Подставим получившееся выражение в (30). Учитывая уравнение (24) и проводя элементарные преобразования, преобразуем правую часть уравнения (28) к виду

$$-zw\mu_0 \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,0} z^j + zw(\lambda_0 + \lambda_1 + \mu_0)u_{0,0} + \mu_0 w \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,0} z^j - w\mu_0 u_{0,0} - zw\mu_0 u_{1,0} - zw\mu_1 u_{0,1} + zw\mu_1 \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,0} z^j - z\mu_1 \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,0} z^j. \quad (31)$$

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Обозначим

$$V(z) = \sum_{j=0}^{\infty} u_{j,0} z^j.$$

Из уравнения (26) следует, что

$$zw(\lambda_0 + \lambda_1)u_{0,0} = zw\mu_1 u_{0,1} + zw\mu_0 u_{1,0}.$$

Подставим эти выражения в (31). После преобразований уравнение (28) примет вид

$$\begin{aligned} U(z, w)z(w(\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1) - w^2 \lambda_1 - \mu_1) = \\ = V(z)(w\mu_0(1-z) - z\mu_1(1-w)) - \\ - w\mu_0 u_{0,0}(1-z). \end{aligned} \quad (32)$$

Выражая производящую функцию  $U(z, w)$  из (32), получим

$$U(z, w) = \frac{V(z)(w\mu_0(1-z) - z\mu_1(1-w)) - w\mu_0 u_{0,0}(1-z)}{z(w(\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1) - w^2 \lambda_1 - \mu_1)}. \quad (33)$$

Так как это ограниченная аналитическая функция при

$$0 < w < 1, 0 < z < 1,$$

то корень знаменателя при фиксированном  $0 < z < 1$  будет и корнем числителя (по  $w$ ).

$$w(\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1) - w^2 \lambda_1 - \mu_1$$

многочлен второй степени по  $w$ . Его дискриминант равен

$$D = (\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1)^2 - 4\lambda_1 \mu_1.$$

Положим  $z \rightarrow 1^-$  – наименьший  $D$  по  $z$ . Тогда

$$D_{\min} = (\lambda_1 + \mu_1)^2 - 4\lambda_1 \mu_1 = \lambda_1^2 + 2\lambda_1 \mu_1 + \mu_1^2 - 4\lambda_1 \mu_1 = (\lambda_1 - \mu_1)^2 > 0.$$

У многочлена два действительных корня

$$\xi_1 = \frac{\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1 - \sqrt{(\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1)^2 - 4\lambda_1 \mu_1}}{2\lambda_1},$$

$$\xi_2 = \frac{\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1 + \sqrt{(\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1)^2 - 4\lambda_1 \mu_1}}{2\lambda_1}.$$

Можно показать, что  $\xi_1$  – единственный корень, лежащий в интервале  $(0, 1)$ . Обозначим  $\xi = \xi_1$ , тогда

$$V(z)(\xi\mu_0(1-z) - z\mu_1(1-\xi)) - \xi\mu_0 u_{0,0}(1-z) = 0,$$

$$V(z) = \frac{\xi\mu_0 u_{0,0}(1-z)}{\xi\mu_0(1-z) - z\mu_1(1-\xi)}. \quad (34)$$

Разложим многочлен (по  $w$ ) по его корням, с учетом теоремы Виета,

$$w(\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1) - w^2 \lambda_1 - \mu_1 = (w - \xi)(\mu_1 - \lambda_1 w \xi) \xi^{-1}. \quad (35)$$

Используя эти соотношения, получим

$$U(z, w) = \frac{\mu_0(1-z)u_{0,0}}{\xi\mu_0(1-z) - \mu_1 z(1-\xi)} \cdot \frac{\mu_1 \xi}{\mu_1 - \lambda_1 w \xi}. \quad (36)$$

При  $w \rightarrow 1^-$  выражение (35) примет вид

$$\lambda_0(1-z) = (1-\xi)(\mu_1 - \lambda_1 \xi) \xi^{-1}. \quad (37)$$

С учетом этого соотношения

$$U(z, w) = \frac{1 - \rho_1 \xi}{1 - \rho_1 w \xi} \cdot \frac{u_{0,0}}{1 - \rho_0 z - \rho_1 \xi}. \quad (38)$$

Значение  $u_{0,0}$  определяется из уравнений баланса. Далее подставим (20) в (38) и получим производящую функцию совместного распределения количества заявок в системе для классов 0 и 1 в состоянии статистического равновесия

$$U(z, w) = \frac{1 - \rho_1 \xi(z)}{1 - \rho_1 w \xi(z)} \cdot \frac{1 - \rho_1 - \rho_0}{1 - \rho_0 z - \rho_1 \xi(z)}, \quad (39)$$

где  $\xi(z)$  равно

$$\xi(z) = \xi = \xi_1 = \frac{\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1 - \sqrt{(\lambda_0 - \lambda_0 z + \lambda_1 + \mu_1)^2 - 4\lambda_1 \mu_1}}{2\lambda_1}.$$

### Маргинальные распределения и математические ожидания для числа заявок в системе

Маргинальные распределения количества заявок класса 1 и класса 0 в системе по определению представляют собой

$$u_{\cdot, n} = \sum_{j=0}^{\infty} u_{j, n}$$

$$u_{j, \cdot} = \sum_{n=0}^{\infty} u_{j, n}$$

Их производящие функции можно выразить через (39)

$$\sum_{n=0}^{\infty} u_{\cdot, n} w^n = \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} u_{j, n} w^n = U(1^-, w),$$

$$\sum_{j=0}^{\infty} u_{j, \cdot} z^j = \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} u_{j, n} z^j = U(z, 1^-),$$

где

$$U(1^-, w) = \frac{1 - \rho_1}{1 - \rho_1 w} = G_1(w),$$

$$U(z, 1^-) = \frac{1 - \rho_0 - \rho_1}{1 - \rho_0 z - \rho_1 \xi(z)} = G_0(z).$$

Производящая функция маргинального распределения числа заявок класса 1 в системе в состоянии статистического равновесия ( $G_1(w)$ ) совпадает с производящей функцией распределения количества заявок в очереди  $M|M|1$  в состоянии статистического равновесия. Как уже было сказано, класс 1 не зависит от класса 0. Это значит, что математическое ожидание числа заявок класса 1 в системе в состоянии статистического равновесия выражается формулой (16)

$$E(Q_1) = \frac{\rho_1}{1 - \rho_1}. \quad (40)$$

Математическое ожидание количества заявок класса 0 в системе в состоянии статистического равновесия можно найти по формуле

$$E(Q_0) = \lim_{z \rightarrow 1^-} G_0'(z) = G_0'(1^-).$$

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Проведя несложные вычисления, находим искомое математическое ожидание для количества заявок класса 0

$$E(Q_0) = \frac{\rho_0}{1 - \rho_0 - \rho_1} \cdot \left( 1 + \frac{\mu_0}{\mu_1} \cdot \frac{\rho_1}{1 - \rho_1} \right). \quad (41)$$

### Время завершения обслуживания

Для класса 0 время завершения обслуживания (время от начала обслуживания прибором заявки класса 0 до окончания обслуживания этой заявки) не определяется полностью экспоненциальным законом распределения, как для класса 1. Обслуживание прибором заявки класса 0 может быть прервано появившейся заявкой класса 1, которая вытеснит обслуживаемую заявку класса 0 в начало очереди, эта заявка вернется в обслуживание как только будет обслужена вытеснившая ее заявка или другие заявки класса 1, если они появились во время обслуживания вытеснившей ее заявки. Полное время завершения обслуживания для заявки класса 0 можно записать как

$$C_0 = S + \sum_{i=0}^N D_i,$$

где  $S$  – случайная величина, представляющая собой длительность обслуживания самой заявки класса 0 (сколько времени прибор уделит обслуживанию именно этой заявки без учета прерываний);

$N$  – случайная величина, равная количеству заявок класса 1, появившихся в процессе обслуживания заявки класса 0;

$D_i$  – случайная величина, выражающая длительность занятости прибора обслуживанием заявок класса 1, порождаемая приходом  $i$ -ой заявки класса 1, прервавшей процесс обслуживания заявки класса 0 ( $D_0 = 0$ ).

Здесь надо заметить, что в число  $N$  входят только заявки класса 1, прерывающие обслуживание заявки класса 0. Заявки класса 1, приходящие в процессе обслуживания другой заявки класса 1, не учитываются в  $N$ , длительность их обслуживания учитывается в одной из величин  $D_i$ . Случайные величины  $D_i$  включают в себя не только время обслуживания  $i$ -ой заявки класса 1, прервавшей обслуживание заявки класса 0, но и весь непрерывный период обслуживания заявок класса 1, приходящих во время обслуживания другой заявки класса 1, до того момента, когда таковых не останется и обслуживание заявки класса 0 возобновится. Это означает, что  $D_i$  – одинаково распределенные случайные величины, выражающие длительность периода занятости (*busy period*), порождаемого  $i$ -ой заявкой класса 1, прерывающей обслуживание заявки класса 0.

Найдем математическое ожидание времени завершения обслуживания заявки класса 0. Воспользуемся формулой полного математического ожидания, тогда

$$E(C_0 | S_0 = s, N = n) = s + nE(D),$$

$$E(C_0 | S_0 = s) = \sum_{n=0}^{\infty} (s + nE(D)) e^{-\lambda_1 s} \frac{(\lambda_1 s)^n}{n!} = s(1 + \lambda_1 E(D)),$$

$$E(C_0) = \int_0^{+\infty} s(1 + \lambda_1 E(D)) \mu_0 e^{-\mu_0 s} ds = \frac{1}{\mu_0} (1 + \lambda_1 E(D)). \quad (42)$$

Распределение периода занятости класса 1 совпадает с распределением периода занятости обычной  $M|M|1$  очереди. Это значит, что, согласно (18), математическое ожидание периода занятости класса 1 имеет вид

$$E(D) = \frac{1}{\mu_1 - \lambda_1}.$$

Подставляя его в (42), получим выражение для математического ожидания времени завершения обслуживания заявки класса 0

$$E(C_0) = \frac{1}{\mu_0} \left( 1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1 - \lambda_1} \right) = \frac{1}{\mu_0 (1 - \rho_1)}. \quad (43)$$

### Время пребывания в системе и время пребывания в очереди

Время пребывания в системе для заявки класса 0 – это случайная величина, представляющая собой время, которое проходит от момента поступления заявки класса 0 в очередь до момента окончания обслуживания этой заявки. В соответствии с законом Литтла (3) среднее время пребывания заявки класса 0 в системе в состоянии статистического равновесия равно отношению среднего числа заявок класса 0 в системе в состоянии статистического равновесия к интенсивности входного потока заявок класса 0, то есть

$$E(W_0) = \frac{E(Q_0)}{\lambda_0} = \frac{1}{\mu_0 (1 - \rho_0 - \rho_1)} \cdot \left( 1 + \frac{\mu_0}{\mu_1} \cdot \frac{\rho_1}{1 - \rho_1} \right). \quad (44)$$

Для заявки класса 1 среднее время пребывания в системе не будет ничем отличаться от соответствующего показателя  $M|M|1$  очереди, поэтому

$$E(W_1) = \frac{1}{\mu_1 (1 - \rho_1)}. \quad (45)$$

Время ожидания заявки класса 0 в очереди – случайная величина, выражающая время от момента поступления заявки класса 0 в систему до момента принятия этой заявки в обслуживание. Найдем среднее время ожидания заявки класса 0 в очереди в состоянии статистического равновесия  $E(W_{0,q})$  из определения среднего времени пребывания заявки класса 0 в системе

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$$E(W_0) = E(W_{0,q}) + E(C_0),$$

$$E(W_{0,q}) = E(W_0) - E(C_0) = \frac{\mu_0 \rho_1 + \mu_1 \rho_0}{\mu_0 \mu_1 (1 - \rho_1)(1 - \rho_0 - \rho_1)}. \quad (46)$$

Используя формулу Литтла (4), можно также получить среднее количество заявок класса 0, ожидающих обслуживания в очереди

$$E(Q_{0,q}) = \lambda_0 E(W_{0,q}) = \rho_0 \frac{\mu_0 \rho_1 + \mu_1 \rho_0}{\mu_1 (1 - \rho_1)(1 - \rho_0 - \rho_1)}. \quad (47)$$

Для удобства соберем все полученные математические ожидания в отдельную таблицу характеристик (см. таблицу 1). Очевидно, что для класса 1 характеристики соответствуют СМО  $M|M|1$ .

**Таблица 1**  
**Таблица характеристик**

Характеристики в состоянии равновесия	Класс 0	Класс 1
Среднее число заявок в системе	$\frac{\rho_0}{1 - \rho_0 - \rho_1} \left(1 + \frac{\mu_0}{\mu_1} \cdot \frac{\rho_1}{1 - \rho_1}\right)$	$\frac{\rho_1}{1 - \rho_1}$
Среднее время в системе	$\frac{1}{\mu_0(1 - \rho_0 - \rho_1)} \left(1 + \frac{\mu_0}{\mu_1} \cdot \frac{\rho_1}{1 - \rho_1}\right)$	$\frac{1}{\mu_1(1 - \rho_1)}$
Среднее число заявок в очереди	$\rho_0 \frac{\mu_0 \rho_1 + \mu_1 \rho_0}{\mu_1 (1 - \rho_1)(1 - \rho_0 - \rho_1)}$	$\frac{\rho_1^2}{1 - \rho_1}$
Среднее время в очереди	$\frac{\mu_0 \rho_1 + \mu_1 \rho_0}{\mu_0 \mu_1 (1 - \rho_1)(1 - \rho_0 - \rho_1)}$	$\frac{\rho_1}{\mu_1(1 - \rho_1)}$
Среднее время завершения обслуживания	$\frac{1}{\mu_0(1 - \rho_1)}$	$\frac{1}{\mu_1}$

### Заключение

В работе была рассмотрена система массового обслуживания с абсолютным приоритетом, пуассоновскими входными потоками и экспоненциально распределенными временами обслуживания заявок классов приоритета. Использование методов производящих функций и уравнений локального баланса позволило получить производящие функции стационарного совместного распределения числа заявок для двух классов в системе и стационарных маргинальных распределений числа заявок в системе для каждого из

двух классов. На этой основе для обоих классов были рассчитаны такие характеристики системы массового обслуживания, в состоянии статистического равновесия, как среднее число заявок в системе и в очереди, среднее время завершения обслуживания заявки, среднее время нахождения заявки в системе и в очереди.

Также надо отметить, что особенности структуры марковской очереди с абсолютным приоритетом позволяют обобщить приведенный в данной работе метод расчета характеристик системы двух классов приоритета на систему с  $n > 2$  классами приоритета.

### Литература

1. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Перевод с англ. /Пер. И. И. Грушко; ред. В. И. Нейман. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
2. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. М.: Изд-во РУДН, 1995. 529 с.
3. Захарова Т.В. Оптимизация расположения станций обслуживания в пространстве // Информатика и ее применения, 2008. Т. 2, № 2. С. 41-46.
4. Матвеева С.С., Захарова Т.В. Сети массового обслуживания с наименьшей длиной очереди // Информатика и ее применения, 2010. Т. 4, № 3. С. 22-28.
5. Смирнов Д.В., Бекренёв С.А. Модель процесса установления кадровой синхронизации в базовом сегменте цифровой радиосети метрового диапазона иерархической структуры с подвижными объектами // Телекоммуникационные устройства и системы, 2017. Т.7, №1. С. 74-76.
6. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1987. 336 с.
7. Gross D., Shortie J.F., Thompson J.M., Harris C.M. Fundamentals of Queueing Theory. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.
8. Norris J.R. Markov Chains. Cambridge University Press, 1997.
9. Ward Whitt. Continuous-Time Markov Chains. Department of Industrial Engineering and Operations Research, Columbia University, 2012. (<http://www.columbia.edu/ww2040/3106F13/CTMCnotes121312.pdf>)



## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 355.58:004.942

### О СИСТЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

### ON THE SYSTEM OF FORECASTING THE STATE OF RESIDENTIAL OBJECTS UNDER THE CONDITIONS OF THE ACTION OF AN AIR SHOCK WAVE

**Владимир Иванович Мухин**  
заслуженный деятель науки РФ  
доктор военных наук, профессор  
профессор кафедры информационных  
технологий и систем управления  
Академия гражданской защиты МЧС России  
Адрес: 141435, Московская обл., г.о. Химки,  
мкр. Новогорск  
Тел.: 8 (498) 699-05-59

**Александр Иванович Мазаник**  
доктор военных наук, профессор  
главный научный сотрудник научно-  
исследовательского центра  
Академия гражданской защиты МЧС России.  
Адрес: 141435, Московская обл., г.о. Химки,  
мкр. Новогорск  
Тел.: 8 (498) 699-06-40  
E-mail: al.maza@mail.ru

**Анатолий Валерьевич Рыбаков**  
доктор технических наук, доцент  
начальник лаборатории Информационного  
обеспечения населения и технологий  
информационной поддержки РСЧС  
Академия гражданской защиты МЧС России.  
Адрес: 141435, Московская обл., г.о. Химки,  
мкр. Новогорск  
Тел.: 8 (498) 699-07-28  
E-mail: anatoll\_rubakov@mail.ru

**Евгений Вячеславович Иванов**  
адъюнкт научно-исследовательского центра  
Академия гражданской защиты МЧС России.  
Адрес: 141435, Московская обл., г.о. Химки,  
мкр. Новогорск  
Тел.: +7 (951) 126-49-41  
E-mail: linia-zhizni@yandex.ru

#### Аннотация

В статье приведено описание информационной системы, с помощью которой осуществляется прогнозирование состояния объектов жилой застройки, подвергшихся ударно-волновому воздействию. Дается определение показателя защищенности и порядка оценки его значений для определения степени разрушения объектов городской застройки, подвергшихся удару. Предлагается алгоритм выработки предложений по формированию оптимального состава группировки сил и средств для ликвидации последствий применения обычных средств поражения.

**Ключевые слова:** воздушная ударная волна, защищенность, обычные средства поражения, прогнозирование, информационная система.

#### Summary

The article describes the information system, which helps in forecasting residential buildings subjected to shock wave effects. The definition of the safety level and the order of evaluation of its values for determining the degree of destruction of objects of urban development, the struck. The algorithm to develop proposals for the formation of the optimal composition of the grouping of forces and means for liquidation of consequences of the use of conventional means of destruction.

**Keywords:** air blast, protection, conventional weapons, forecasting, information system.

Процессы урбанизации во второй половине 20-го века привели к росту числа жителей городов, в особенности в крупных городах. Это привело к образованию тесной взаимосвязи между рядом потенциально-опасных объектов, критически важными объектами, городской инфраструктурой и объектами жилого фонда. Военные доктрины ряда иностранных государств, в соот-

ветствии со стратегией сетецентрических войн предусматривают нанесение ракетно-бомбовых ударов по объектам, находящимся, в том числе и в городских кварталах.

В связи с этим приобретает важность решение задачи по обеспечению устойчивости муниципальных образований, по которым был произведен удар. При этом устойчивость муници-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

пального образования (города) характеризуется способностью обеспечивать условия безопасного проживания людей в условиях реализации опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий. Ключевым мероприятием по обеспечению устойчивости будет поддержание готовности структурных подразделений сил гражданской обороны к ликвидации последствий ракетно-бомбового удара [1].

Для выполнения указанных мероприятий необходимо:

- правильно оценить обстановку в районе нанесения удара;
- спрогнозировать развитие событий в районе нанесения удара;
- принять обоснованное решение на проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- организовать выполнение принятого решения с учетом изменяющейся обстановки;
- организовать контроль и оказание помощи подразделениям сил гражданской обороны, осуществляющим проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Фактором, оказывающим наибольшее влияние на величину потерь населения при выполнении работ по ликвидации последствий удара, будет являться фактор времени. Соответственно органы управления гражданской обороной должны свести к минимуму время на организацию и проведение работ по ликвидации последствий удара. Решению этой задачи может способствовать реализация программных продуктов, при обеспечении их функционирования в автоматизированной системе управления силами гражданской обороны.

Созданная «Информационная система прогнозирования состояния жилых объектов в условиях воздействия воздушной ударной волны и выработки предложений по формированию оптимального состава группировки сил и средств, для ликвидации последствий применения обычных средств поражения» (далее информационная система) позволяет решать следующие задачи:

- определение геоположения точки нанесения удара, с привязкой реально существующих объектов городской застройки;
- определение степени разрушения объектов городской застройки, с учетом их конструктивных особенностей и местонахождения относительно эпицентра взрыва;
- определение требуемого количества сил и средств, для проведения работ по ликвидации последствий удара;
- формирование оптимального состава группировки сил гражданской обороны.

Решение указанных задач стало возможным за счет реализации положений нормативно-правовой базы, методик расчетов, использования геоинформационных систем, учета опыта отечественных и зарубежных специалистов.

В качестве геоинформационной системы в которой осуществляется визуализация объектов городской застройки с их привязкой к географическим координатам, является API-Yandex. Рабочее окно информационной системы имеет следующий вид (рисунк 1):

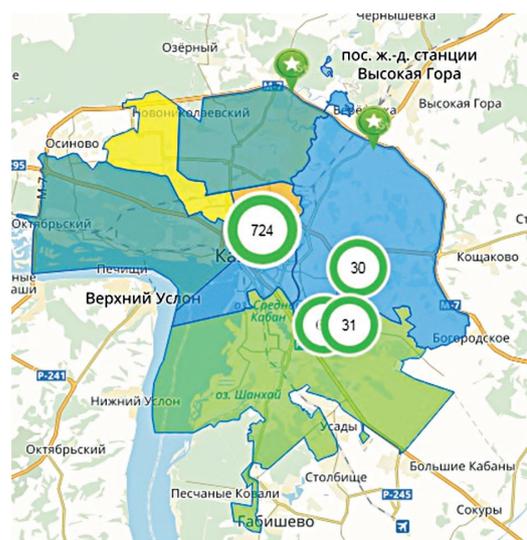


Рис. 1. Рабочее окно информационной системы со схемой города

В информационной системе реализовано два способа привязки мест нанесения удара: по адресу (регион, муниципальное образование, улица, дом.) или по географическим координатам (долгота и широта градусы, минуты и секунды, соответственно).

Степень разрушения объектов городской застройки будет зависеть как от характеристик средств поражения, так и от характеристик объектов. Достигается это за счет использования при оценке состояния объекта комплексного показателя, характеризующего его способность противостоять угрозам с сохранением возможности выполнять свои основные функции и задачи в условиях воздействия обычных средств поражения [2]. Преимуществом использования показателя защищенности является его построение на основе экспериментальных данных (энергетические методы [3]), учет вклада как избыточного давления, так и импульса, а также то, что ранее была получена шкала оценки показателя защищенности [4], что позволяет производить оценку последствий применения обычных средств поражения по объектам городской застройки по упрощенной методике. Расчет пара-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

метров воздушной ударной волны осуществляется по приводимым в [5] формулам, где в качестве основного параметра, влияющего на значение избыточного давления и импульса, выступает масса взрывчатого вещества обычного средства поражения (рисунк 2) в тротиловом эквиваленте.

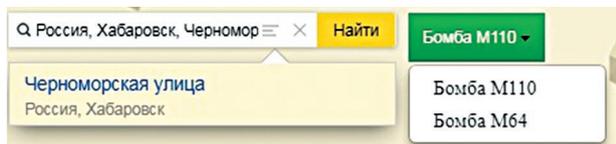


Рис. 2. Пример выбора типа средства поражения

Показатель защищенности определяется как отношение характеристик текущего состояния объекта к характеристикам его желаемого состояния – устойчивого функционирования объекта (нижняя левая четверть на рисунке 3). Применительно к  $\langle P \rangle$ - $\langle i \rangle$  диаграмме (рисунк 3) значения показателя могут быть найдены по соотношению площадей, представленных в формуле [4]:

$$k = \frac{S_1}{S_2} \quad (1)$$

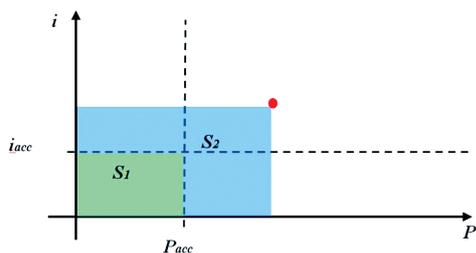


Рис. 3. Интерпретация формулы нахождения показателя защищенности

Для интерпретации характеристик воздействия предложено разделить диаграмму на четверти (рисунк 4) [2].

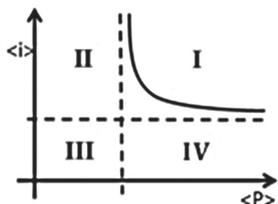


Рис.4.  $\langle P \rangle$ - $\langle i \rangle$  диаграмма с разбивкой на четверти:

- I и III – области совместного действия давления и импульса (I – полных разрушений, III – незначительных разрушений);
- II – область импульсного воздействия ударной волны;
- IV – область квазистатического воздействия ударной волны

Для области квазистатической нагрузки (где решающий вклад в разрушение объекта вкладывает избыточное давление, IV четверть) форму-

ла вычисления показателя защищенности будет выглядеть следующим образом:

$$k = \frac{\langle i \rangle_p \cdot \langle P \rangle_{acc}}{\langle P \rangle_p \cdot \langle i \rangle_p} \quad (2)$$

$0 < k > 1$

Для области импульсной нагрузки (где решающий вклад в разрушение объекта вкладывает импульс, II четверть) формула вычисления показателя защищенности будет выглядеть несколько иначе:

$$k = \frac{\langle P \rangle_p \cdot \langle i \rangle_{acc}}{\langle P \rangle_p \cdot \langle i \rangle_p} \quad (3)$$

$0 < k > 1$

Указанные области характеризуются, как правило, разрушениями полной и средней степени.

Для степеней полного разрушения и слабых разрушений (области, где нельзя определить вклад, какой нагрузки является определяющим, I и III четверти) формула расчета принимает вид:

$$k = \frac{\langle i \rangle_{acc} \cdot \langle P \rangle_{acc}}{\langle P \rangle_p \cdot \langle i \rangle_p} \quad (4)$$

$0 < k < 1$  (для I четверти)  
 $k > 1$  (для III четверти)

Значения  $\langle P \rangle_{acc}$  и  $\langle i \rangle_{acc}$  приведены в [3], значения  $\langle P \rangle_p$  и  $\langle i \rangle_p$  рассчитаны с помощью формул, приведенных в [2]. Исходя из рассмотренных формул (2)-(4), значения показателя защищенности для обеспечения устойчивого функционирования объекта должны быть больше единицы. При значениях показателя защищенности близких к единице для объекта будут характерны сильные и средние разрушения. При значениях больше единицы – слабые разрушения [4].

Степени разрушения объектов городской застройки приводятся в соответствие с требованиями свода правил СП 165.1325800.2014 «Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне».

На основании проведенных расчетов количества разрушенных объектов и степеней разрушения по методике, изложенной в [6], рассчитывается потребное количество сил и средств для проведения работ по ликвидации последствий удара с учетом сроков их проведения (рисунк 5).

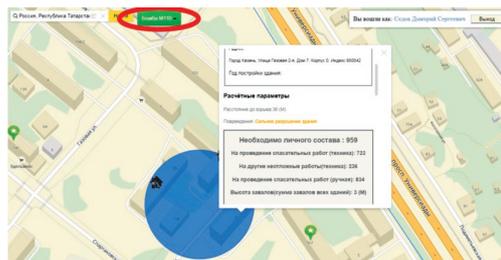


Рис. 5. Рабочее окно информационной системы со схемой города

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Кроме общего количества по той же методике [6] производится расчет требуемого количества личного состава по специальностям: например, спасателей, медицинских работников и т.п. (рисунк 6).



**Рис. 6.** Рабочие окна информационной системы с данными по потребности в различных специалистах

Формирование оптимального состава группировки сил гражданской обороны, предназначенной для ликвидации последствий удара, осуществляется за счет решения математической задачи линейного программирования специального вида (транспортной задачи). При этом для каждого вида специалистов формируются матрицы следующего вида (таблица 1).

**Таблица 1**  
Матрица транспортной задачи

	Район выполнения работ				
	Уч 1	Уч 2	...	Учп	Всего л/с
1 объект					
2 объект					
...					
m объект					
Потребность для решения задач					

В качестве информации, отображаемой в ячейках таблицы, выступает количество соответствующих специалистов в подразделениях и время их прибытия на участок ведения работ. Заполнение ячеек осуществляется с учетом эшелонирования сил и средств и необходимостью предусмотреть резерв. Требуется определить оптимальный план формирования группировки сил гражданской обороны так, чтобы работы по ликвидации последствий удара были выполнены в полном объеме, при минимальных затратах времени.

Сведения о количестве сил и средств в подразделениях, относящихся к силам гражданской обороны, также заранее заносятся в информационную систему.

Представленная информационная система позволяет в оперативном режиме выполнять оценочные и прогнозныe расчеты по анализу возможных последствий нанесения ракет-

но-бомбовых ударов, что, в свою очередь, способствует сокращению времени принятия решения на проведение работ по ликвидации последствий.

Существенным является то, что предлагаемый подход оценки степени повреждения зданий базируется на основе оценки значений показателя защищенности, с одной стороны существенно упрощающих порядок расчета, с другой позволяющая учитывать комплексное влияние как избыточного давления, так и импульса воздушной ударной волны.

Кроме этого, предлагаемая информационная система предлагает математически обоснованный подход формирования оптимального состава группировки, предназначенной для ликвидации последствий удара, позволяет учитывать состояние боеготовности подразделений, их удаленность от мест нанесения ударов, специфику работ в районах нанесения ударов. Также рассмотренная методика может быть использована и при оценке последствий террористических актов. При этом вместо средства поражения выбирается тротиловый эквивалент взрыва.

### Литература

1. Гражданская оборона / Под общ. ред. В.А. Пучкова. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. 378 с.
2. Рыбаков А.В., Иванов Е.В., Савинов А.М., Геккель И.Я. О подходе к определению показателя защищенности зданий и сооружений опасного производственного объекта // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты, 2017. №2 С.33-40.
3. Бейкер У., Уэстайн П., Кулик Дк., Стрелов Р. Взрывные явления. Оценка и последствия / Пер. Зельдович Я.Б., Гельфанда Б.Е. М.: Мир, 1986. 384 с.
4. Рыбаков А.В., Иванов Е.В., Седов Д.С., Овсянников Р.Е. О подходе к определению показателя и построение шкалы оценки защищенности опасного производственного объекта // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2017. №3 С.344-352.
5. Кочетков К.Е., Котляревский В.А., Забегаев А.В. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. М.: Изд-во ассоциация строительных вузов, 1996. 383 с.
6. Наставление по организации и технологии ведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при чрезвычайных ситуациях. Часть 2. Организация и технологии ведения аварийно-спасательных и других неотложных работ при землетрясениях. М.: ВНИИ ГОЧС, 2000. 204 с.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 623.466.3

### МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ИЗМЕНЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА АСТЕРОИДА

### A METHODOLOGICAL APPROACH TO SOLVING THE PROBLEM OF CHANGING THE TRAJECTORY THE FLIGHT OF THE ASTEROID

#### Андрей Николаевич Фуров

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

#### Олег Павлович Кузнецов

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

#### Андрей Дмитриевич Ермаков

курсант  
ВА РВСН им. Петра Великого  
(филиал в г. Серпухове)  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
ул. Бригадная, д.17  
Тел.: +7(4967)35-31-93

#### Аннотация

В статье рассмотрены два физических подхода к решению задачи изменения траектории полета астероида. Первый посвящен описанию механизма нагрева и частичного испарения поверхности астероида за счет поглощения электромагнитного излучения рентгеновского диапазона. Следствием чего в соответствии с законом сохранения импульса астероид смещается с первоначальной траектории. Второй подход относится к исследованию свойства электромагнитного излучения, возникающего в результате ядерного взрыва, оказывать давление на поверхность твердого тела. Конечной целью работы является количественная оценка и сравнение импульсов давления для каждого из двух представленных механизмов для выбора наиболее эффективного метода борьбы с космическими телами.

**Ключевые слова:** астероид, электромагнитное излучение, ядерный взрыв, импульс давления, мягкое рентгеновское излучение.

#### Summary

The article deals with the physical approach of solving the problem of changing the trajectory of the asteroid. The first is devoted to the description of the mechanism of heating and partial evaporation of the asteroid's surface due to the absorption of electromagnetic radiation of the x-ray range. The consequence in accordance with the law of conservation of momentum the asteroid is displaced from the original path. The second approach refers to the study of the properties of electromagnetic radiation arising from a nuclear explosion, to exert pressure on the solid surface. The final goal is to measure and compare pulse pressure for each of the two presented mechanisms to select the most effective method of dealing with cosmic bodies.

**Keywords:** asteroid, electromagnetic radiation, nuclear explosion, pulse pressure, soft x-ray radiation.

В последнее время в новостных лентах средств массовой информации все чаще появляются сообщения о движущихся в направлении нашей планеты крупных космических телах (КТ) естественного происхождения. Многие из них уже пролетели на достаточно близком расстоянии от Земли, например, астероид

1998 QE2, размер которого превышает 2,5 км, или надвигавшийся на Землю гигантский астероид 2015 TB145, который, как оказалось, был мертвой кометой. Прогнозируемые траектории и времена полета достаточно глубоко изучаются космическими агентствами разных стран, создается современная инфраструктура со средствами

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

наблюдения за подобными явлениями, например, радиолокационными телескопами в Аресибе, Голдстоуне и Евпатории.

Однако существующих научно-технического и технологического заделов и принятых мер в данной области недостаточно для исключения непосредственного взаимодействия планеты Земля, имеющей многомиллиардное население, с ужасной угрозой из далекого космоса.

Известно, что падение метеорита в Челябинской области, вошедшего в атмосферу Земли 15 февраля 2013 года, сопровождалось его разрушением с распространением ударных волн над территорией сопредельных регионов, а также Казахстана. Историческим фактом является падение Тунгусского метеорита, мощность взрыва которого оценивается в 40-50 мегатонн в тротиловом эквиваленте, что соответствует энергии самой мощной из взорванных водородных бомб.

Что касается КТ, траектории которых в будущем могут пересечься с земной, то наиболее известными являются 270-метровый астероид Апофис и обнаруженный в 2011 году астероид 2011 AG5.

Современные технологии и достижения науки открывают широкий простор для решения важных задач, касающихся безопасности человечества. Речь пойдет о космических врагах – астероидах. Именно их внезапное появление может стать причиной непоправимых последствий. Поэтому задача обеспечения безопасности будущего поколения от угрозы из глубокого космоса является актуальной.

На сегодняшний день существует много вариантов решения проблемы борьбы с астероидами. Одним из них является идея применения лазера в качестве источника больших давлений, оказываемых на поверхность движущегося астероида. Но в этой концепции имеются две большие проблемы, которые пока не могут быть решены традиционными методами. Во-первых, это вибрации лазерной установки, выводимой на орбиту. Присутствие таких вибраций не дает возможности правильно подобрать нужное направление распространения излучения, т.к. даже небольшое отклонение (порядка 10 угловых секунд) при расстоянии до астероида в 500 км дает промах более 1 км. Во-вторых, если решить проблему увеличения ширины пучка, поток энергии ослабнет настолько, что импульс давления, воздействующий на поверхность КТ, будет не существенным. Одновременно с этим можно попытаться увеличить мощность излучения, но на сегодняшний день не существует оборудования, способного обеспечить большую интенсивность излучения при ширине пучка, компенсирующей вибрации системы.

Предлагаемым подходом к решению задачи изменения траектории полета астероида является применение мягкого рентгеновского излучения (МРИ), возникающего при ядерном взрыве. Предлагается производить подрыв ядерного заряда вблизи астероида. При этом почти вся энергия взрыва выделится в виде электромагнитного излучения в рентгеновском диапазоне, основной эффект которого будет заключаться в нагреве и частичном испарении поверхности астероида с образованием реактивного импульса. Это своего рода ядерный импульсный двигатель, действие которого направлено на смещение с орбиты движущегося с огромной скоростью астероида определенной массы.

Воздействие МРИ на астероид обусловлено двумя механизмами. Первому механизму соответствует отклонение астероида от заданной траектории за счет практически мгновенного испарения тонкого поверхностного слоя облучаемого вещества при мгновенном поглощении в нем большей части всей энергии излучения. Второй механизм – отклонение с траектории за счет электромагнитного давления. Проведение оценки планируется, принимая МРИ как волну интенсивности  $I$ , которая оказывает на поверхность КТ давление

$$p = (I/c) * (1 + \rho),$$

где  $c$  – скорость света в вакууме;

$\rho$  – коэффициент отражения падающего излучения от поверхности космического тела [4].

### Испарение за счет поглощения

Необходимым условием испарения тонкого поверхностного слоя является то, что толщина слоя, в котором поглощается основная доля энергии излучения, должна быть мала по сравнению с толщиной облучаемого тела, а длительность настолько мала, что механизм теплопроводности еще не успевает проявиться.

Интенсивность излучения в веществе уменьшается по экспоненциальному закону [1]:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

где  $x$  – толщина слоя, пройденного пучком фотонов (в данном случае МРИ);

$\mu$  – линейный коэффициент поглощения.

Рассматривая данный принцип воздействия на движение твердого тела, придержимся некоторых допущений:

– толщина слоя  $\delta$ , в котором поглощается практически вся энергия падающего пучка фотонов, равна примерно пяти длинам свободного пробега, т. е.  $\delta = 5/\mu$ ;

– задача рассматривается для монохроматического спектра излучения (считаем, что квант МРИ обладает энергией  $\epsilon_{\phi} = 1,6 \text{ кэВ}$ );

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

– пренебрегаем тем, что доля МРИ в спектре излучения от взрыва ядерного заряда растет с увеличением мощности  $q$ .

## 1. Нахождение выражения для импульса давления.

Находим импульс давления  $J_d$  на поверхность КТ, считая распределение поглощаемого МРИ в нагреваемом слое равномерным. Запишем закон сохранения энергии:

$$E = \frac{L^2}{2m} + A \quad (1)$$

где  $E$  – суммарная энергия излучения;  
 $L$  – суммарный импульс испарившегося слоя;  
 $m$  – масса испарившегося слоя;  
 $A$  – энергия, затраченная на сублимацию поверхностного слоя.

Разделив обе части выражения (1) на площадь  $S$  (тем самым переходя к величинам, приходящимся на единицу площади) и выполнив преобразования, получим:

$$U = \frac{E}{S} = \frac{L^2}{2m_{исп} S^2} + \frac{A}{S} = \frac{J_d^2}{2m_{исп}} + \frac{A}{m S} = \frac{J_d^2}{2m_{исп}} + Q_s m_{исп} \quad (2)$$

где  $U$  – энергия излучения, приходящаяся на единицу поверхности;

$Q_s = \frac{A}{m}$  – удельная энергия сублимации;  
 $m = m_{исп} S$  ( $m_{исп}$  – масса испарившегося с единицы поверхности вещества).

Из формулы (2) получим величину импульса давления:

$$J_d = \sqrt{2(U - Q_s m_{исп})m_{исп}} \quad (3)$$

Оценим величину  $U$ . Для этого выразим ее через полную энергию взрыва:

$$U = \frac{\zeta M}{4\pi R^2} = 3,33 \cdot 10^8 \cdot \frac{\zeta q}{R^2} \quad (4)$$

где  $M$  – полная энергия взрыва [Дж];  
 $q$  – мощность заряда [т];  
 $R$  – расстояние от точки взрыва до КТ;  
 $\zeta$  – доля энергии, приходящаяся на МРИ.

В дальнейших расчетах будем принимать, что  $\zeta = 0,8$  (80% энергии взрыва приходится на МРИ) и  $R = 10^5$  м (т.е. наведение ракеты обеспечивает подрыв ядерного заряда в 100 км от астероида).

## 2. Нахождение величины испарившейся массы слоя.

В астрономии принята следующая классификация астероидов по химическому составу: железные, железокремнистые и каменные. В разных астероидах содержатся разные доли того или иного элемента. Примем допущение, что испарившийся слой содержит те же доли химических элементов, что и астероид в целом.

В дальнейшем будем использовать следующие обозначения:

$\rho_i$  – плотность  $i$ -го вещества [кг/м<sup>3</sup>];

$\psi_i$  – доля содержащегося в астероиде  $i$ -го химического элемента;

$A_i$  – массовое число  $i$ -го химического элемента [кг/моль].

Величину испарившейся массы слоя можно оценить из следующего соотношения:

$$m_{исп} = \delta \rho = \frac{5}{\mu} \rho \quad (5)$$

Величина  $\mu$  может быть определена как:

$$\mu = n \sigma_{cp} \quad (6)$$

где  $n$  – концентрация молекул в слое, который должен испариться [м<sup>-3</sup>];

$\sigma_{cp}$  – среднее значение эффективного сечения рассеяния [м<sup>2</sup>].

Концентрация молекул определяется по формуле:

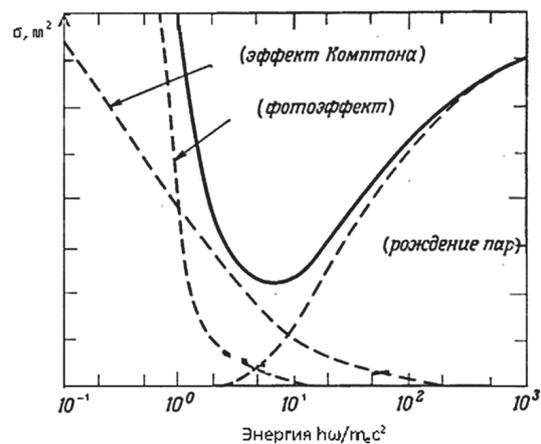
$$n = \frac{N_A}{\sum \psi_i \frac{A_i}{\rho_i}} \quad (7)$$

где  $N_A$  – число Авогадро ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>).

В зависимости от энергии падающего излучения существуют три процесса, приводящих к ослаблению пучка фотонов, проникающих в твердое тело: рождение фотоэлектронов (испарение слоя вещества), комптоновское рассеяние и рождение электрон-позитронных пар. *Рисунок 1* дает представление о том, какой процесс соответствует МРИ-фотоэффекту. На *рисунке*

$$\hbar\omega/m_e c^2 = 1.6/511 = 0,003,$$

где  $\hbar\omega$  – энергия падающего кванта излучения;  
 $m_e c^2$  – энергия покоя электрона.



**Рис. 1.** Зависимость сечения поглощения падающего излучения от энергии для каждого из трех механизмов взаимодействия

Для малых энергий падающих квантов выражение для сечения фотоэффекта на  $K$ -оболочке

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

имеет вид [1]:

$$\sigma_i = 1,09 \cdot 10^{-20} \cdot Z^5 \left( \frac{13,61}{h\nu(\text{эВ})} \right)^{7/2}, \text{ м}^2 \quad (8)$$

где  $Z$  – порядковый номер химического элемента в периодической системе;  
 $h\nu$  – энергия падающего кванта (1,6 кэВ).

Подставляя известные данные, приходим к зависимости сечения для фотоэффекта от порядкового номера:

$$\sigma_i = 6,2 \cdot 10^{-28} \cdot Z^5, \text{ м}^2. \quad (9)$$

В соответствии с имеющимися данными [3] заполняем таблицу 1, в которой укажем все необходимые характеристики химических элементов.

**Таблица 1**  
Характеристики химических элементов

Название химических элементов	Процентное содержание химического элемента ( $\psi \cdot 100\%$ )			Z	A*10 <sup>-3</sup> [кг/моль]	$\sigma^*10^{-21}$ [м <sup>2</sup> ]	$\rho$ [кг/м <sup>3</sup> ]
	железные	железо-каменные	каменные				
железо	90,42	55,33	15,5	26	56	7,4	7870
никель	8,5	5,43	1,24	28	59	10,7	8910
кобальт	0,6	0,3	0,08	27	59	8,9	8800
медь	0,02	-	0,01	29	64	12,8	8930
фосфор	0,17	-	0,1	15	31	0,5	1820
сера	0,04	-	1,82	16	32	0,7	2090
углерод	0,03	-	0,16	6	12	0,0	2270
кислород	-	18,55	41	8	16	0,0	1.332
магний	0,03	12,33	14,3	12	24	0,2	1740
кальций	0,02	-	1,8	20	40	2,0	1530
кремний	0,01	8,06	21	14	28	0,3	7190
натрий	-	-	0,8	11	23	0,1	965
калий	-	-	0,07	19	39	1,5	862
алюминий	-	-	1,56	13	27	0,2	2700
марганец	0,05	-	0,16	25	55	6,1	7470
хром	0,01	-	0,4	24	52	5,0	7190

Формула для определения  $\sigma_{cp}$  имеет следующий вид:

$$\sigma_{cp} = \sum \psi_i \sigma_i \quad (10)$$

Выражение для суммарной массы, испарившейся с единицы поверхности, можно представить следующим образом:

$$m_{исп} = \delta \rho_{cp} = \frac{5}{\mu} \sum \psi_i \rho_i \quad (11)$$

На основании проделанных вычислений по нахождению массы испарившегося слоя с единицы поверхности, а также используя формулу (3), составим таблицу с результатами для трех видов астероидов с учетом применения разных

зарядов (величину  $Q_c$  в формуле (3) примем равной  $Q_c = 80 \text{ кДж/кг}$ ).

**Таблица 2**  
Результаты исследования трех видов астероидов

	$\sigma_{cp} \cdot 10^{-21}$ [м <sup>2</sup> ]	$\mu$ [м <sup>-1</sup> ]	$m_{исп}$ [кг/м <sup>2</sup> ]	ЖД [кг/(м <sup>2</sup> с)]		
				q [кг]		
				25	500	10000
Железные	7,7	6,49	0,061	-	32	180
Железо-каменные	4,8	4,51	0,063	-	32,3	183
Каменные	1,5	1,71	0,095	-	33	223

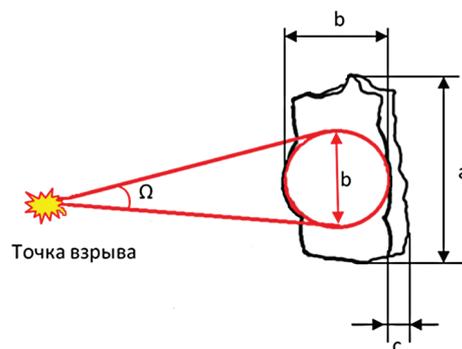
Из таблицы 2 видно, что при заряде  $q=25 \text{ кг}$  импульса давления не возникнет. Это связано с тем, что потери на испарение значительно превышают энергию, выделяющуюся при взрыве. Соответственно кинетической энергии у испарившихся частиц не возникнет, что является причиной отсутствия импульса давления.

### Отклонение за счет электромагнитного давления 1. Расчет импульса электромагнитного давления.

Считаем, что точка взрыва проецируется в центр КТ. Если ширина КТ меньше длины (или наоборот), то следует при подсчетах использовать минимальный параметр. Тем самым ограничиваемся минимальными пороговыми значениями энергий, необходимыми для осуществления данного метода защиты от астероидов.

Параметры астероида представлены на рисунке 2:

- 1) длина –  $a$ ;
- 2) ширина –  $b$ ;
- 3) толщина –  $c$ .



**Рис. 2.** Проекция электромагнитных волн, образующихся при взрыве, на поверхность астероида с заданными параметрами

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Используем наименьший параметр  $b$  – ширина КТ. Допустим, что телесный угол  $\Omega$  охватывает коническую поверхность с диаметром основания  $b$ . Найдем угол  $\alpha$ , используя *рисунок 4*:

$$\sin \alpha = \frac{b}{2} \cdot \frac{1}{R},$$

где  $R$  – длина образующей конуса (расстояние от точки взрыва до края ограниченного нами участка).

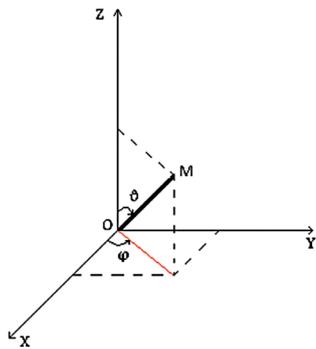
Отсюда

$$\alpha = \arcsin \frac{b}{2} \cdot \frac{1}{R}. \quad (12)$$

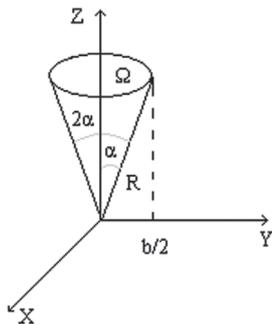
Используем формулу нахождения телесного угла  $\Omega$ , выраженную через сферические координаты:

$$\Omega = \iint \sin \vartheta d\vartheta d\varphi.$$

В общем случае переменные  $\vartheta$  и  $\varphi$  изменяются в пределах:  $\vartheta \in [0, 2\pi)$ ,  $\varphi \in [0, \pi]$ , как это показано на *рисунок 3*.



**Рис. 3.** Система координат, показывающая, как изменяются углы  $\theta$  и  $\varphi$



**Рис. 4.** Графическое представление конуса с телесным углом  $\Omega$  и диаметром основания  $b$

Тогда, в соответствии с поставленной задачей, можем найти телесный угол  $\Omega$ , обозначив пределы интегрирования в соответствии с *рисунок 4*:

$$\begin{aligned} \Omega &= \iint \sin \vartheta d\vartheta d\varphi = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\alpha \sin \vartheta d\vartheta = 2\pi(-\cos \alpha + \cos 0) = \\ &= 2\pi(1 - \cos(\arcsin \frac{b}{2R})) \end{aligned} \quad (13)$$

Используя соотношение

$$\cos 2\beta = 1 - 2\sin^2 \beta$$

получаем, что

$$\cos\left(\arcsin \frac{b}{2R}\right) = 1 - 2\sin^2\left(\frac{\arcsin \frac{b}{2R}}{2}\right).$$

Подставляя это равенство в (13), получим:

$$\Omega = 4\pi \cdot \sin^2\left(\frac{\arcsin \frac{b}{2R}}{2}\right) \quad (14)$$

При взрыве ядерного заряда примерно 80% энергии выделяется в форме излучения. Спектр приходится на область МРИ, сильно поглощаемого веществом. Учитывая это, приходим к формуле энергии, приходящейся на телесный угол  $\Omega$ :

$$E_\Omega = \frac{0,8T}{4\pi} \Omega,$$

где  $T$  – полная энергия взрыва.

Подставляя в это равенство выражение (14), получаем:

$$E_\Omega = 0,8T \sin^2\left(\frac{\arcsin \frac{b}{2R}}{2}\right). \quad (15)$$

Объемная плотность энергии находится с помощью формулы:

$$E_V = \frac{E_\Omega}{V},$$

где  $V$  – объем конуса, ограниченного телесным углом  $\Omega$  и имеющего диаметр основания  $b$ .

Вычисляется этот объем с помощью тройного интеграла с последующим переходом к повторному в соответствии с *рисунок 4*:

$$V = \iiint \rho d\rho d\varphi dz = \int_0^{R \cos \alpha} dz \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{b/2} \rho d\rho = b^2 \frac{\pi}{4} R \cos \alpha = b^3 \frac{\pi}{8} \operatorname{ctg} \alpha$$

Объемная плотность определяется по следующей зависимости:

$$E_V = \frac{8 \operatorname{tg} \alpha}{b^3 \pi} \cdot 0,8T \sin^2\left(\frac{\arcsin \frac{b}{2R}}{2}\right) = 6,4T \sin^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{b^3 \pi}.$$

Выражение для определения давления электромагнитных волн в общем виде можно записать как [4]:

$$p = EV(1 + \rho) \cos 2\beta,$$

где  $\beta$  – угол между нормалью к поверхности астероида и направлением распространения электромагнитных волн.

Для  $\cos 2\beta$  берем среднее значение на промежутке от 0 до  $\pi$ . Оно равно  $1/2$  (приводим без доказательства). Таким образом, выражение для давления примет вид:

$$p = 3,2T \sin^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{b^3 \pi} (1 + \rho). \quad (16)$$

Величина  $\alpha$  зависит от точности наведения, поэтому выражения, содержащие  $\alpha$ , можно

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

записать как некоторую переменную  $C$ :

$$C = \frac{3,2}{\pi} \sin^2 \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \alpha.$$

Тогда выражение (16) переписывается в виде:

$$p = \frac{T}{b^3} \cdot (1 + \rho) C. \quad (17)$$

Оценим импульс давления, действующий на КТ:

$$J_{\text{д}}^* = p \cdot t_{\text{изл}}, \quad (18)$$

где  $t_{\text{изл}}$  – время излучения.

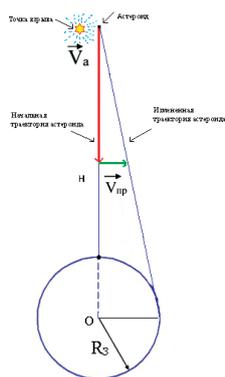
Для численной оценки используем геометрические размеры астероида Апофис ( $b=325$  м). При расстоянии  $R=105$  м от точки взрыва до центра КТ, величина  $C$  будет примерно равна  $C \approx 10^{-9}$ . Считаем, что коэффициент отражения равен нулю ( $\rho=0$ ), а время излучения порядка  $t_{\text{изл}} \sim 10^{-9}$  с. Тогда для трех разных зарядов получим следующие значения импульса давления в зависимости от мощности заряда, представленные в *таблице 3*.

**Таблица 3**

Значения электромагнитного импульса давления при разных значениях ядерного заряда

q [кТ]	25	500	10000
J <sub>д</sub> * [кг/(м*с)]	0,31*10 <sup>-11</sup>	6,10*10 <sup>-11</sup>	12,20*10 <sup>-9</sup>

Сравнение двух механизмов показывает, что импульсом электромагнитного давления можно пренебречь в силу его малости по отношению к импульсу давления, возникающему за счет испарения поверхностного слоя вещества КТ. Общая схема изменения траектории полета астероида представлена на *рисунке 5*.



**Рис. 5.** Общая схема изменения траектории полета астероида

В зависимости от того, где производить подрыв заряда, можно выделить несколько способов, предотвращающих столкновение астероида с Землей:

1. Геометрический: подрыв заряда осуществляется сбоку от КТ. При этом КТ получает дополнительный поперечный импульс, вследствие чего столкновения летящего астероида и Земли

не происходит. При этом расстояние  $H$  от Земли (будем называть это расстояние эффективной высотой), на котором необходимо производить подрыв заряда можно оценить по формуле:

$$H \approx \frac{R_3 V_a m_a}{J_{\text{д}}^* S}, \quad (19)$$

где  $R_3$  – радиус Земли;

$V_a$  – орбитальная скорость астероида;

$m_a$  – масса астероида;

$S$  – часть площади КТ, на которую падает МРИ.

Подставляя в формулу (19) характеристики астероида Апофис, получаем *таблицу 4*, в которой представим значения расстояний, соответствующих тем или иным зарядам (считаем, что Апофис относится к классу железных астероидов).

**Таблица 4**

Зависимость эффективных высот от мощности ядерного заряда

q [кТ]	25	500	10000
H [км]	-	2*10 <sup>12</sup>	34,75*10 <sup>10</sup>

2. Временной-1: заряд движется во встречном направлении к КТ и в необходимое время подрывается. При этом астероид тормозится, что ведет к увеличению времени пролета к Земле. За это время Земля уже «уйдет» от места столкновения, тем самым предотвратив катастрофу.

3. Временной-2: подрыв производится по направлению движения КТ, в точке траектории, которую он уже преодолел. Такая схема обеспечит ускорение КТ. Это означает, что астероид успеет пролететь момент вероятной встречи с Землей, избежав тем самым столкновения.

Стоит отметить, что задача изменения траектории КТ является комплексной задачей, поэтому сложность ее решения очевидна. Приведенные в статье оценки говорят о том, что решение задачи существует, но, к сожалению, не при данном уровне развития человечества. Например, при заряде  $q=10$  Мт необходимо пролетать расстояние в 890 раз превышающее максимальное расстояние от Земли до Марса! Следовательно, требуется время, чтобы человек освоил дальние космические полеты, отличную навигацию, а также создал совершенную систему мониторинга космического пространства. В совокупности эти аспекты обеспечат безопасность нашей Земли.

### Литература

1. Мухин К.Н. Введение в ядерную физику. М.: Атомиздат, 1974. 720 с.
2. Письменный Д.Т. Конспект лекций по высшей математике. Ч.2. 2-е изд., испр. М.: Айрис-пресс, 2003. 256 с.: ил.
3. [Сетевой ресурс]: сайт. URL: [www.meteoritics.ru](http://www.meteoritics.ru) (дата обращения: 10.04.2017).
4. [Сетевой ресурс]: сайт. URL: [ens.tpu.ru](http://ens.tpu.ru). (дата обращения: 18.03.2017).

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 65.012

### АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

### ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC CENTERS OF THE RUSSIAN FEDERATION

**Юрий Анатольевич Сытняк**

кандидат технических наук, доцент  
начальник научно-аналитического отдела  
ФГБНУ «Госметодцентр»  
Адрес: 117997, Москва, ул. Люсиновская, д. 51  
Тел.: +7 (499) 706-81-25  
E-mail: sytnyak@list.ru

**Юлия Владимировна Аляева**

кандидат технических наук  
заместитель начальника  
научно-исследовательского отдела  
планирования и координации программ и проектов  
ФГБНУ «Госметодцентр»  
Адрес: 117997, Москва, ул. Люсиновская, д. 51  
Тел.: +7 (499) 706-81-25  
E-mail: julaliaev@gmail.com

#### Аннотация

Предложен подход к обработке сведений об инновационной деятельности государственных научных центров Российской Федерации для определения путей дальнейшего инновационного развития ГНЦ РФ. Используются методы системного анализа и инфографического представления результатов.

**Ключевые слова:** научные центры, показатели инновационной деятельности, динамика изменения значений показателей, инфографика.

#### Summary

An approach to the processing of information on innovation activities of the State Scientific Centers of the Russian Federation is proposed, it helps to determine the ways of further innovative development of the State Research Center of the Russian Federation. Methods of system analysis and infographic presentation of results are used.

**Keywords:** scientific centers, indicators of innovation activity, the dynamics of changes in the values of indicators, infographics.

Достижение целей долгосрочного развития России предусматривается на основе перехода экономики на инновационную социально ориентированную модель. Ключевыми задачами Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года [1] определены формирование человеческого капитала, необходимого для инновационного развития, достижение резкого повышения инновационной восприимчивости экономики как в направлении модернизации технологических процессов, так и вывода на рынок принципиально новых продуктов, конкурентоспособных на мировом рынке.

Стратегия задает долгосрочные ориентиры развития субъектам инновационной деятельности, включая организации науки и предпринимательского сектора, среди которых особая роль в активизации коммерциализации научно-технических результатов отводится системе государственных научных центров Российской Фе-

дерации (далее – ГНЦ РФ), объединяющих 43 организации. ГНЦ РФ должны стать организационным, инфраструктурным центром внедрения и оказания услуг в сфере науки и технологий, в проведении межотраслевых исследований и разработок, создать «технологический коридор» для внедрения новейших разработок в различные сферы национальной экономики.

Динамику инновационного развития ГНЦ РФ можно выявить, используя результаты мониторинга результативности деятельности научных организаций, размещенных на портале Федеральной системы [2]. Среди всех 76 показателей, по которым ведется мониторинг, можно выделить 8 интегральных показателей, характеризующих инновационную активность научных организаций:

1. Количество созданных результатов интеллектуальной деятельности.
2. Количество использованных результатов интеллектуальной деятельности.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

3. Число малых инновационных предприятий (далее – МИП), созданных с участием организации.

4. Финансовая результативность научной организации от использования результатов интеллектуальной деятельности.

5. Число публикаций организации, индексируемых в международных информационно-аналитических системах научного цитирования (Web of Science, Scopus, Google Scholar).

6. Совокупная цитируемость публикаций организации, индексируемых в международных системах научного цитирования (Web of Science, Scopus, Google Scholar).

7. Совокупный импакт-фактор журналов, в которых опубликованы статьи организации.

8. Общее количество научных, конструкторских и технологических произведений.

Анализ показал, что в системе ГНЦ РФ наблюдается положительная динамика по созданию и выявлению охраноспособных результатов интеллектуальной деятельности (РИД). Если прирост соответствующего показателя по Российской Федерации за последний год в расчете на одного исследователя составляет чуть более 5%, то система ГНЦ РФ обеспечила прирост на 90%, что подтверждает факт приоритета деятельности ГНЦ РФ по созданию охраноспособных результатов и ориентированность на продвижение технологий, ведение инновационной деятельности, которая основана на использовании таких результатов и технологий.

Отметим, что в 2016 году ГНЦ РФ было создано около 2,0 тыс. РИД. 46,0% созданных РИД учтено в государственных информационных системах и 43,8% имеет государственную регистрацию и (или) правовую охрану.

Доля использованных РИД, в том числе подтвержденных актами внедрения или переданных по лицензионным договорам или договорам отчуждения, составляет 60,1% от всех созданных РИД в рамках научно-исследовательской деятельности ГНЦ РФ. При этом средний показатель использования РИД госсектора науки – около 40%. Из числа используемых РИД – 62,4% внедряются самими ГНЦ РФ, 25,7% передаются третьим лицам в пользование по лицензионному договору и только 0,1% передаются по договору от-

чуждения, в том числе, вносятся в качестве залога. Вклад ГНЦ РФ в создание и использование РИД всех научных организаций страны составляет 5,3% и 8,1% соответственно.

ГНЦ РФ акцентируют внимание на проблеме с совершением юридически значимых действий по реализации прав на результаты научно-технической деятельности (обеспечение правовой охраны РНТД, постановка на бухгалтерский и налоговый учет прав на РНТД в составе нематериальных активов, обеспечение поддержания действия патентов и т.п.), которая требует развития законодательства и рынка интеллектуальной собственности. Кроме того, в ряде случаев ГНЦ РФ не имеют право реализовывать собственные РИД ввиду того, что они носят закрытый характер. На современном этапе развития ГНЦ РФ разработка и реализация комплексных стратегий коммерциализации РИД является одним из наиболее актуальных вопросов.

На платформе ГНЦ РФ для реализации собственных инновационных проектов было создано 21 малое инновационное предприятие (МИП) (в 2015 году – 10), на которых занято 246 работников, совокупный доход МИП составил около 1 млрд. руб. (960,4 млн. руб.).

Анализ показал положительную динамику публикационной активности сотрудников ГНЦ РФ в 2016 году по сравнению с предыдущим годом: совокупный показатель числа публикаций вырос на 10,7%. Наибольший удельный вес приходится на публикации, индексируемые в РИНЦ, — 46,8%. Удельный вес публикаций, индексируемых в Web of Science и Scopus, составил 18,1% и 21,0% соответственно. Примерно та же структура распределения абсолютных и удельных значений (в %) наблюдается у показателя совокупной цитируемости публикаций организаций (рисунки 1).

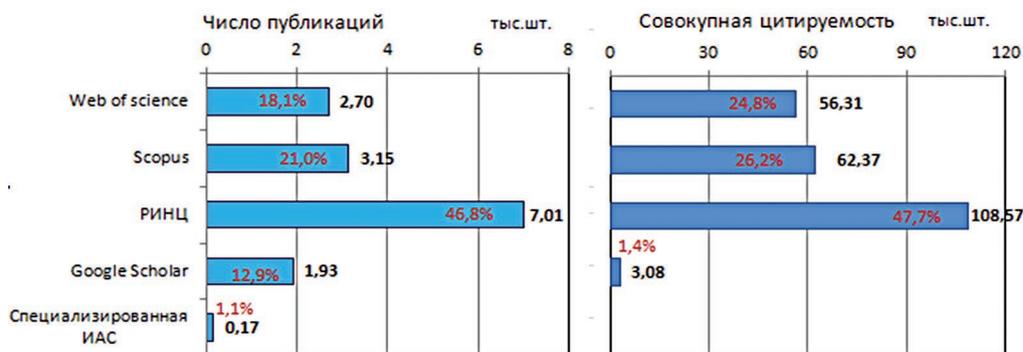


Рис. 1. Число публикаций и совокупная цитируемость публикаций ГНЦ РФ в 2016 году, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

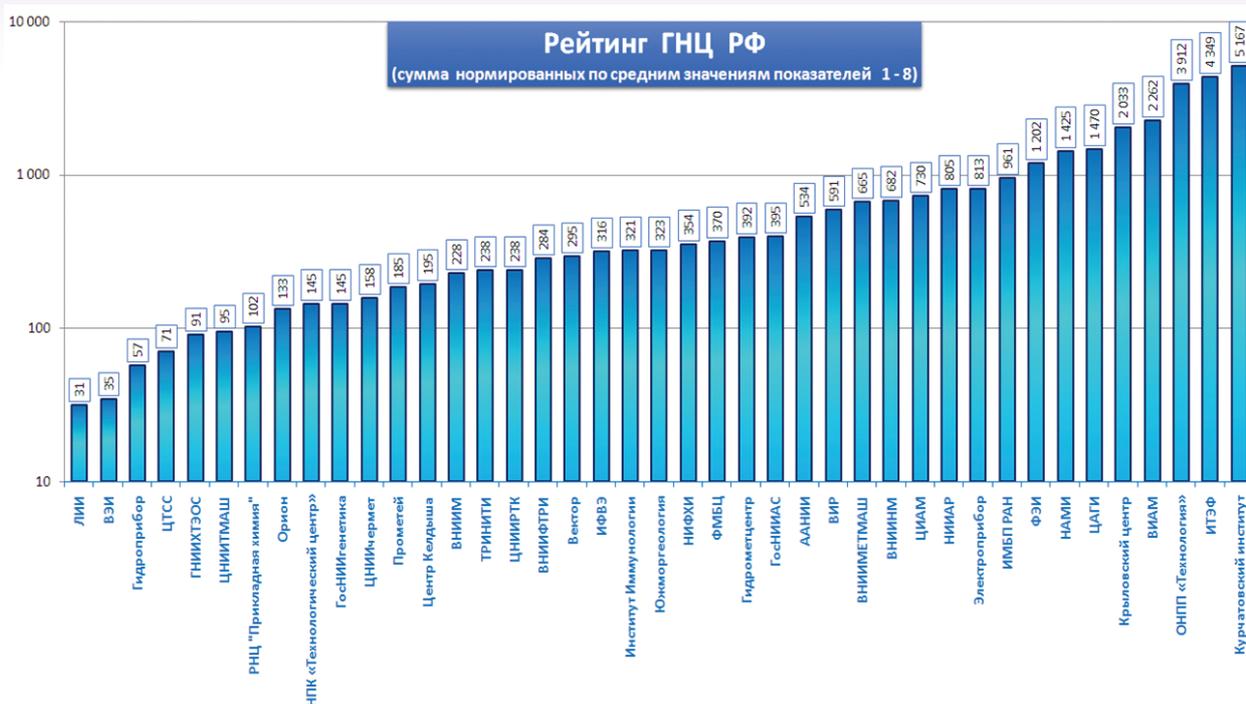


Рис. 2. Рейтинг ГНЦ РФ по агрегированному показателю инновационной деятельности в 2016 году

По сравнению с 2015 годом число публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science, увеличилось в абсолютном выражении на 4,5%, Scopus – на 31,7%. Вклад ГНЦ РФ в общероссийское число публикаций, индексируемых в базе данных Web of Science, составил 6,4%.

Вместе с тем наблюдается существенное снижение показателя совокупной цитируемости публикаций ГНЦ РФ: в базе данных Web of Science на 44,7%, Scopus – на 34,8%. Совокупный импакт-фактор журналов, в которых опубликованы статьи ГНЦ РФ, повысился на 5,8%.

Общее количество выпущенных в 2016 году сотрудниками ГНЦ РФ научных, конструкторских и технологических произведений – почти 25 тыс. шт, что примерно в 1,6 раза больше, чем в 2015 году. Более 19 тыс. шт. приходится на выпущенную конструкторскую и технологическую документацию, что составляет 12,0% данного показателя в целом по России.

Особый статус ГНЦ РФ и содержание выполняемых работ, являющихся в ряде случаев государственной или коммерческой тайной, не позволяют в полной мере использовать потенциал для развития публикационной активности. Количество неопубликованных произведений науки в 2016 году составило 3 496, что на 46,0% больше, чем в 2015 году.

Для построения рейтинга ГНЦ РФ по показателям инновационной деятельности проведено сопоставление указанных выше 8-ми показателей со средними значениями по всем ГНЦ РФ.

Для этого предложен агрегированный показатель – сумма отношений  $i$ -ых показателей  $z$ -ых ГНЦ РФ ( $a_i^z$ ) к средним значениям этих показателей для всех ГНЦ РФ

$$k^z = \sum_{i=1}^I \frac{a_i^z}{a_i^{CP}} \times 100, \quad i = 1 \dots I, \quad z = 1 \dots Z_{ГНЦ} \quad (1)$$

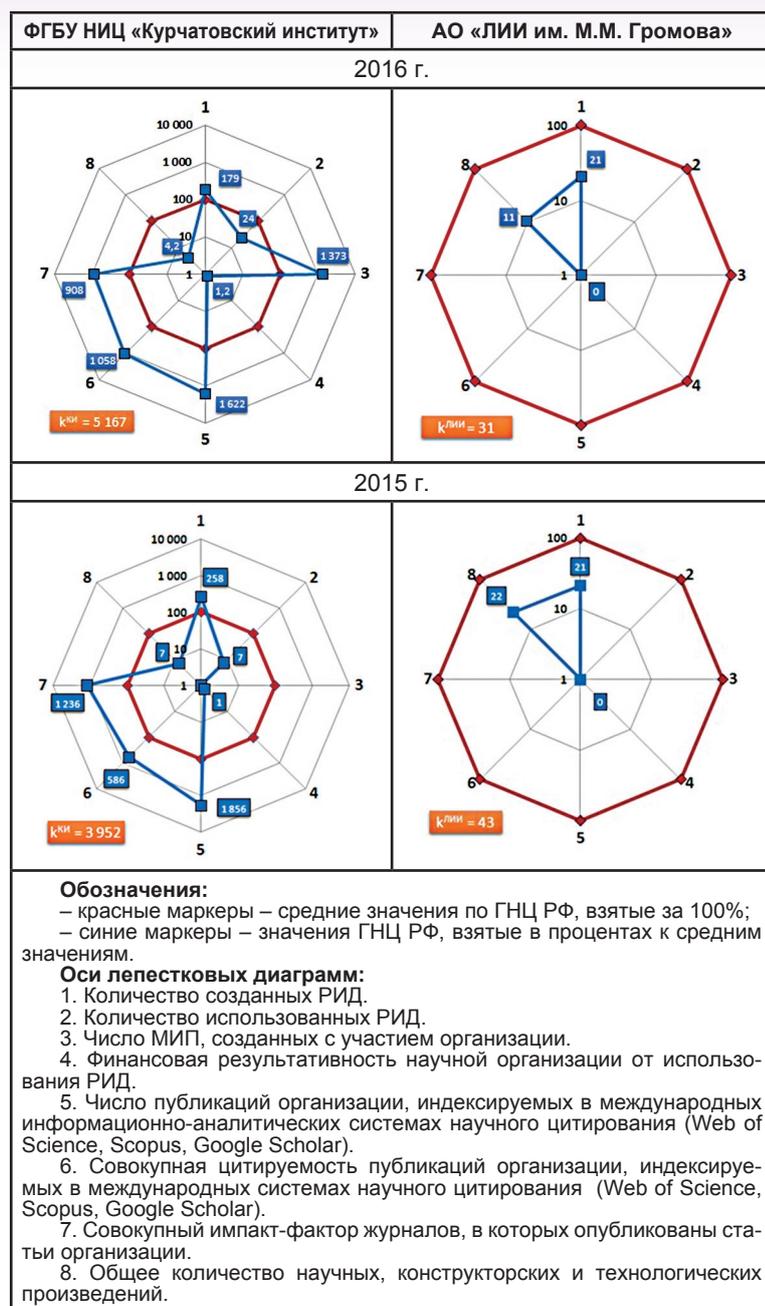
где  $I$  – общее количество показателей инновационной деятельности ГНЦ РФ ( $I=8$ );

$Z_{ГНЦ}$  – общее количество ГНЦ РФ, участвующих в мониторинге ( $Z_{ГНЦ} = 41$ ).

Итоговый рейтинг ГНЦ РФ по агрегированному показателю  $k_i^z$  в 2016 году представлен на рисунке 2.

Более глубокий анализ инновационного развития ГНЦ РФ может быть проведен с использованием методов системного анализа и инфографического представления результатов [3-10], в частности, лепестковых диаграмм. Так, если в качестве осей на диаграммах использовать 8 выше названных интегральных показателей (с сохранением их нумерации), можно получить диаграммы, характеризующие состояние инновационного развития по отдельным направлениям деятельности. Взяв в качестве примера деятельность ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» и АО «ЛИИ им. М.М. Громова» (расположившихся на крайних позициях рейтинга ГНЦ РФ на рисунке 2), были построены лепестковые диаграммы, на которых показаны средние значения показателей научных организаций в системе ГНЦ РФ, взятые за 100%, и показатели выбранных ГНЦ РФ, взятые в процентах по отно-

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ



**Рис. 3.** Диаграммы нормированных по средним значениям показателей инновационной деятельности ГНЦ РФ

шению к средним значениям (рисунок 3) по результатам мониторинга деятельности организаций в 2015 и 2016 годах.

По взаимному расположению красного и синего многоугольника на рисунке 3 можно судить о вкладе конкретной организации в результаты инновационной деятельности в системе ГНЦ РФ. Если синий многоугольник располагается снаружи красного, это означает, что организация относится к лидерам, и наоборот, расположение синего многоугольника внутри красного означает слабую позицию организации в системе ГНЦ РФ.

Как видно из *рисунков 2 и 3* показатели ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт», лидера в инновационной деятельности в системе ГНЦ РФ в 2016 году, превышают средние значения в 1,8–16,2 раза по 5-ти показателям из 8-ми.

Значения трех показателей предполагаются ниже средних значений ГНЦ РФ:

- количество использованных РИД – 7 ед. или 24% от среднего значения (29 ед.);
- финансовая результативность от использования РИД – 801 тыс. руб. (1,2% от среднего значения – 64,7 млн. руб.);
- общее количество научных, конструкторских и технологических произведений – 25 ед. (4,2% от среднего значения – 602 ед.).

Очевидно, что лидерские позиции ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт» в инновационной деятельности в дальнейшем могут укрепляться при акцентировании (или уточнении) результатов по указанным направлениям. В сравнении с предыдущим годом организация имеет существенный прогресс только по числу созданных МИП – увеличение с 0 до 7. Вместе с тем наблюдается снижение в абсолютном выражении количества созданных РИД (с 111 до 86 ед.), числа публикаций в Web of Science, Scopus, Google Scholar (с 3 392 до 3 082 ед.), совокупного импакт-фактора журналов, в которых опубликованы статьи организации (с 1 630 до 1 280 ед.). Таким образом, анализ динамики изменения оцениваемых показателей показывает, что и у лидера в инновационной деятельности в системе ГНЦ РФ наметился

ряд негативных тенденций.

Наихудший агрегированный показатель (1) – у АО «ЛИИ им. М.М. Громова» (*рисунок 2*). Он складывается из достаточно низких показателей: количества созданных РИД – 10 ед. и общего количества научных, конструкторских и технологических произведений – 64 ед., что составляет лишь 21% и 11% от средних значений по ГНЦ РФ соответственно (*рисунок 3*). По остальным 6-ти показателям организация, как и в 2015 году, имеет нулевые значения. В сравнении с 2015 годом количество созданных РИД увели-

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

чилось лишь на 1 ед. (10%), а общее количество научных, конструкторских и технологических произведений снизилось на 25%. Таким образом, значения оцениваемых показателей инновационной деятельности организации в системе ГНЦ РФ находятся на крайне низком уровне.

В целом, анализ динамики инновационного развития позволяет:

- выделить научные организации, относящиеся к лидерам или имеющие низкий уровень показателей (ведущий к снижению результатов деятельности всей системы ГНЦ РФ);
- выявить достоинства и недостатки конкретной научной организации в разрезе оцениваемых параметров;
- определить пути дальнейшего инновационного развития ГНЦ РФ.

### Литература

1. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 8 декабря 2011 г. № 2227-р.

2. Федеральная система мониторинга результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы, <http://www.sciencemon.ru/>.

3. Карулин В.П. Предложения по организационной структуре отраслевых инновационных центров оборонно-промышленного комплекса РФ // Современное непрерывное образование и инновационное развитие, 2014. С. 333-335.

4. Карулин В.П., Коновалов А.Я. Системный подход к формированию структурных механизмов управления инновационной деятельностью отраслей оборонно-промышленного комплекса // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук, 2014. № 4. С. 3-8.

5. Артамонов Ю.Н., Емелин Н.М. Методика выделения факторов, влияющих на целевые индикаторы проектов целевых программ // Известия Института инженерной физики, 2017. №2(44). С. 25-29.

6. Мелихов В.О. Алгоритм кластеризации наукоградов на основе корреляции показателей, характеризующих их инновационную деятельность // Двойные технологии, 2016. № 2. С. 66-69.

7. Сытняк Ю.А. Информационно-аналитическое обеспечение анализа деятельности государственных научных центров Российской Федерации // Стратегическая стабильность, 2016. № 2(75). С.17-22.

8. Емелин Н.М., Мелихов В.О. Инновационная деятельность наукоградов как фактор обеспечения стабильности экономики муниципального образования // Стратегическая стабильность, 2016. №1(74). С.42-49.

9. Емелин Н.М., Мелихов В.О. Многоуровневая оценка инновационного потенциала наукоградов // Известия Института инженерной физики, 2015. №4(38). С.102-106.

10. Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н., Мелихов В.О. Аналитический обзор деятельности научно-образовательных центров национальной нанотехнологической сети // Российские нанотехнологии, 2010. Т.5. № 11-12. С. 6-9.

УДК 687.1.004.12

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ И СОЗДАНИЮ СПЕЦИАЛЬНОГО КОМПЛЕКТА С СИСТЕМОЙ ЛОКАЛЬНОГО ЭЛЕКТРООБОГРЕВА ОДЕЖДЫ

### TECHNICAL PROPOSAL FOR THE DESIGN AND CREATION OF A SPECIAL KIT WITH A SYSTEM OF LOCAL ELECTRIC HEATING CLOTHES



#### Андрей Сергеевич Бутранов

старший научный сотрудник  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого  
(г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: 8 (4967) 72-19-11  
E-mail: varvsn-serp@mil.ru

#### Алексей Владимирович Назаров

кандидат технических наук  
заместитель начальника отдела  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: 8 (4967) 72-19-11  
E-mail: varvsn-serp@mil.ru

#### Аннотация

В статье представлено описание предлагаемых технических решений по созданию специального комплекта с системой локального активного электрообогрева в составе обмундирования военнослужащего для создания комфортных условий при выполнении частных задач в различных климатических зонах при низких температурах окружающей среды.

**Ключевые слова:** система электрообогрева, нагревательные элементы, комплект обмундирования, адаптивное температурное поле.

#### Summary

The article presents the description of proposed technical solutions to create a special kit with a system of local active heating part of the soldier outfit to create a comfortable environment when performing particular tasks in different climatic zones at low ambient temperatures.

**Keywords:** the electrical heating system, heating elements, a set of uniform, adaptive temperature field.

Выполнение различных частных задач военнослужащими в частях и подразделениях соответствующих климатических зон связаны с длительным пребыванием в условиях низких температур окружающей среды, что требует нормального функционирования организма за счет поддержания температуры тела в диапазоне комфорта.

Анализ существующих средств индивидуальной защиты от холода показал, что специальная одежда не полностью отвечает реальным условиям ее эксплуатации, требованиям комплексной защиты от большего количества вредных опасных климатических факторов. Выбор комплектности теплозащитной одежды не согласован с принципами и механизмами формирования ее теплоизоляции, так как отсутствуют исследования реальных условий эксплуатации за-

щитной одежды, а также сведения об основных тактических движениях и энергозатратах, производимых в течение времени нахождения на посту расчетов дежурных смен.

Специальное имущество военнослужащих должно обеспечивать возможность его непрерывной эксплуатации, как в полном комплекте разрабатываемой специальной одежды и обуви, так и поэлементно (раздельно) в весенне-летнем и осенне-зимнем периоде в холодном и особо холодном климате, в том числе при несении службы на открытом воздухе до шести часов при силе ветра более 15 м/с и температуре окружающего воздуха от плюс 5°C до минус 60°C.

Разрабатываемая система активного локального электрообогрева военнослужащего должна быть адаптирована для эксплуатации в различных климатических поясах (регионах) Рос-

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

сийской Федерации (рисунк 1) и может подразделяться по уровню теплозащитных свойств на четыре класса защиты (таблица 1):

- 1-й класс защиты – II-I климатические пояса (регионы III-IV);
- 2-й класс защиты – III климатический пояс (регион II);
- 3-й класс защиты – IV климатический пояс (регион IБ);
- 4-й класс защиты – «особый» климатический пояс (регион IA).

При длительном нахождении и выполнении работ на холоде без специальной одежды, наблюдается снижение производительности труда, возможно переохлаждение организма. В связи с этим технические решения по разработке и изготовлению обогреваемой одежды носят актуальный характер. При этом обогреваемая одежда должна быть удобной в эксплуатации и не снижать работоспособность военнослужащих, обеспечивать доступность и простоту регулировки режимов обогрева.

**Таблица 1.** Метеорологические условия в различных климатических поясах

Класс	Климатический пояс (регион)	Средняя температура зимних месяцев, °С	Наиболее вероятная скорость ветра, м/с
4	«Особый» (IA)	- 25	6,8
3	IV (IБ)	- 41	1,3
2	III (II)	- 18	3,6
1	II-I (III)	- 9,7	5,6



**Рис. 1.** Климатические пояса (регионы) Российской Федерации

Варианты выполнения обогреваемой одежды представлены на рисунке 2.

Предлагается адаптивная активная система электрообогрева, позволяющая уменьшить количество слоев одежды и создавать комфортные условия в зависимости от активности человека и условий окружающей среды. Комплект с электрообогревом позволяет реализовать адаптивное температурное поле с учетом физиологических показателей человека.

В состав комплекта входят следующие составные части:

- жилет, с размещенными нагревательными элементами на основе кабеля или ткани из электропроводящих волокон;
- аккумулятор и блок управления режимами обогрева с регулировкой мощности.

Технические характеристики:

Мощность системы обогрева – не менее 40 Вт.

Изменение мощности обогрева – 0, 25%, 50%, 100%.

Источник питания – литий-ионная АКБ.

Время работы на максимальной мощности – не менее 4 часов.

Разработка защищена патентом №166533, приоритет от 10.08.2015 г., опубликован 27.11.2016 г.

Таким образом, применение средств электрообогрева в качестве дополнительного слоя комплекта обмундирования позволяет уменьшить количество носимой одежды для комфортного состояния человека в условиях холода. Регулировка режимов обогрева обеспечивает возможность изменения теплового комфорта при различной интенсивности физической деятельности

и комплекта полевой обмундирования. Такие функции позволяют облегчить проведение работ, также не требуется снимать или надевать дополнительные элементы одежды при быстрых перемещениях из теплой зоны в холодную (помещение – улица).

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

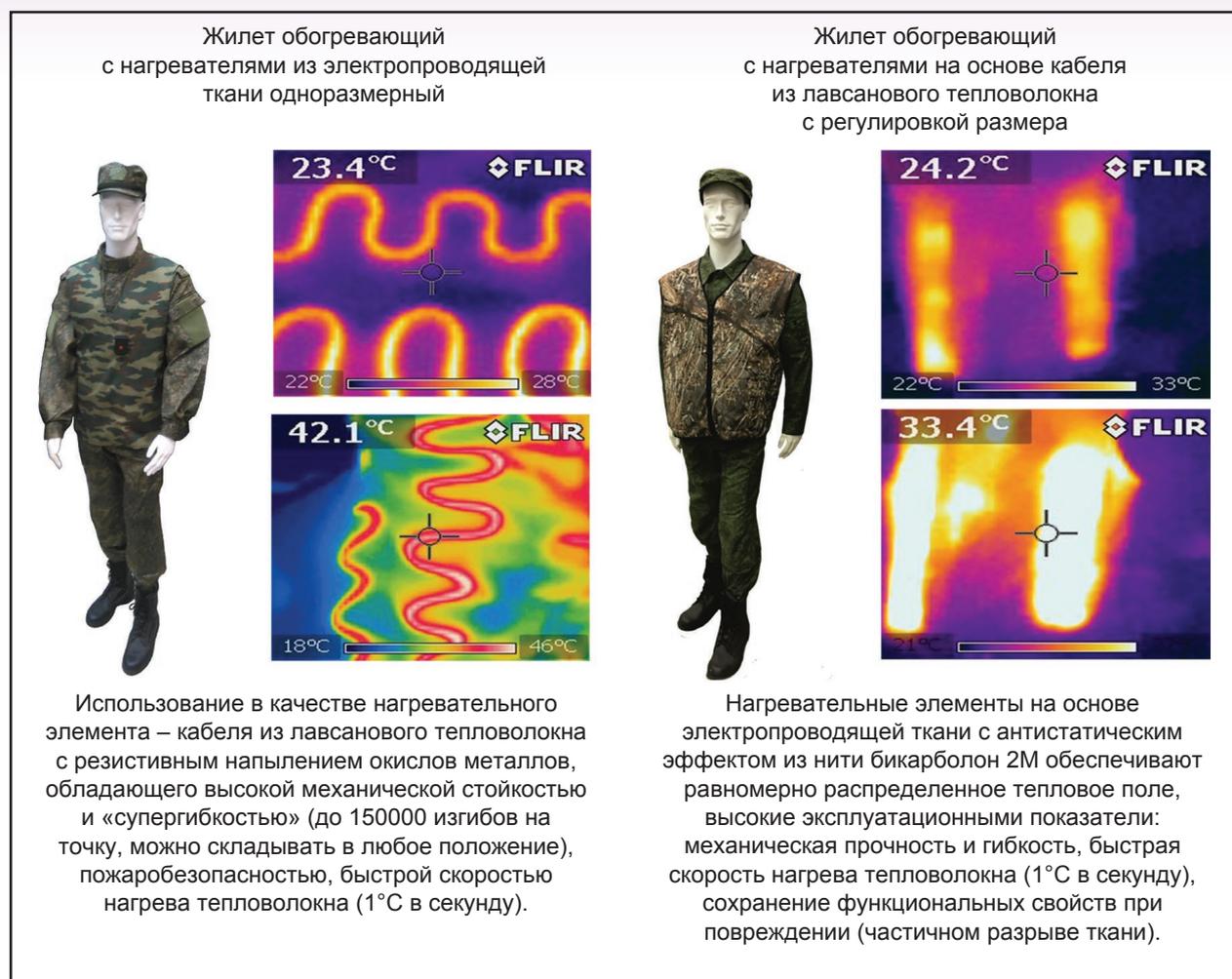


Рис. 2. Варианты выполнения обогреваемой одежды

### Литература

1. ГОСТ Р 12.4.236-2011 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от пониженных температур». Технические требования.

2. Методические рекомендации МР 2.2.8.2127-06 «Гигиенические требования к теплоизоляции комплекта средств индивидуаль-

ной защиты от холода в различных климатических регионах и методы ее оценки».

3. Михайлова В.Н. Физиолого-гигиеническая оценка спецодежды для защиты от пониженных температур // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2011. С.127-135.

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

УДК 60; 61

### ПОИСК И УСКОРЕНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ПРОРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ – КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ОСНОВА РАБОТЫ ЭКСПЕРТОВ СЕКЦИИ МЕДИКО- БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ОБОРОНЫ ЭКСПЕРТНОГО СОВЕТА КОМИТЕТА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ДУМЫ РФ ПО ОБОРОНЕ

### THE SEARCH AND ACCELERATION OF THE INTRODUCTION OF BREAKTHROUGH TECHNOLOGIES IS THE CONCEPTUAL BASIS FOR THE WORK OF THE EXPERTS OF THE MEDICAL AND BIOLOGICAL DEFENSE ISSUES SECTION OF THE EXPERT COUNCIL OF THE STATE DUMA COMMITTEE ON DEFENSE

#### Валерий Кузьмич Курочка

*заслуженный врач Российской Федерации  
заслуженный врач Республики Бурятия  
академик Академии проблем безопасности,  
обороны и правопорядка  
кандидат медицинских наук, профессор  
генерал-майор медицинской службы в  
отставке  
руководитель Секции медико-биологических  
проблем обороны  
Экспертного совета Комитета  
Государственной Думы РФ по обороне  
советник Президента МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(985)999-18-23  
E-mail: kvk1942@mail.ru*

#### Аннотация

В статье рассматриваются направления деятельности и задачи, стоящие перед экспертами недавно созданной Секцией медико-биологических проблем обороны Экспертного совета Комитета Государственной Думы РФ по обороне, решение которых направлено на поиск и ускорение внедрения в практику прорывных инновационных медицинских технологий для повышения эффективности системы здравоохранения России, обеспечения Вооруженных сил РФ современным медицинским оборудованием и препаратами, укрепления биологической безопасности страны.

**Ключевые слова:** поиск, ускорение внедрения, модернизация здравоохранения, биомедицина, биотехнологии, инновационное развитие здравоохранения.

#### Summary

The article discusses the activities and tasks of the experts of the newly established Section of medical-biological problems of defense of the Expert Council of Committee of the State Duma of the Russian Federation on defense, the solution of which is aimed at finding and accelerating the introduction of breakthrough medical technologies to improve the efficiency of the health system of Russia, support of the Armed Forces of the Russian Federation modern medical equipment and medicines, strengthening biological security of the country.

**Keywords:** search, acceleration of implementation, modernization of health care, biomedicine, biotechnology, innovative development of health care.

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

*«И в авиации, и в других сферах, которые являются критически важными для развития России, нам нужны именно свои разработки и компетенции. Надо их восстанавливать или развивать заново. Это передовые производственные технологии и материалы, системы информационной безопасности, технологии освоения Арктики и шельфа, современные системы диагностики и лечения» [1].*

**Президент Российской Федерации В.Путин**

*«Начавшееся столетие определено международными экспертами как «столетие биомедицины». Бурное развитие получили клеточные, генно-инженерные, иммунобиологические технологии. Активно разрабатываются методы терапевтического клонирования.*

*Развиваются технологии адресной доставки лекарств. Внедряются реабилитационные кибер-системы и нейрокомпьютерные интерфейсы. Все это меняет привычный облик медицины, раздвигает рамки ее возможностей, делая ее персонализированной, высокоспецифичной и эффективной.*

*Инновационная деятельность в государстве рассматривается сегодня как механизм реализации государственной политики в повышении эффективности системы здравоохранения на основе вышеперечисленных достижений медицины, биологии и технических наук» [2].*

**Министр здравоохранения РФ В.Скворцова**

В настоящее время повышается уровень выполняемых медицинских научных исследований, но отсутствие действенных механизмов внедрения в практику отечественных инновационных технологий и продуктов приводит к тому, что разработанные новые медицинские технологии и механизмы организации здравоохранения, позволяющие сократить затраты на лечение больных, остаются нереализованными и применяются только в научных организациях, разработавших их. В чем же причина? Все прекрасно знают, что надо делать, научная мысль ясно понимает, в какую сторону надо двигаться,

и мы в нашей науке имеем достижения на мировом уровне, а по отдельным направлениям и значительно превышаем его. Но вся эта работа пока не носит системного характера и развивается только на отдельных хорошо финансируемых направлениях. Пока экономика не перешла на перспективный инновационный путь развития и развивается за счет закупок у иностранных производителей необходимых нам для решения задач в системе здравоохранения лекарственных средств, современного медицинского оборудования и биомедицинских препаратов.

К сожалению, не все достижения фундаментальной и прикладной науки сегодня технически реализуемы. Связано это с экономическими, финансовыми, организационными и политическими возможностями государства, а также теми противоречиями, которые объективно возникают в научно-технической, производственной и административной сферах. На результаты работы влияет и значительное пока еще отставание России на мировом рынке биотехнологий<sup>1</sup>. Причиной тому является низкое финансирование отрасли, отсутствие производства собственного оборудования, недостаточное количество квалифицированного персонала<sup>2</sup>. Если не уделить этому направлению должного внимания сегодня, то разрыв будет непреодолим.

Еще один фактор, который препятствует развитию отечественной биомедицины сегодня – это отсутствие в России четкого федерального закона о клеточных технологиях и других законодательных актов, способствующих развитию этого важнейшего для страны направления развития. Многим экспертам, да и, думаю, передовой части населения страны до сих пор непонятно, почему в стране сложилась такая недостаточная профессиональная оценка сложности ситуации в этом направлении. На мой взгляд военного специалиста-врача, отношение к развитию биоинноваций сегодня должно быть совершенно иным, более комплексным и целенаправленным, особенно по тем направлениям, по которым уже долгие годы и небезуспешно работает наш потенциальный противник. Тем более, что в стране огромный потенциал научной мысли и огромный опыт работы в научно-исследовательской деятельности по всем направлениям науки.

Почему мы не можем понять простую истину, что безопасность населения под серьезной

<sup>1</sup> Лидерами по производству и потреблению продукции биотехнологий в мире являются США, Канада, Япония и государства Европейского Союза. Сегодня программы развития по биотехнологиям уже начали успешно реализовывать Китай, Индия и Бразилия. Доля России на мировом рынке биотехнологий на сегодняшний день пока составляет менее 0,1%. Такие продукты как биоразлагаемые материалы и биотопливо вообще у нас не производятся. Примерно 80% биотехнологической продукции, потребляемой в России, импорт [3].

<sup>2</sup> Отдельные эксперты утверждают, что отставание составляет порядка 15-20 лет [3].

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

угрозой, а адекватной реакции по защите населения страны от современной биологической угрозы практически нет. Необходимо комплексно и в кратчайшие сроки решить эту проблему, разбив ее на составляющие задачи, определить сроки и жестко вести контроль их выполнения, усилив персональную ответственность. Пришла пора также, как страна ушла с «нефтяной иглы», уходить с «иглы» использования зарубежных биоинноваций, разрабатывать и осваивать собственные прорывные технологии в отечественной биомедицине и постепенно прекращать тратить государственные деньги на закупки зарубежных инновационных продуктов, поддержку иностранной науки и иностранных производителей. Эти средства необходимо направить на развитие отечественной науки и производства. В истории нашей страны были времена и хуже, но отечественная наука, рабочие и специалисты не подводили страну и всегда выходили победителями.

Наш вероятный противник не снижает темпов в развитии биомедицинских технологий и целенаправленно готовится к применению биологического оружия и первым государством в качестве цели его применения, по данным многих источников, будет Россия. На мой взгляд, уже нельзя не замечать, что активизировались внешние угрозы военной безопасности России.

На первый план в глобальной системе военно-политических отношений выходит противодействие новым вызовам, стимулированным процессами глобализации. В их числе – доступность и распространение оружия массового поражения и средств его доставки, международный терроризм, этническая нестабильность, деятельность радикальных сообществ и группировок, наркоторговля и организованная преступность. Происходит дальнейшая экономизация внешнеполитических приоритетов государств. Экономические интересы выходят на первый план по сравнению с политическими и военно-политическими. Если раньше основанием для принятия решения об использовании военных средств служило наличие прямой военной угрозы безопасности того или иного государства, то сейчас военная сила все чаще применяется для обеспечения экономических интересов той или иной страны, отсюда – желание многих политических субъектов установить хотя бы частичный контроль над огромной территорией нашей страны с ее огромными запасами полезных

ископаемых и биоресурсов<sup>3</sup>. Все это объективно расширяет сферу внешнеполитической востребованности Вооруженных сил РФ.

Очевидно, что Россия в силу своего и геополитического положения, и традиционного влияния на мировые процессы, обладая высоким ядерным потенциалом, не может оказаться на обочине международных военно-политических отношений.

В настоящее время ни одно государство мира не заявляет открыто о намерении воевать против России. Но этот факт еще не говорит об отсутствии угроз безопасности страны. Бесконечные международные экономические санкции против России, открытое и наглое приближение вооруженных группировок НАТО к границам России, размещение ядерного оружия в странах Европы и на многочисленных военных базах НАТО вблизи государственных границ России с проведением многочисленных военных учений, где условным противником для солдат НАТО открыто рассматривается русскоговорящее население, наконец, развертывание многочисленных биологических лабораторий, прежде всего США, на территории Грузии, Украины (более двух десятков), Азербайджана, Узбекистана, Казахстана и даже России, наличие различных зарубежных эмиссаров и представителей НКО, финансируемых из-за рубежа, в том числе и фондом Сороса, – все это реальность. Все это говорит о том, что процесс усиления военной угрозы против России запущен и сегодня носит системный и открытый характер. По сути, против России ведется война. К традиционным – дипломатической, идеологической, экономической сегодня следует добавить крайне опасную по своим непредсказуемым последствиям войну биологическую. Потому укрепление биологической безопасности страны – задача крайне актуальная.

На мой взгляд, срочно надо принимать такие меры, как в свое время приняли в СССР, создав ядерное оружие, на долгие годы обеспечившее политику сдерживания от военной угрозы со стороны любого враждебного нам государства. Нечто подобное, по-видимому, необходимо создавать и в системе сдерживания в направлении биологического оружия, создавать эффективные системы защиты от него, системы исключения его применения противником, системы нейтрализации последствий влияния на человека, учитывая генетические особенности того или иного этноса.

<sup>3</sup> Как известно, Россия владеет примерно 15-20% мировых прогнозируемых запасов нефти, 42% мировых запасов газа, 43% запасов угля, 25% мировых запасов древесины, имеет самую большую в мире государственную границу (наши соседи – 13 стран мира), выход к трем океанам, ее территорию омывают 12 морей [4].

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

В этих условиях Государственная Дума РФ седьмого созыва, как представительный и законодательный орган власти в стране, не может оставаться в стороне от решения проблем, прямо или косвенно влияющих на вышеизложенные проблемы. Руководство Комитета Государственной Думы РФ по обороне (далее – Комитет), понимая то, что военная угроза России выходит на новый виток своего развития, включает уже и угрозу биологической войны, формирует в структуре Экспертного совета Комитета новую для него структуру – Секцию медико-биологических проблем обороны (далее – Секция) с целью оказания консультативной помощи депутатам в законодательской деятельности, направленной на развитие передовых технологий медицинской науки и внедрение на их основе инновационных продуктов, обеспечивающих сохранение жизни и здоровья населения страны и личного состава ее силовых структур.

Одна из главных задач, поставленных перед экспертами Секции, – это поиск и ускорение внедрения, продвижение на законодательном уровне инновационных продуктов и технологий, как новых в научном плане, так и уже применяемых и имеющих высокую эффективность, но по разным причинам не используемых в системе обеспечения силовых структур государства. Для этого в Комитете разрабатывается инновационная политика, определяющая цели инновационной стратегии и механизмы поддержки приоритетных инновационных программ и проектов. Ведь до настоящего времени в нормах снабжения и на мирное, и на военное время определены морально и физически устаревшие технические средства оказания первой и доврачебной помощи раненым<sup>4</sup>.

В Комитете по обороне хорошо понимают, что разработка действенной системы поиска и внедрения результатов медико-биологической науки в практику – проблема очень серьезная и сложная (учитывая бюрократическую систему внедрения в жизнь любых инноваций), требующая концентрации усилий не только депутатов ГД РФ и экспертов Комитета, но и научных коллективов, представителей бизнеса и других государственных органов власти, включая Правительство РФ и Совет Безопасности России. Ее решение зависит от многих факторов. Эффективность внедрения инновационной идеи (даже самой передовой) зависит не только от ее наличия. Эта идея должна быть актуальна для стра-

ны и ее Вооруженных сил. Ее реализация должна опираться на отечественные технологии и сырье. Нужны подготовленные кадры как для развития инновационной идеи, так и для производства продукта и его вывода на рынок. Продукт должен быть конкурентоспособен по сравнению с импортными аналогами, иметь низкую себестоимость. Наконец должны быть производственные мощности для изготовления инновационного продукта в достаточных для страны объемах. Изучением этих обстоятельств и занимается в настоящее время эксперты Секции с тем, чтобы сформировав предложения для депутатов Комитета, обеспечить законодательную поддержку российским научно-исследовательским и производственным коллективам в этом направлении деятельности.

Сегодня можно утверждать, что инновационная деятельность в здравоохранении вообще и, в военном здравоохранении в частности, характеризуется, к сожалению, размытостью приоритетов, низким уровнем инновационного потенциала (за исключением профильных научно-исследовательских учреждений), и особенно, слабостью внедрения результатов научных исследований. Проведенная в течение этого года работа экспертов Секции по отдельным проблемным вопросам, длительное время не решаемым, показывает, что этот процесс чаще всего затягивается по причине недостаточных знаний специалистов об отечественных запатентованных разработках и отечественных технологиях, инновационных продуктах. Причина такой неинформированности – отсутствие единой доступной базы данных по готовым и успешно применяемым в России инновациям. Но не только это. Также опыт нашей работы с сегодняшними руководителями показывает слабую их заинтересованность в отечественных инновациях, наличие у них убежденности в том, что отечественный продукт заведомо хуже по эффективности и качеству зарубежного. Отсутствует желание информационного обмена между авторами инноваций, их разработчиками и руководящим составом медицинской службы силовых структур. «Нежелание перемен» – таков, к сожалению, лейтмотив, поведения многих руководителей. Отрицательное влияние на процессы внедрения отечественных инноваций, по мнению отдельных руководителей медицинских учреждений и научно-производственных комплексов, оказывает и избыточно стандартизация,

<sup>4</sup> В том числе применявшиеся еще во время Первой мировой и Великой Отечественной войн (шины Дитерихса, жгуты Эсмарха и др.). Конечно, такие простые средства могут быть нужны, но только в качестве дополнения к современным.

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

«заорганизованная» работа ЛПУ и ВГ МО РФ, что порой делает невозможным использование новых медицинских технологий, наличие барьеров между административными подразделениями как в самих медицинских учреждениях, так и на уровне управлений здравоохранения, отсутствие межведомственного взаимодействия, дисбаланс ответственности и полномочий.

Можно назвать еще ряд причин, мешающих ускорению инновационного процесса. Но одной из главных на сегодняшнем этапе, по мнению экспертов Секции, является отсутствие четкого и единого нормативного документа, регламентирующего продвижение и внедрение отечественных инновационных разработок в практическое здравоохранение Российской Федерации. Только при наличии такого документа тезис о «импортозамещении» Правительства России может начать реализовываться. Эксперты указывают также на отсутствие у исследовательских организаций и в коллективах ученых навыков, опыта и денежных средств для подготовки научно-технической документации на клиническую апробацию и получения разрешительных документов на инновационную разработку. Дефицит профессиональных кадров в сфере маркетинговых и консалтинговых услуг в здравоохранении также существенно влияет на развитие инновационной деятельности в нашей стране.

Необходимо сформировать видение и концепцию создания отечественного инновационного пространства и его базисные элементы. Нужна полная инновационная инфраструктура, включающая институты разработчиков и потребителей инноваций, нормативно-правовую базу, образовательную среду, коммуникативные механизмы и технологии внедрения инноваций в практику, особенно в практику военного здравоохранения.

Нам представляется целесообразным начать с разработки Регламента организации работ по анализу и отбору предлагаемого к внедрению инновационного продукта, обеспечивающего открытость, достоверность и независимость этих работ. Следует исключить возможность влияния конфликта интересов на объективность профессиональных суждений экспертов. К сожалению, в последнее время сложилась и продолжает укореняться негативная практика управления, когда все больше в государственных управленческих структурах руководители имеют не высокопрофессиональные специальные знания и опыт работы по занимаемой должности при наличии необходимых экономических (в частности, бухгалтерских) знаний, а являются, по сути, бухгалтерами без технических и специальных знаний.

Поэтому их так называемые «профессиональные оценки» тех или иных проектов, рассматриваемых на заседаниях Секции, вызывают конфликтные ситуации.

В практической деятельности экспертов Секции при оценке предлагаемых для решения задач медицинского обеспечения ВС РФ проектов и продуктов учитывается наличие так называемых «прорывных» технологий или идей. «Прорывные инновации» – это инновации, которые открывают новый технологический цикл инноваций, предназначение которых не в том, чтобы развивать существующую и устоявшуюся базовую технологию, а в том, чтобы полностью сменить эту технологию и кардинально изменить ситуацию в этом направлении. При этом сам продукт не главное – нам нужны в первую очередь идея технологии, идея продукта и главное – правила создания инновационной технологии. К примеру, с реализацией проекта по разработке и созданию отечественной конъюгированной полисахаридной многокомпонентной пневмококковой вакцины мы осваиваем новейшие технологии и правила создания этого, пока еще не существующего в России, отечественного способа производства технологически и технически сложнейших продуктов – пневмококковых вакцин. Освоив эту новую для России технологию, мы одновременно ликвидируем технологическое и техническое отставание России по разработке и производству этого инновационного продукта, стратегически важного для безопасности населения страны и получаем так необходимую вакцину отечественного производства в любых объемах и без зависимости от зарубежных производителей.

Необходимо также понимать, что «новизна» продукта не является обязательным критерием инновационности. Результат интеллектуальной деятельности может быть получен десятилетия назад, но он *становится инновацией лишь в тот момент, когда начнет работать как фактор конкурентного преимущества. Именно этот показатель позволяет нам судить об инновационной ценности полученной новой технологии продукта. Именно «ценность на данном отрезке времени – критерий инновационности продукта, а инновационность, в свою очередь, определяет критерий ценности полученной технологии или продукта».* Примером может послужить разработанный еще в советское время отечественный универсальный кровоостанавливающий препарат «Желпластан», который длительные годы на практике доказал, что это – высокоэффективный для остановки кровотечений различной этиологии (капиллярных, венозных, артериальных,

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

наружных и внутренних) препарат<sup>5</sup>. Эту простую истину нам приходится отстаивать. Мы и дальше будем поддерживать отечественные эффективные технологии и продукты.

Как показывает мировой опыт, для выхода на новый инновационный уровень необходима, прежде всего, радикальная реструктуризация инновационной сферы, модернизация ее управления и финансирования, создание объективных методов прогнозирования научно-технического развития с учетом рыночного спроса. Этим задачам в полной мере отвечает Национальная технологическая инициатива, предложенная Президентом России Владимиром Путиным в Послании Федеральному собранию 4 декабря 2014 года. Как отмечает Президент РФ, «на основании долгосрочного прогнозирования необходимо понять, с какими задачами столкнется Россия через 10-15 лет, какие передовые решения потребуются для того, чтобы обеспечить национальную безопасность, высокое качество жизни людей, развитие отраслей нового технологического уклада». В настоящее время на базе Агентства стратегических инициатив идет напряженная работа по определению направлений реализации этой инициативы. В соответствии с указанием главы государства, предстоит «построить матрицу, в которой рынки пересекаются с технологиями». «Мы хотим, – подчеркивает Президент – первичными считать рынки, а не технологии. Затем на этой основе появятся дорожные карты, которые должны включать в себя уже конкретные заказы на новые разработки». С учетом этого Президент дал указание «объединить усилия проектных, творческих команд и динамично развивающихся компаний, которые готовы впитывать

передовые разработки, подключать университеты, исследовательские центры РАН, Минздрава России, ФМБА России и другие крупные деловые объединения страны». Сформулированы важнейшие научно-технические направления, имеющие базовый, межведомственный и системообразующий характер для всей экономики страны. В комплексе эти направления формируют основы так называемой четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0), которая позволяет выйти на новый уровень качества и производительности.

На вышеизложенных концептуальных позициях ученые и эксперты Секции медико-биологических проблем обороны Экспертного совета Комитета Государственной Думы РФ по обороне и организуют свою деятельность в объеме и по направлениям, указанным нам законами Российской Федерации, Президентом РФ и Председателем Комитета Государственной Думы РФ по обороне.

### Литература

1. Путин В.В. Доклад на пленарном заседании XXI Петербургского международного экономического форума ПМЭФ-2017 (<http://www.kremlin.ru/events/president/news/54667>).
2. Скворцова В.И. Доклад на конференции «Инновации в здравоохранении России», 2011. Санкт-Петербург.
3. Беляков В.К. Инновационные пути здравоохранения // Национальные проекты, 2008. №6. С.62-65.
4. Сибурин Т.А. Управление здравоохранением: о путях перехода к инновационно-стратегической модели развития // Менеджмент и бизнес-администрирование, 2007. №2. С.63-69.

<sup>5</sup> Применяется не только в стационарах, но и при оказании первой помощи в экстренных случаях при ДТП, в ЧС и пожарах, особенно необходим при оказании первой медицинской помощи на поле боя или в очагах массовых санитарных потерь. Значительно сокращает сроки заживления ран. «Желпластан» разработан в СССР в 1968 году в Центральной научно-исследовательской лаборатории 2-го Московского ордена Ленина Государственного медицинского института им. Н.И.Пирогова, регистрационное удостоверение № ЛСР- 004765/07. Формула (состав) желпластана простая: плазма крови крупного рогатого скота; канамицин-моносulfат и желатин пищевой. Препарат имеет Всероссийский сертификат и Патент на изобретение (группа авторов с В.С. Богдановым). Включен в перечень жизненно необходимых и важных лекарственных средств. Введен в номенклатуру резерва Минздрава России для ЧС. Введен в номенклатуру табельного оснащения тыловых госпиталей Минздрава РФ. Экономически эффективен, так как на порядок отличается по стоимости от закупаемых зарубежных аналогов, а также уменьшает или полностью исключает потребность в донорской крови и плазмозамещающих жидкостях, позволяет экономить средства на лечении послеоперационных осложнений и другие преимущества. Тем не менее, министерства и ведомства РФ продолжают закупать зарубежные аналоги, которые в 2-4 раза дороже этого отечественного препарата, мотивируя свое решение тем, что он разработан 15 лет назад и морально устарел. Главный аргумент оппонентов состоит в том, что в состав препарата входит антибиотик Канамицин, а сегодня в арсенале антибиотикотерапии применяются более современные виды. Но мы понимаем, что для нас важен не столько препарат, сколько идея отечественной технологии его производства, идея самого продукта, и самое главное – правило создания инновационной технологии этого отечественного продукта, а заменить устаревший антибиотик при наличии собственной технологии, не является проблемой.

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 621.4

### К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ОКР ПО СОЗДАНИЮ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ

### TO THE QUESTION OF THE EVALUATION OF FEASIBILITY DEVELOPMENTAL WORK TO DEVELOP ADVANCED AUTOMATED CONTROL SYSTEM ARMY

**Андрей Александрович Мунтяну**

кандидат технических наук  
младший научный сотрудник  
4 ЦНИИ Минобороны России  
Адрес: 141091, Московская обл., г. Королев,  
мкр. Юбилейный, ул. М.К.Тихонравова, д. 29  
Тел.: 8(495)515-11-85  
E-mail: andreysv90@mail.ru

**Геннадий Николаевич Рассохин**

кандидат технических наук, старший научный  
сотрудник  
старший научный сотрудник  
4 ЦНИИ Минобороны России  
Адрес: 141091, Московская обл., г. Королев,  
мкр. Юбилейный, ул. М.К.Тихонравова, д. 29  
Тел.: 8(495)515-11-85

#### Аннотация

В статье раскрыты методические особенности оценки реализуемости опытно-конструкторских работ по созданию перспективной автоматизированной системы управления войсками. В качестве перспективных направлений оценки реализуемости работ рассматриваются аспекты применения теории рисков. Оцениваемые показатели могут быть применены при выборе рационального варианта развития автоматизированной системы управления войсками и принятии решения о задании опытно-конструкторской работы.

**Ключевые слова:** реализуемость, опытно-конструкторская работа, автоматизированная система управления, результаты выполнения работы.

#### Summary

The article deals with methodical features assess the feasibility developmental work to develop advanced automated control system army. As promising areas of evaluating the feasibility of the work deals with the aspects of application of risk theory. Measured values can be applied in the selection of a rational variant of the automated control system army and deciding on the job of developmental work.

**Keywords:** feasibility, developmental work, automated control system, results of work.

Разработка больших систем, в том числе автоматизированных, связана, как правило, с необходимостью вклада и использования значительных финансовых средств и организационных ресурсов. Процесс создания иерархических многоуровневых автоматизированных систем управления войсками (АСУВ) занимает несколько лет.

В связи с этим, в условиях ограниченного финансирования оборонных заказов для предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК), возникает необходимость в разработке механизма, позволяющего оценивать показатель реализуемости опытно-конструкторских работ (ОКР), в рамках которых создаются научно-технический (в том числе и инновационный) задел с приемлемым временем реализации [1] и соответствующие технические средства, а также управлять процессом создания систем.

Проводимая оценка такого показателя долж-

на быть чувствительной к отдельным параметрам, характеризующим ОКР, и наряду с показателями возможных качественных обликов АСУВ и стоимости их создания приниматься во внимание при выборе рационального варианта развития АСУВ по критерию «эффективность-стоимость-реализуемость».

Для конкретизации примем следующие условия, ограничения и допущения:

- до начала ОКР несколько лет, т.е. ОКР гипотетическая, но требуется оценка реализуемости по данным, которые известны на настоящий момент или их можно спрогнозировать;
- качественный облик создаваемой АСУВ  $\{X^{АСУВ}\}$  определен, т.е. техническое задание (ТЗ) на ОКР уже сформировано;
- плановые этапность, стоимость и продолжительность как всей ОКР, так и ее отдельных этапов определены и обоснованы;

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

- количество выделенных финансовых ресурсов на выполнение ОКР соответствует их требуемому количеству.

Авторами выбраны три основных свойства ОКР, важные для Заказчика с точки зрения реализуемости:

- выполненный объем работ –  $V^{вып}$ ;
- качество выполненных работ (соответствие конечных результатов выполнения работ требованиям ТЗ) –  $K^{вып}$ ;
- своевременность выполнения работ –  $T^{вып}$ .

Исходя из данных свойств, под показателем реализуемости  $P^{ОКР}$  будем понимать вероятность достижения в полном объеме планового результата ОКР за время, не превышающее заданное. В обобщенном виде данный показатель имеет следующий вид:

$$P^{ОКР} = f(V^{вып}, K^{вып}, T^{вып}).$$

Практика выполнения плановых заданий Государственных оборонных заказов показала, что возможны следующие конечные результаты выполнения ОКР (рисунки 1):

1. ОКР выполнена в полном объеме в соответствии со всеми требованиями, изложенными в ТЗ, и в заданные сроки.
2. ОКР выполнена не в полном объеме, но в заданные сроки. Выполненный объем работ соответствует требованиям ТЗ.
3. ОКР выполнена не в полном объеме, но в заданные сроки. Выполненный объем (весь или частично) работ не соответствует требованиям ТЗ.
4. ОКР выполнена в полном объеме, но с превышением плановых сроков выполнения. Выполненный объем работ соответствует требованиям ТЗ.
5. ОКР выполнена в полном объеме, но с превышением плановых сроков выполнения. Выполненный объем работ (весь или частично) не соответствует требованиям ТЗ.
6. ОКР выполнена в полном объеме и в заданные сроки, но выполненный объем работ (весь или частично) не соответствует требованиям ТЗ.
7. ОКР выполнена не в полном объеме и с превышением плановых сроков выполнения. Выполненный объем работ (весь или частично) не соответствует требованиям ТЗ.

При необходимости каждый из вариантов №№2-7 завершения ОКР может быть декомпозирован на более детальные подварианты, например:

2.1. ОКР выполнена в заданные сроки и в 90% от планируемого объема. Выполненный объем работ соответствует требованиям ТЗ.

2.2. ОКР выполнена в заданные сроки и в 80% от планируемого объема.

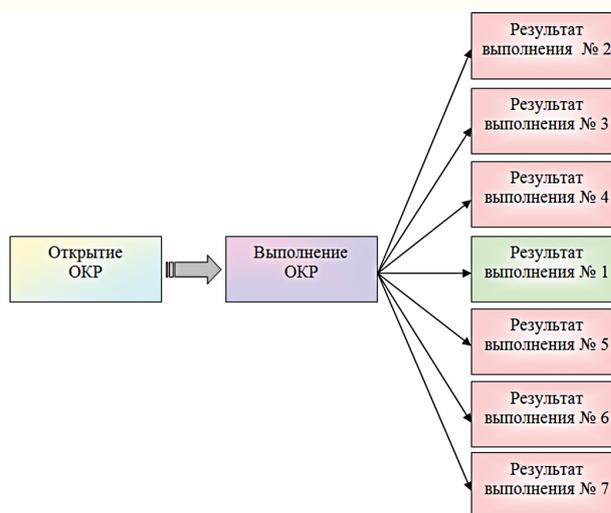


Рис. 1. Возможные конечные результаты выполнения ОКР по созданию АСУВ

2.3. ОКР выполнена в заданные сроки и в 50% от планируемого объема и т.д.

Показатели  $V^{вып}$ ,  $K^{вып}$ ,  $T^{вып}$  являются сложными и требуют определенного подхода к их трактовке и вычислению.

Показатель выполненного объема работ  $V^{вып}$  можно определить как:

$$V^{вып} = \frac{\sum_{i=1}^I N_i^{вып} * g_i}{\sum_{i=1}^I N_i * g_i},$$

$$0 \leq V^{вып} \leq 1,$$

где  $i$  – тип работ (организационной, научно-технической, производственно-технологической или административно-хозяйственной операций);

$I$  – количество типов работ;

$g_i$  – нормированная трудоемкость работы  $i$ -го типа;

$N_i$  – общее количество работ (операций)  $i$ -го типа, которые необходимо выполнить при реализации ОКР;

$N_i^{вып}$  – прогнозируемое количество выполненных работ (операций)  $i$ -го типа.

Показатель своевременности выполнения ОКР в целом  $T^{вып}$  может быть определен следующим образом:

$$T^{вып} = \frac{T^{ОКР-У}}{T^{ОКР-Ф}},$$

где  $T^{ОКР-У}$  – установленное (плановое) время выполнения ОКР;

$T^{ОКР-Ф}$  – фактическое (прогнозируемое) время выполнения ОКР;

Наибольшие трудности представляет собой

определение показателя качества выполненных работ  $K^{вып}$ , т.к. это комплексный показатель, характеризующий ОКР по целому ряду факторов.

Анализ показал, что основными параметрами, характеризующими качество выполненных работ, могут являться сложность ОКР СНИОКР и глубина проработки (уровень проработки) ТЗ  $Y^{ТЗ-П}$ .

Каждый из перечисленных основных показателей может быть представлен как:

$$S^{ОКР} = f(M^{АСУ}, M^{ТЭ}, M^{\SigmaЭ}, M^{ВС}, M^{ПС}),$$

$$Y^{ТЗ-П} = f(E^M, E^T),$$

где  $M^{АСУ}$  – количество иерархических уровней АСУВ (если разрабатывается (или модернизируется) система);

$M^{ТЭ}$  – количество типовых элементов АСУВ (комплексов, подсистем);

$M^{\SigmaЭ}$  – общее количество элементов АСУВ (комплексов, подсистем);

$M^{ВС}$  – количество (число) внешних связей разрабатываемой АСУВ;

$M^{ПС}$  – преемственность элементов (комплексов) АСУВ;

$E^M$  – уровень обоснованности разработки;

$E^T$  – глубина тестирования средств.

Для оценки показателей  $V^{вып}$  и  $K^{вып}$  могут применяться регрессионные модели, экспертные методы оценки, теория полезности и др. методы [2].

Например, для оценки параметра  $N_i^{вып}$  на основе статистических данных по ранее выполненным работам-аналогам, может быть построена регрессионная модель, независимой переменной которой является уровень технического совершенства АСУВ  $K^{УТС}$ :

$$N_i^{вып} = f(N_i^{вып-А}, K^{УТС}),$$

где  $f(N_i^{вып-А}, K^{УТС})$  – регрессионная функция, вид которой выбирается на основе оценки ее корреляционных свойств и коэффициента детерминации;

$N_i^{вып-А}$  – количество выполненных работ (операций)  $i$ -го типа при создании (модернизации) объектов-аналогов.

Обобщенная оценка показателя  $P^{ОКР}$  может проводиться на основе теории полезности, методов экономико-математического моделирования [3], в том числе и с учетом возможностей предприятий ОПК.

Основными этапами такой оценки являются:

1. Определение перечня и номенклатуры работ (операций), направленных на выполнение ОКР по созданию перспективной АСУВ.

2. Выбор метода сетевого планирования и построение план графика (ов) выполнения работ.

3. Анализ вероятностно-временных параметров выполнения работ с учетом возможностей предприятий ОПК и прогнозируемых значений показателей  $V^{вып}$ ,  $K^{вып}$  и  $T$ .

4. Свертка оцененных параметров в единый показатель реализуемости.

В настоящее время одним из перспективных направлений совершенствования существующей методологии оценки реализуемости программных мероприятий по развитию сложных военно-технических систем является использование теории риска.

Существует устойчивая система базовых понятий и определений в военно-экономическом направлении теории риска, которые учитывают особенности военно-экономического анализа и, в частности, формирования планов развития различных образцов ВВТ видов ВС РФ [4-6].

Для количественной оценки риска в военно-экономической сфере используются различные методы, наиболее распространенными из которых являются [6]:

- статистические методы;
- анализ целесообразности затрат;
- методы экспертных оценок;
- аналитические методы;
- метод аналогий.

Под *риском* в данной статье понимается возможность понести ущерб в результате несвоевременного, неполного и/или некачественного выполнения гипотетической ОКР по созданию перспективной АСУВ.

В обобщенном виде показатель риска  $\bar{P}^{ОКР}$  представляет собой агрегированную совокупность двух частных показателей:

$$\bar{P}^{ОКР} = f(Y^C, P^C)$$

где  $Y^C$  – ущерб от несвоевременного, неполного и/или некачественного выполнения ОКР;

$P^C$  – вероятность несвоевременного, неполного и/или некачественного выполнения ОКР.

Показатель ущерба может выражаться в эффективности выполнения задач АСУВ, финансовых ресурсах, которые необходимо затратить для полного и качественного завершения ОКР, или расхождении между установленным сроком выполнения всех работ и фактическим, при котором ОКР будет выполнена в полном объеме с требуемым качеством.

Из раскрытых особенностей оценки реализуемости и риска видно, что оценка показателя реализуемости ОКР  $P^{ОКР}$  присуща для первого варианта выполнения ОКР, представленного на рисунке 1. Оценка показателя риска  $\bar{P}^{ОКР}$  может применяться при анализе любой из оставшихся

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ситуаций 2-7 в зависимости от поставленной задачи исследования.

Для оценки риска по всем возможным негативным вариантам завершения ОКР (варианты 2-7) может быть применен дисперсионный метод анализа риска, суть которого заключается в следующем [4]:

1. Формируется таблица с результатами анализа вероятностей проявления ущерба от возникновения рисков ситуаций, связанных с негативными окончаниями ОКР (таблицы 1, 2). Данные показатели могут оцениваться на основе обработки статистических данных по выполнению ОКР-аналогов или носить субъективный характер и определяться экспертами.

**Таблица 1**

Условия оценки показателя риска гипотетической ОКР при рассмотрении всех негативных вариантов ее завершения

ОКР	Исход ОКР	Условная вероятность исхода	Ущерб от выполнения программного мероприятия	Математическое ожидание функции ущерба
Создание перспективной АСУВ	Исход № 2	$P_2^C$	$Y_2^C$	$R_1(Y_{2-7}^C)$
	Исход № 3	$P_3^C$	$Y_3^C$	
	Исход № 4	$P_4^C$	$Y_4^C$	
	Исход № 5	$P_5^C$	$Y_5^C$	
	Исход № 6	$P_6^C$	$Y_6^C$	
	Исход №7	$P_7^C$	$Y_7^C$	

**Таблица 2**

Условия оценки показателя риска гипотетической ОКР при рассмотрении одного декомпозированного варианта ее завершения

ОКР	Исход ОКР	Условная вероятность исхода	Ущерб от выполнения программного мероприятия	Математическое ожидание функции ущерба
Создание перспективной АСУВ	Исход № 2.1	$P_{2.1}^C$	$Y_{2.1}^C$	$R_1(Y_{2.1-2.n}^C)$
	Исход № 2.2	$P_{2.2}^C$	$Y_{2.2}^C$	
	Исход № 2.3	$P_{2.3}^C$	$Y_{2.3}^C$	
	Исход № 2.4	$P_{2.4}^C$	$Y_{2.4}^C$	
	.....	.....	.....	
	Исход № 2.n	$P_{2.n}^C$	$Y_{2.n}^C$	

Показатели ущерба каждой рискованной ситуации должны быть приведены к единому виду и иметь одинаковую единицу измерения.

2. Проводится оценка математического ожидания ущерба ОКР (например, по условиям, представленным в таблице 1):

$$R_1(Y_{2-7}^C) = \sum_{a=2}^7 P_a^C * Y_a^C,$$

где  $a$  – номер неблагоприятного исхода выполнения ОКР.

3. Определяется показатель вариации возможного результата, который представляет собой степень отклонения ожидаемого значения ущерба от средней величины. Для его определения используется среднеквадратическое отклонение:

$$R_2(Y_{2-7}^C) = \sqrt{\frac{\sum_{a=2}^7 (Y_a^C - R_1(Y_{2-7}^C))^2}{6}}.$$

4. Интегральный показатель риска ОКР определяется как коэффициент вариации, показывающий какую долю среднего значения ущерба составляет его средний разброс.

$$\bar{P}^{OKP} = \frac{R_2(Y_{2-7}^C)}{R_1(Y_{2-7}^C)}.$$

Исходя из представленных зависимостей, можно сделать вывод, что чем сильнее различаются неблагоприятные исходы выполнения гипотетической ОКР по ущербу, при равнозначных или близких по значениям вероятностях их проявления, тем выше будет показатель риска ее реализации, и тем, следовательно, обоснованнее предполагаемая ОКР не будет рекомендована к открытию.

При наличии оценок по множеству альтернативных вариантов качественного облика АСУВ, стоимости их выполнения, а также уровнях реализуемости работ, при выполнении которых будет обеспечиваться достижения рассматриваемых обликов системы может быть осуществлен выбор рационального варианта ее развития по критериям «эффективность-стоимость-реализуемость» или «эффективность-стоимость-риск».

Таким образом, в статье раскрыты методические особенности оценки реализуемости ОКР по созданию перспективной АСУВ, проанализированы частные параметры и показатели, влияющие на обобщенные показатели реализуемости и риска выполняемых работ.

Предлагаемые показатели риска и реализуемости рекомендуется применять:

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

- на уровне отдельных образцов вооружения и военной техники при сравнении альтернативных вариантов качественного развития АСУВ на этапе окончательного формирования ТЗ на ОКР по созданию перспективной или модернизации существующей АСУВ;

- на уровне системы вооружения вида или рода войск ВС РФ при оценке реализуемости (риска) программы развития рассматриваемой системы вооружения в целом на этапе обоснования предложений в Государственную программу вооружения.

### Литература

1. Василенко В.В., Карпов В.Н., Смагин Ю.Н. Научно-технические проблемы формирования системы поддержки инновационной деятельности при создании ракетно-космических систем // Известия РАН, 2015. №1(86).

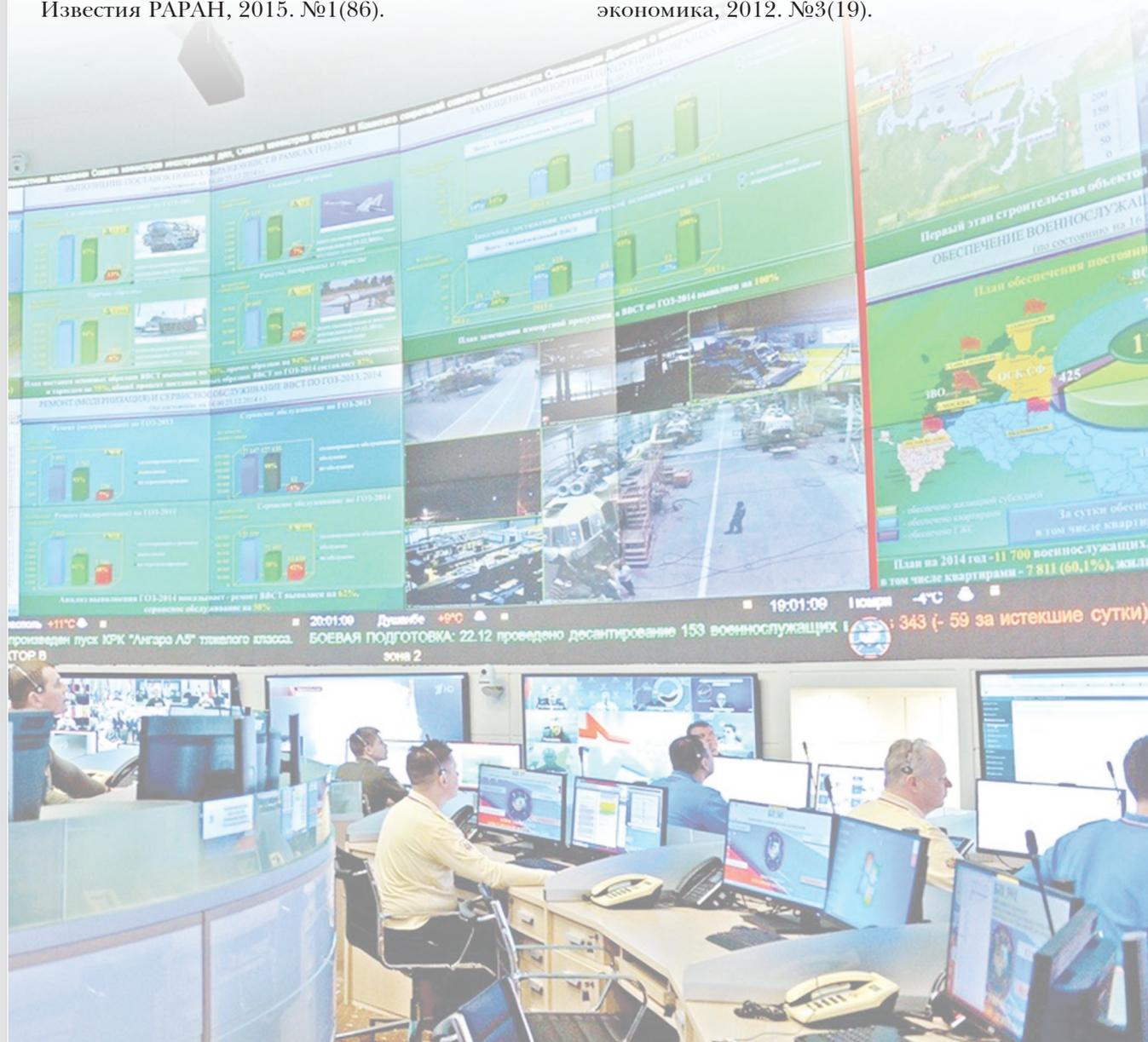
2. Сафронов В.В. Основы системного анализа: методы многовекторной оптимизации и многовекторного ранжирования. Саратов: Научная книга, 2009. 329 с.

3. Абланская Л.В., Бабешко Л.О., Баусов Л.И. Экономико-математическое моделирование: Учебник. М., 2006.

4. Мунтяну А.А. Методический подход к оценке рисков программ развития ВВТ // Вооружение и экономика, 2013. № 2(23).

5. Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Содержание понятий неопределенности и риска в области формирования и реализации планов развития ВВТ // Вооружение и экономика, 2010. №1(9).

6. Подольский А.Г., Косенко А.А. Методические подходы к снижению рисков, сопутствующих реализации мероприятий по созданию продукции военного назначения // Вооружение и экономика, 2012. №3(19).



## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 355.2

### ТРАДИЦИИ РВСН И ИХ ВОЗМОЖНОСТИ В ВОЕННО-ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ ОФИЦЕРСКИХ КАДРОВ

### THE TRADITIONS OF THE STRATEGIC MISSILE FORCES AND THEIR CAPABILITIES IN THE MILITARY PROFESSIONAL TRAINING OF OFFICERS



**Василий Васильевич Дудулин**  
*доктор педагогических наук, доцент*  
профессор кафедры гуманитарных и  
социальных дисциплин  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого  
(г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: 8 (4976) 72-19-11

**Николай Иванович Семизоров**  
*кандидат философских наук, профессор*  
заведующий кафедрой гуманитарных  
и социальных дисциплин  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого  
(г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: 8 (4976) 72-19-11

#### Аннотация

Статья посвящена повышению эффективности военно-профессионального образования офицерских кадров. В рамках статьи обозначена роль традиций РВСН в подготовке высокопрофессиональных офицерских кадров.

**Ключевые слова:** традиции, ракетные войска, воспитание, функции, система, этапы, проблемы, офицерские кадры, подготовка, специалисты.

#### Summary

This scientific article is sanctified to the improvement of work officer shots. In this article mark role of traditions of RVSN in training of officer.

**Keywords:** traditions, rocket troops, education, functions, system, stages, problem, officer shots, preparation, specialists.

Современное общественное развитие России остро поставило проблему духовного возрождения, реформирования мышления масс. Особую актуальность этот вопрос приобретает в среде патриотического воспитания военнослужащих, там, где формируется чувство преданности Отечеству, любви к Родине, своему народу и готовности их защищать.

Военная история России является ярким свидетельством того, как бережно относились наши предки к воинским традициям прошлого. Бесценное наследие старших поколений использовалось ими в условиях упорной борьбы за целостность, самостоятельность и независимость своего Отечества. В современных условиях воинские традиции выступают как средство воспитания будущих офицеров. Свою специфику представляют традиции Ракетных войск стратегического назначения.

Созданные в декабре 1959 года Ракетные войска стратегического назначения являются са-

мым мощным родом Вооруженных сил РФ, главной составной частью Российских стратегических ядерных сил (СЯС), способной самостоятельно решать стратегические задачи по защите Отечества. На протяжении своей 58-летней истории РВСН продолжают лучшие традиции Вооруженных сил России и имеют свои.

Под традициями РВСН понимается сложившиеся в Ракетных войсках стратегического назначения и передаваемые из поколения в поколение воинов-ракетчиков, востребованные условиями их ратного труда и быта разные деятельности, поведения и отношения, проявляющиеся в обычаях, правилах, нормах, ценностях, представлениях, ритуалах. Важнейшим условием эффективного воспитания на традициях является систематизация существующих традиций и выявление педагогических возможностей этих традиций в подготовке курсантов как будущих офицеров-ракетчиков.

Проведенный анализ позволяет говорить о си-

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

стеме традиций РВСН, проявляющихся как сложная взаимосвязь подсистем (компонентов) в основных сферах деятельности воинов-ракетчиков.

По *сферам воинской деятельности* различают: традиции служебно-боевой деятельности (боевые традиции); традиции учебно-боевой деятельности (традиции обучения и воспитания); традиции повседневной жизнедеятельности и быта воинов-ракетчиков.

В перечисленных группах традиций нашли свое отражение традиции, выступающие как общие для Вооруженных сил России, традиции, унаследованные воинами-ракетчиками от воинских частей и подразделений, на базе которых формировались ракетные части и подразделения. Однако специфичность Ракетных войск стратегического назначения придала этим традициям уникальность их звучания, проявления и роли в воспитании воинов-ракетчиков. В силу особого предназначения РВСН в деле обеспечения безопасности Отечества приоритетное значение приобретают традиции служебно-боевой деятельности (боевые традиции).

**Боевые традиции** – это элементы боевого наследия РВСН, передающиеся из поколения в поколение ракетчиков и сохраняющие свою актуальность для нужд боевой практики и образцового выполнения воинского долга в течение длительного времени.

Наиболее ярко выраженное проявление в этой группе получили традиции: служба Родине; верность присяге; верность боевому знамени; бдительное несение боевого дежурства; постоянная готовность к безусловному выполнению основной задачи; содержание в постоянной боевой готовности и безаварийная эксплуатация ракетно-ядерного оружия и боевой техники; высочайшая дисциплинированность при выполнении боевых задач; постоянная боеготовность, предельная организованность, четкость и оперативность в действиях; самоотверженность и мужество при выполнении боевых задач; постоянное самосовершенствование в боевой деятельности; коллективизм и товарищеская взаимопомощь; взаимозаменяемость номеров расчетов и смен; ритуал заступления смен на боевое дежурство.

**Традиции учебно-боевой деятельности** обусловлены сферой повседневной служебной деятельности, боевой учебы и воспитания воинов-ракетчиков. Проведенный анализ позволяет говорить о проявлении следующих традиций данной группы: гордость и ответственность за службу в РВСН; постоянный процесс профессионального совершенствования и самосовершенствования, боевого слаживания; высокий професси-

онализм подготовки, широта культурного и военно-технического кругозора; коллективизм и войсковое товарищество; освоение должности на ступень выше занимаемой; высокая требовательность в сочетании с уважительным отношением к подчиненным и заботой о них; ритуал подготовки к боевому дежурству, заступления на боевое дежурство, проводов дежурных смен на боевое дежурство, встреч с боевого дежурства; чествование лучших воинов части (подразделения); девиз «вернулся с боевого дежурства, готовься снова к боевому дежурству»; новой технике своевременный и качественный уровень ее освоения; бдительность, строжайшее соблюдение военной и государственной тайны; празднование дней воинской славы, дня части; отдавание почестей воинам, навечно зачисленным в списки части, воинам, героически погибшим при выполнении боевых и служебных задач.

**Традиции повседневной жизнедеятельности и быта** – это устоявшиеся правила и обычаи организации повседневной жизни военнослужащих, связанные с удовлетворением их насущных материальных и культурно-досуговых потребностей в интересах служебной деятельности.

Воинский быт охватывает широкий круг проблем: систему снабжения и ведения войскового хозяйства, поддержания в воинских частях установленного внутреннего порядка, информационное, культурно-досуговое и медицинское обеспечение. Он оказывает непосредственное воздействие на все стороны воинской деятельности: боевую подготовку, морально-психологический климат в воинских коллективах, состояние воинской дисциплины. Тем самым определяется важность существующих в данной сфере воинских традиций.

К основным из них относятся: поддержание в подразделениях и частях уставного внутреннего порядка; умение стойко переносить трудности военной службы; демократизм взаимоотношений между военнослужащими и взаимное доверие; национальная и религиозная терпимость; рыцарское отношение к женщине; благородство и честь во взаимоотношениях офицеров; забота о сохранении здоровья военнослужащих и своевременное обеспечение их необходимыми материально-финансовыми средствами; соблюдение солдатами и офицерами правил ношения военной формы, поддержание ее в чистоте и опрятности; строгое соблюдение правил личной и общественной гигиены.

Сущность и содержание традиций РВСН нельзя понять и оценить в полной мере, не выяснив их воспитательных функций.

К основным *функциям воинских традиций*

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

РВСН относятся: нормативно-регулятивная; транзитивная; мобилизационно-побудительная; познавательная-информационная; интегративная.

### *Нормативно-регулятивная функция.*

Она состоит в том, что традиции могут выступать в качестве ориентиров воинского поведения программы, образца деятельности и отношений, меры этих социальных отношений и действий. Выступая как мера, оценочный критерий поступков, действий и отношений, традиции оказывают сильнейшее воздействие на сознание, чувства и поведение военнослужащих. Это объясняется тем, что традиции поддерживаются общественным мнением, весьма мощным фактором социального влияния.

### *Транзитивная функция.*

Суть данной функции состоит в том, что происходит аккумуляция, консервация и трансляция опыта традиционного поведения. Каждое последующее поколение воинов-ракетчиков берет не только накопленный опыт боевой и повседневной деятельности, но и сформировавшиеся традиции. Благодаря этой функции становится возможной трансформация накопленного опыта поведения и действия.

### *Мобилизационно-побудительная функция.*

Она заключается в том, что традиции побуждают и вдохновляют воинов-ракетчиков на определенные действия, поступки, отношения. Тем самым происходит усиление факторов воспитательного, морально-психологического воздействия на военнослужащих. В этом плане традиции создают благоприятную почву для деятельности по воспитанию на положительном примере старших поколений ракетчиков.

### *Познавательная-информационная функция.*

Суть данной функции состоит в том, что традиции побуждают воинов-ракетчиков к познанию, к выявлению причинно-следственных обусловленностей в действиях и поступках как других людей, так и самих себя. Образно говоря, в традиции информация спрессовывается в компактную матрицу и в таком виде может сохраняться долгое время.

### *Интегративная функция.*

Проявляется в единении военнослужащих на выполнение стоящих задач.

Таким образом, проведенный педагогический анализ сущности, содержания и функций традиций РВСН позволяет говорить о действующей системе традиций РВСН, обусловленной сложной системной взаимосвязью основных видов деятельности воинов-ракетчиков.

В процессуальном плане воспитание на традициях рассматривается как целенаправленная деятельность государственных и общественных

организаций, институтов Вооруженных сил, всех должностных лиц вуза по формированию и развитию личности будущего офицера, прежде всего как гражданина-патриота России, воина-профессионала и побуждение его к самовоспитанию. Такой подход к пониманию сущности процесса воспитания курсантов на традициях РВСН позволяет по-новому подойти к решению этой сложной проблемы.

Во-первых, он предполагает расширительное толкование самого субъекта системы воспитания на традициях с включением в него на практике самых высших государственных институтов.

Во-вторых, рассмотрение сущности воспитания на традициях через категорию «деятельности» акцентирует внимание военных теоретиков и практиков на исключительное многообразие этого процесса, поиск новых подходов в работе с людьми, особенно в плане активизации опосредованных факторов формирования и развития личности будущего офицера, на недопущение педагогического насилия со стороны воспитателя над воспитуемым.

В-третьих, в предлагаемом понятии процесса воспитания на традициях конкретизированы его реальные цели и ожидаемые результаты в соответствии с современными требованиями руководящих документов и психолого-педагогическими взглядами (ориентированность воспитания на государственно-патриотические идеалы, высокий профессионализм будущих офицеров, в целом на их самосовершенствование).

Таким образом, воспитание на традициях РВСН рассматривается как целенаправленная деятельность государственных и общественных организаций, всех должностных лиц вузов РВСН по формированию и развитию личности офицера-ракетчика, прежде всего как гражданина-патриота России, воина-профессионала и побуждение его к самовоспитанию.

Такой подход отражает и общую стратегию обновления воспитания, разрабатываемую в современной педагогике.

### **Литература**

1. Боровиков Э.И. Воинские традиции и ритуалы Российской армии. Учеб.-метод. пособие. Ч.1 и 2. Серпухов, 1998.
2. Дёмина Е.В. Русские традиции. Правила хорошего тона. М.: ОлмаМедиаГрупп, 2014. 304 с.
3. Максимов С.Г. Русские воинские традиции. М.: Вече, 2010. 320 с.
4. Тетрина Е.А. Исследования русских традиций, обычаев, обрядов. Электронный журнал «Наука. Общество. Государство», 2016. Т.4. № 2 (14).

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 378.6

### ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩЕЙ КУЛЬТУРЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ КАК ОСНОВА НРАВСТВЕННОГО И ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КУРСАНТОВ

### PEDAGOGICAL PROVISION OF HEALTH- SAVING CULTURE IN THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT AS A BASIS FOR THE MORAL AND PHYSICAL DEVELOPMENT OF CADETS

**Денис Викторович Шугалей**

преподаватель

начальник медицинской службы

филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)

Адрес: 142210, Московская обл.,

г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17

Тел.: 8(929)681-81-36

E-mail: denmsi@mail.ru

#### Аннотация

Статья посвящена актуальной проблеме педагогического обеспечения здоровьесберегающей культуры в образовательной среде. Так как современное общество предъявляет большие требования к военнослужащим, они должны отличаться высоким уровнем моральных, интеллектуальных и физических качеств. Анализируется влияние здоровьесберегающей культуры на образовательный процесс курсанта. Отражены показатели рациональной организации учебного процесса, психолого-педагогические факторы и культура здоровьесбережения курсантов. Выявлены главные задачи для достижения педагогического обеспечения здоровьесберегающей культуры в образовательной среде. Предложены рекомендации по формированию здоровьесберегающей культуры в системе военного образования и практике воспитательной работы курсантов.

**Ключевые слова:** здоровье сбережение, культура здоровья, образовательная среда, физическое развитие.

#### Summary

The article is devoted to the topical problem of pedagogical provision of health saving culture in the educational environment, as modern society makes great demands on servicemen, they must be distinguished by a high level of moral, intellectual and physical qualities. It analyzes the impact of health-saving culture on the cadet's educational process. The indicators of the rational organization of the educational process, psychological and pedagogical factors and the culture of the health of the cadets are reflected. The main tasks for achieving pedagogical support of health saving culture in the educational environment have been identified. Recommendations are offered on the formation of a health-saving culture in the system of military education and in the practice of cadets' educational work.

**Keywords:** health preservation, culture of health, educational environment, physical development.

На современном этапе развития Ракетных войск стратегического назначения обеспечение и эксплуатация ракетных комплексов относится к одному из наиболее сложных и напряженных видов военно-профессиональной деятельности.

В связи с этим выполнение должностных обязанностей ракетчиками осуществляется в сложной обстановке на фоне нервно-эмоционального, умственного и физического напряжения. Это негативно отражается на состоянии здоро-

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

вья военнослужащих, что естественно приводит к снижению качества выполнения боевых задач. В этом контексте здоровый образ жизни рассматривается как обязательное и неотъемлемое условие эффективной военно-профессиональной деятельности.

Современное общество предъявляет большие требования к военнослужащим, так как они должны отличаться высоким уровнем моральных, интеллектуальных и физических качеств.

Условия выполнения профессиональной деятельности ракетчиками, постоянное нахождение в опасных для жизни и здоровья ситуациях приводит к психологической и физической уязвимости, именно поэтому неотъемлемой частью профессиональной подготовки курсантов высших учебных заведений РВСН (вузов РВСН) является физическая подготовка. Целью физического воспитания курсантов является развитие их физической и психологической готовности к успешному решению поставленных задач.

Образовательные, развивающие и воспитательные функции физической культуры реализуются в специализированной системе обучения, которая предусматривает организацию занятий применительно к деятельности курсантов в процессе обучения в вузе РВСН.

Одним из основных требований подготовки военного специалиста является целенаправленный образовательный процесс, способствующий формированию у курсантов вузов РВСН навыков, связанных с характером предстоящей профессиональной деятельности [1].

Физическая подготовка является одной из составных частей профессиональной подготовки военнослужащих РВСН. Как уже говорилось выше, целью этой подготовки является формирование физической и психологической готовности военнослужащих к успешному выполнению служебных и боевых задач, а также обеспечение высокой работоспособности будущих офицеров в процессе служебной деятельности.

Так как в настоящее время постоянно возрастают требования к профессиональной подготовке будущего офицера, который должен обладать способностью непрерывно самосовершенствоваться, самостоятельно принимать важные решения, проявляя при этом высокий уровень полиадаптивных свойств личности, возникает необходимость исследования проблемы педагогического обеспечения здорового образа жизни курсантов вузов РВСН.

Для того чтобы в полной мере исследовать проблемы сохранения и укрепления здоровья курсантов, необходимо глубоко изучить саму сущность феномена здорового образа жизни. В

настоящее время проблема здоровья и здорового образа жизни человека, как фактора всесторонне-гармоничного развития личности, выходит на первый план и имеет особую актуальность.

В современной педагогической науке можно выделить несколько подходов к изучению проблемы здорового образа жизни. Рассмотрим некоторые из них. Валеологический подход представлен в работах таких отечественных исследователей как В.П. Петленко, В.П. Кобякова, Д.Кюнцель, Г.И. Царегородцева. В исследованиях этих авторов здоровье рассматривается в качестве резерва организма, максимальной производительности органов; запаса жизненных сил, способствующего поддержанию духовной бодрости; ритмичного протекания процессов регулирования деятельности организма с его оптимальной приспособленностью к воздействию окружающей среды; состояния оптимального функционирования организма, позволяющего ему наилучшим образом выполнять свои социальные функции [2].

Исследование образовательного процесса является одним из основных направлений валеологического подхода к изучению здорового образа жизни. М.М. Безруких в своих исследованиях выделяет совокупность факторов риска, которые влияют на здоровье обучающихся [3]. Г.С. Туманян в своей работе анализирует возможности формирования здоровья обучающихся в рамках процесса обучения [4]. Г.С. Никифоров исследует вопросы проектирования системы образования формирующего здоровый образ жизни [5]. В своей работе Н.П. Горбунов рассматривает особенности функционального состояния организма в процессе адаптации обучающегося к учебной деятельности [6].

С точки зрения системного подхода феномен здорового образа жизни рассматривается в научных трудах М.В. Бутенко, Д.С. Сомова, В.П. Казначеева [7, 8, 9]. Д.С. Сомов представляет проблему сохранения и укрепления здоровья с точки зрения целостного разностороннего развития человека. В.П. Казначеев рассматривает здоровый образ жизни, как динамическое состояние развития и сохранения биологических, психических и физиологических функций, социальной активности и оптимальной трудоспособности личности. М.В. Бутенко в своей работе изучает проблему ухудшения общественного здоровья, которое является результатом изменения социально-культурологических и исторических ценностей современного общества.

Исходя из анализа различных разработок проблемы сохранения и укрепления здоровья,

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

можно сказать, что для решения проблемы формирования здорового образа жизни у курсантов вузов РВСН, следует повысить значимость педагогического обеспечения здорового образа жизни, благодаря которому осуществляется всестороннее развитие личности, сознательное принятие принципов сохранения и укрепления здоровья человека.

Обеспечение здорового образа жизни с педагогической точки зрения представляет собой вид целенаправленной профессиональной деятельности, которая обеспечивает активизацию внутреннего потенциала личности, где здоровый образ жизни рассматривается как неотъемлемое условие успешной профессиональной деятельности и социально значимый показатель развития общества.

Профессиональная деятельность военных специалистов-ракетчиков имеет свои особенности, которые необходимо обязательно учитывать при организации педагогического обеспечения здорового образа жизни курсантов вузов РВСН.

Так, можно выделить следующую специфику профессиональной деятельности ракетчиков: монотонность профессии офицера-ракетчика, обусловленную работой в замкнутом пространстве во время боевых дежурств; воздействие неблагоприятных факторов окружающей среды.

Следовательно, возникает необходимость определения особенностей формирования важных и необходимых физических качеств курсантов в образовательном процессе вуза РВСН.

Можно выделить следующий ряд профессионально важных качеств, необходимых курсантам, обучающимся в вузах, готовящих специалистов для ракетных войск:

1. Интеллектуальные качества: способность к нестандартному мышлению; осознание высокой ответственности за эксплуатацию дорогостоящей военной техники; способность усваивать программу по специальным военным и инженерным дисциплинам.

2. Личностные качества: направленность личности на определенный вид профессиональной деятельности, выполнение боевых задач; мотивация к овладению военной специальностью; адекватная и объективная оценка окружающей реальности, сопоставление своих возможностей с реальными требованиями военно-профессиональной деятельности; совокупность мировоззренческих установок и ценностных ориентаций, стимулирующих профессиональную активность; саморегуляция.

3. Физические качества: способность противостоять неблагоприятным факторам професси-

ональной деятельности; обладать высокой адаптивной способностью, уметь приспосабливаться к меняющейся боевой обстановке; уметь поддерживать высокий уровень профессиональной готовности к выполнению задач.

Исходя из всего выше сказанного, следует отметить, что одной из первоочередных задач профессиональной подготовки будущих офицеров в вузах РВСН является педагогическое обеспечение формирования здорового образа жизни курсантов.

Образовательный процесс в военных вузах связан с большими физическими и психическими нагрузками. В результате напряженной мыслительной деятельности и концентрации внимания может происходить истощение организма, что приводит к физическому утомлению. Отрицательное воздействие негативных факторов учебной и военно-профессиональной деятельности на организм курсантов усиливается постоянно снижающимся уровнем физической и общеобразовательной подготовленности, функционального состояния и психофизиологического развития абитуриентов, поступающих в военные вузы.

Педагогическое обеспечение здорового образа жизни курсантов представляет собой вид профессиональной педагогической деятельности всех субъектов образовательного процесса, способствующий активизации личностного потенциала будущих офицеров-ракетчиков и максимально реализующий ресурсы вуза РВСН.

Педагогическое обеспечение здорового образа жизни курсантов вузов РВСН включает в себя следующие аспекты:

- педагогическое взаимодействие командиров, преподавателей и курсантов, направленное на развитие личности, мировоззренческих установок, жизненных принципов;

- совокупность педагогических условий, обеспечивающих реализацию личностного потенциала в процессе профессионального становления личности будущего офицера-ракетчика.

Когда мы говорим о педагогическом обеспечении формирования здорового образа жизни у курсантов вузов РВСН, то следует отметить, что сохранение и укрепление здоровья является одним из важных направлений социальной политики государства, которая охватывает все сферы жизнедеятельности современного российского общества. Здоровье и здоровый образ жизни следует рассматривать как показатели динамичного развития современной мировой цивилизации в целом, кроме того, они выступают в качестве оборонного и интеллектуального потенциала развивающегося российского общества.

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Кроме того, следует отметить, что современный этап реформирования Вооруженных сил Российской Федерации определяет качественно новые, более высокие требования к уровню профессиональной подготовки выпускника вуза РВСН: психическому и физическому состоянию здоровья курсантов, способности выполнять ими свои функциональные обязанности в течение всей военной службы в ракетных войсках. В результате этого для вузов РВСН приобретает актуальность проблема педагогического обеспечения здорового образа жизни курсантов данных учебных заведений.

Следует так же отметить, что понятие «здоровый образ жизни» представляет собой важную междисциплинарную научную проблему. Структура здорового образа жизни курсантов вузов РВСН представлена совокупностью научно-методологических позиций:

- с философской точки зрения – человек выступает как творец, а основной целью его является саморазвитие;

- с психологической точки зрения здоровый образ жизни – это процесс личностного и профессионального развития человека;

- с точки зрения валеологии – здоровый образ жизни представляется как совокупность здоровьесберегающих взглядов о способах сохранения и укрепления здоровья человека;

- с культурологической точки зрения – здоровый образ жизни считается составной частью общей культуры, социальной ценностью человеческого бытия;

- с точки зрения педагогики – здоровый образ жизни представляет собой объектно-субъектное преобразование курсантов в процессе их воспитания и обучения.

Здоровый образ жизни курсантов вузов РВСН – это способ жизнедеятельности каждой отдельной личности, обеспечивающий укрепление и сохранение физического, нравственного и психического здоровья курсантов, способность к

непрерывному поддержанию высокого уровня профессиональной пригодности в течение всего срока службы офицера-ракетчика, управлению сложной техникой, сохранение и развитие военно-профессиональных навыков в процессе профессиональной военной деятельности.

В заключение следует отметить, что педагогическое обеспечение здорового образа жизни курсантов вузов РВСН заключается в качественном формировании здоровьесберегающей культуры и образовательной среды в процессе нравственного и физического развития курсантов.

### Литература

1. Герасимов И.В. Моделирование профессиональной деятельности в рамках комплексных практических занятий // ОрЮИ МВД России им. В.В. Лукьянова, 2013. С. 33-36.

2. Приходько П.Н. Педагогическое обеспечение здорового образа жизни курсантов военных авиационных вузов: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Воронеж, 2014. 32 с.

3. Безруких М.М. Здоровьесберегающая школа. М.: Моск. психол.-социал. ин-т, 2004. 240 с.

4. Туманян Г.С. Здоровый образ жизни и физическое совершенствование: учеб. пособие для вузов 3-е изд. М.: Академия, 2009. 336 с.

5. Никифоров Г.С. Психология здоровья: учеб. для вузов. СПб.: Питер, 2006. 607 с.

6. Горбунов Н.П. Функциональное состояние школьника в процессе адаптации в школьной деятельности // Педагогика, 2003. №4 С. 32-35.

7. Бутенко М.В. Формирование культуры здорового образа личности студента: дис. канд. пед. наук. Омск, 2004. 151 с.

8. Сомов Д.С. Теория и методология реализации здоровьесбережения в условиях современного вуза: автореф. дис. ... д-ра пед. наук Ставрополь, 2007. 42 с

9. Казначеев В.П., Склянов Н.А. Основы общей валеологии: учеб. пособие. Новосибирск, 1998. 80 с.



## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 355.2

### УСЛОВИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОДЕРЖАТЕЛЬНЫХ ОСНОВ ПРЕВЕНТИВНОЙ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ АГРЕССИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ КУРСАНТОВ

### CONDITIONS FOR IMPROVING THE CONTENT OF THE FUNDAMENTALS OF PREVENTIVE PEDAGOGICAL DIAGNOSIS OF THE AGGRESSIVE BEHAVIOR OF CADETS

**Юрий Викторович Семизоров**

курсовой офицер – преподаватель  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: 8 (4976) 72-19-11

#### Аннотация

В статье анализируются условия совершенствования содержательных основ превентивной педагогической диагностики агрессивного поведения курсантов, даются рекомендации по проведению мероприятий с целью осуществления прогнозирования агрессивного поведения курсантов.

**Ключевые слова:** педагогика, диагностика, курсанты, агрессия, поведение, гнев.

#### Summary

The article analyzes the conditions for improving the content of the fundamentals of preventive pedagogical diagnosis of the aggressive behavior of cadets, gives recommendations on the conduct of activities with the aim of predicting the aggressive behavior of cadets.

**Keywords:** pedagogy, diagnostic, cadets, aggression, behavior, anger.

Анализ литературных источников, организации и методики изучения должностными лицами курсантов, проявляющих агрессивное поведение, позволяет полагать, что педагогическое диагностирование и прогнозирование агрессивного поведения является достаточно сложным и комплексным видом превентивной деятельности воспитателей различных категорий.

Сложность данного вида превентивной деятельности заключается в том, что диагностика и прогнозирование агрессивного поведения осуществлялись диагностами, с одной стороны, имеющими свой собственный диапазон агрессивности, далеко не всегда соответствующий профессионально-целесообразному диапазону, а с другой стороны – имеющими собственную интенсивность агрессивности, которая также не всегда соответствует целесообразности педагогического воздействия на курсантов. Помимо этого, превентивную диагностику необходимо проводить неразрывно и в комплексе, опираясь на содержательные, организационные и

методические основы превентивной педагогики, учитывая, с одной стороны, теоретические и практические особенности процесса изучения личности курсанта, а с другой – включенность самого агрессивного поведения в учебно-педагогический процесс. Комплексный характер психолого-педагогической диагностической и прогностической деятельности предполагает разнообразные знания по физиологии, психологии, медицине, праву, социологии и педагогике для выставления педагогического диагноза, прогнозирования с целью последующей превентивной педагогической коррекции. Результаты опытно-экспериментальной работы показали, что одним из путей повышения эффективности превентивной педагогической диагностики агрессивного поведения курсантов в военных вузах является ее актуализация при условии совершенствования ее содержательной основы.

Прежде чем приступать к работе по выявлению диапазона агрессивного поведения курсантов, а также факторов и причин, способству-

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ющих смещению диапазона агрессивности в социально-неприемлемую или патогенную область, необходимо выявить структуру самого агрессивного поведения, характеристику социально-приемлемого диапазона, а также условия становления тех или иных форм и проявлений агрессивного поведения.

Агрессивное поведение физиологически обусловлено для любого человека, индуцируется его лимбической системой и поддерживается гормональной.

Гнев стимулируется ситуацией, в которой способы защиты от страдания или угрозы неэффективны. Гнев и соответствующая ему агрессия способствуют преодолению преград, требующих грубых воздействий. Ситуация блокирования желаний порождает два вида агрессии: агрессию «инструментальную», направленную против препятствия, и агрессию «респондентную», направленную не против препятствия, а против окружающих людей.

Наличие препятствия на пути к удовлетворению желаний, потребностей вызывает страдание, поэтому включается механизм защиты: страдание преобразуется в гнев, направляя свою психическую энергию против реального или воображаемого препятствия и ослабляя таким образом страдание лишения путем канализации этой энергии в агрессию.

Агрессия, направленная на других или себя, принимает непосредственное участие в различных формах поведенческих девиаций [1]. При этом агрессивное поведение в обществе осуждается и наказывается, а воспитание состоит в привитии способности сдерживать свою агрессивность. С детства каждое агрессивное поведение вызывает наказание. Однако такая связь может принимать формы псевдоприемлемого социального поведения, которое не только не осуждается, а поощряется и стимулируется определенными группами и которому приписывается псевдоромантический ореол силы воли, смелости и т.д.

Таким образом, диапазон агрессивности определяется, с одной стороны, социальными нормами и правилами, а с другой – той микросредой, в которой находится человек.

Чтобы не входить в противоречие ни с обществом, ни со своим окружением, человек с детства научается скрывать, сдерживать или проявлять гнев и агрессию социально допустимыми, на его взгляд, способами или в приемлемых в той или иной ситуации формах.

Скрытый и сдержанный гнев может проявляться в сладострастном выполнении социальных, должностных обязанностей, которые причиняют неудобства и неприятности жертве: преподаватель строже спрашивает курсанта, повышает критерии оценки, курсовой офицер чаще

делает замечания, начальник курса пишет отрицательные резолюции и так далее.

Вербальная агрессия проявляется в критicismе, склонности приписывать другим отрицательные оценки, в ругани, оскорблениях, в произнесении речи, которая причиняет боль другому, начиная от передачи ложных и неприятных вестей и кончая сквернословием.

Интеллектуальная, умственная агрессия проявляется в мысленных агрессивных действиях, в их планировании в воображении, в котором представляются действия, причиняющие страдание какому-либо лицу.

Агрессия может проявлять себя в смехе по поводу неприятностей у другого, которого мы считаем заслуживающим наказания, в повышенном и беспощадном чувстве справедливости, направленном на его жестокое, деструктивное торжество справедливости. Злословие, склонность наказывать других, ставить им непосильные задачи, создание безвыходных положений для другого – действия, выражающие агрессию.

Скрытая агрессия проявляется в лояльности к тем, кого жертва ненавидит или в критике тех, кого жертва любит, например, курсовой офицер восхищается человеком, которого не выносит курсант и, наоборот, критикует его друга, которого он любит. Она часто находит выражение в том, что отдаются приказы, подвергающие дискриминации курсанта по каким-либо признакам, создаются правила, препятствующие свободной учебной деятельности и жизни, правила, вызывающие у курсанта отчаяние и страх.

Агрессивное поведение в обществе осуждается и наказывается. Воспитание как раз состоит в привитии способности сдерживать свою агрессивность. С детства каждое агрессивное поведение встречает наказание. В результате импульс гнева приобретает способность сам по себе вызывать страх, так как этот импульс всегда наказывался, а наказание возбуждает страх, и образуется рефлекторная связь. Поскольку это стало привычным, то в сознании человека эти два события: агрессивный импульс и наказание – не осознаются. Переживается только результат: гнев превращается в страх.

Гнев стимулируется ситуацией, в которой способы защиты от страдания или угрозы неэффективны. Тревога, неведение, страх, обида, стыд, отчаяние и любая отрицательная эмоция могут преобразоваться в гнев. В том случае, если защита от угрозы в виде бегства или оцепенения оказывается успешными, то гнев не возникает.

В управлении большим количеством людей устрашение гневом является наиболее распространенным приемом управления поведением. Это требует постоянного совершенствования средств устрашения и усиления гнева, что име-

ет тоже свои пределы. Гнев как средство воздействия на других постепенно перестает действовать, и человеку приходится «выходить из себя», чтобы добиться своего, то есть постоянно повышать интенсивность своего гнева. Это создает особую специфику в отношениях в коллективе и влияет на психический, социальный и физиологический уровень благополучия как самого управителя, так и окружающих его и управляемых им членов коллектива.

Принимая во внимание, что курсант – это будущий офицер, и что он понесет в войска личностные и профессиональные качества военного руководителя, управляющего подчиненными, то в том числе от его собственного диапазона агрессивности зависит облик будущих Вооруженных сил России.

Таким образом, коррекционная работа сводится к приведению агрессии, по возможности, к инструментальному типу, а агрессивного диапазона – к социально приемлемым, социально одобряемым и профессионально востребованным формам армейской среды.

При этом необходимо обязательно учитывать, что развитие агрессивности формируется по законам классического, викарного, инструментального научения, научения подражанием или заражения агрессивностью в силу следующих **основных причин**: личных переживаний и проблем; влияния нездорового окружения; психологического напряжения в семье; особенностей менталитета; вследствие неправильного лечения психосоматического заболевания, при лечении которого использовались антипсихотические и седативные препараты.

С целью постановки предварительного диагноза, для формулирования предварительного прогноза необходимо: провести определение социально допустимого и профессионально оправданного диапазона агрессивности; провести постановку и практическую реализацию предварительного диагноза и прогноза, в котором указываются признаки социально неприемлемого агрессивного поведения, формы, интенсивность, структура (препятствие, жертва, эмоции и т.д.), определяются основные социально-педагогические и психологические причины данной девиации; дать тенденцию развития данного вида и формы агрессивности при условии педагогического невмешательства (превентивный прогноз); дать первоначальные психолого-педагогические рекомендации по профилактической и коррекционной работе с курсантами группы динамического наблюдения.

С целью осуществления прогнозирования агрессивного поведения курсантов необходимо провести следующие мероприятия: углубленное изучение поведения курсантов и систематическое

наблюдение за ними; обосновать возможные и желательные варианты позитивного и негативного поведения курсантов в период всего обучения и по его окончанию; осуществить текущее планирование превентивной деятельности офицеров; определить комплекс профилактических коррекционных и перевоспитательных воздействий на курсантов, порядок взаимодействия с ними; сформулировать предварительный прогноз.

Результаты диагностики сопоставляются путем сравнения начального, промежуточного и итогового показателей превентивной деятельности на основе окончательного диагноза и перспективного прогноза агрессивного поведения курсантов.

Таким образом, совершенствование содержательных основ превентивной педагогической диагностики агрессивного поведения курсантов обеспечивается следующими условиями: своевременным определением у курсантов качеств, способствующих формированию социально неприемлемых форм агрессивного поведения; осуществлением систематического контроля за поведением курсантов; проведением специально спланированных мероприятий воспитательной работы по изменению интенсивности и направленности агрессивного поведения; знанием и учетом объективных и субъективных предпосылок формирования личностных качеств и др. Выполнение этих условий позволяет с помощью непрерывной диагностической и прогностической деятельности офицеров осуществить углубленное изучение воспитанников, выявить и спрогнозировать у них агрессивное поведение, организовать и провести профилактическую работу по предупреждению, преодолению и коррекции агрессивного поведения курсантов.

### Литература

1. Змановская Е.В. Девиантология (Психология отклоняющегося поведения): Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 288 с.
2. Колосова С.А. Агрессия и агрессивность // Школьный психолог, 2000. № 26.
3. Мальчинский Ф.В. Возможности использования опросников агрессивности и стилей поведения в конфликтной ситуации для дифференциации курсантов по родам авиации // Личность курсанта: психологические особенности бытия: материалы V Всерос. науч.-практ. конф. Краснодар, 2015.
4. Мельникова М.А. Агрессивное поведение делинквентных подростков: детерминанты и условия коррекции. Дисс. ... канд. псих. наук. Екатеринбург, 2007.
5. Невенчаный С.В. Психологические особенности агрессивного поведения военнослужащих по призыву // Ученые записки Забайкальского государственного университета. Серия: Педагогика и психология. Чита, 2011. №5.
6. Профилактика жестокости и агрессивности в подростковой среде и способы ее преодоления: методические рекомендации для воспитателей, психологов, социальных педагогов. Кемерово, 2014.

### О РАБОТЕ СЕКЦИИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ОБОРОНЫ ЭКСПЕРТНОГО СОВЕТА КОМИТЕТА ГД РФ ПО ОБОРОНЕ

Секция является постоянно действующим коллегиальным органом экспертного и информационно-консультативного обеспечения деятельности Комитета ГД РФ по обороне, осуществляющим анализ проблем законопроектной деятельности в медико-биологической сфере, обоснование направлений развития фундаментальной и клинической медицины в интересах повышения обороноспособности страны, поиск и продвижение прорывных технологий и идей, способных защитить человека в экстремальных условиях боевой и (или) климатической обстановки, в том числе посредством фармакологической коррекции процессов жизнедеятельности организма.

Заседание Секции проходило под руководством председателя Экспертного совета Комитета ГД РФ по обороне А.Г. Бурутина.

На повестку дня в качестве главных были вынесены актуальные вопросы развития Арктической медицины, обеспечения эффективности действий личного состава ВС РФ в условиях Арктики, в частности, вопросы применения мобильных медицинских комплексов «Клевер», функциональных продуктов питания специального назначения «УльтраФорвард», систем локального обогрева личного состава в условиях низких температур (инновационная разработка ученых МОУ «ИИФ», г. Серпухов), кровоостанавливающего и ранозаживляющего препарата «Желпластан», уникального пенополиуретанового медицинского покрытия «Локус» и др.

Повестка дня была связана с обоснованием путей эффективного решения поставленной Президентом РФ задачи развертывания к 2018 году в Арктике самодостаточной группировки войск, необходимого обеспечения их жизнедеятельности как в мирное время, так и в случае ведения боевых действий по защите северных территорий нашей страны.

Также было заслушано сообщение представителей единственного в Восточной Европе отечественного предприятия МЕДПЛАНТ, производящего широкий спектр портативной медицинской техники для оказания экстренной помощи в первые минуты после ранения, травмы или ожога.

В заседании приняли участие: руководитель ФМБА России д.м.н., проф. В.В. Уйба, Президент Финансовой академии при Правительстве РФ засл. деятель науки РФ д.э.н., проф. А.Г. Грязнова, гл. научный сотрудник МГУ им. М.В. Ломоносова академик РАН, д.б.н., проф. А.М. Егоров, зам. директора по научной и инновационной работе ФГБУ «НИИ пульмонологии ФМБА России» д.м.н., проф. К.А. Зыков, директор Департамента науки, инновационного развития и управления медико-биологическими рисками здоровью Минздрава РФ д.м.н. И.В. Коробко, зам. директора по научной работе ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» д.э.н. А.О. Камбаров, ведущие ученые и специалисты учреждений Минздрава, РАН, ФМБА, Федеральной службы войск национальной гвардии, Пограничной службы ФСБ, Главного военно-медицинского управления МО РФ, военно-медицинских, научно-исследовательских и научно-производственных учреждений, коммерческих предприятий медицинского профиля РФ (всего – 46 человек).

По результатам работы Секции принято решение, направленное в заинтересованные министерства и ведомства, в котором отмечается актуальность и своевременность рассмотрения этой важной проблемы государственного значения по изучению подходов к созданию и развитию Арктической медицины, изучению особенностей медицинского обеспечения группировок войск, дислоцирующихся на территории Арктики, с учетом экстремального климата и воздействия его как на состояние здоровья личного состава, так и на способы и методы оказания им медицинской помощи. Экспертный совет Комитета ГД РФ по обороне считает целесообразным до конца 2017 года сформировать на базе ФМБА России межведомственную рабочую группу (МРГ) для разработки межведомственной научной программы по медико-санитарному обеспечению деятельности специалистов и воинских контингентов в Арктике. В состав МРГ предполагается включить представителей МО (ГВМУ), Минздрава, МЧС, ФМБА и профильных организаций, находящихся в их ведении, а также других заинтересованных министерств, ведомств и организаций.

**В.К. Курочка**

заслуженный врач Российской Федерации, заслуженный врач Республики Бурятия, кандидат медицинских наук, профессор, советник Президента МОУ «ИИФ»,

руководитель Секции медико-биологических проблем обороны Экспертного совета Комитета ГД РФ по обороне, генерал-майор медицинской службы в отставке



## AUTHORS

**Alyaeva Yulia V.** Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of the Research Department of Planning and Coordination of Programs and Projects of FSBSI «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

**Avakyan Alexander A.** Doctor of Engineering, professor, Chief designer of systems of avionics of CJSC NT-KTs Petrofarm. St. Petersburg, Bolshaya Monetnaya street, 24.

**Bezrodny Boris F.** Doctor of technical sciences, professor. Head of the Department of Applied Mathematics. Moscow State Automobile and Roads Technical University. Moscow, Leningradsky Prospekt, 64.

**Bobrus Sergey Y.** Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Butranov Andrey S.** Senior Researcher. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Chebotarev Alexey N.** Candidate of historical sciences, associate professor. Associate Professor of Department C-02. «Strela» branch. Moscow Aviation Institute (National Research University). Moscow, Volokolamskoe highway, 4.

**Dudulin Vasiliy V.** Doctor of pedagogical sciences, associate professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Ermakov Andrey D.** Cadet. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Furov Andrey N.** Cand.Tech.Sci. Lecturer. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Ivanov Evgenie V.** The graduated in a military academy of the research centre of Academy of civil protection of the Ministry of Emergency Measures of Russia. Moscow Region, Khimki, Novogorsk.

**Kleimenov Yuriy A.** Doctor of engineering, deputy chief of laboratory of Federal state budgetary establishment «Main scientific metrological centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow Region., Mytishi, Str. Komarova, 13.

**Kolombet Eugeni V.** Junior scientist. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

**Kolombet Valeriy A.** Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

**Konyukhov Mikhail A.** Junior researcher of Federal state budgetary establishment «Main scientific metrological centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow Region., Mytishi, Str. Komarova, 13.

**Korchevaya Irina O.** Magistracy student. Moscow Aviation Institute (National Research University). Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Kornilov Sergei V.** Deputy head of department – head of department of Federal state budgetary establishment «Main scientific metrological centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow Region., Mytishi, Str. Komarova, 13.

**Kostin Pavel S.** Ph.d., the senior lecturer of faculty. Military educational and scientific center of the air force «Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Yuri Gagarin». Voronezh, street Old Bolsheviks, 54.

**Kukin Nikolay S.** Cand.Tech.Sci. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a

**Kurochka Valery K.** The candidate of medical Sciences. Head of Section medical-biological problems of defense of the Former expert Council of the State Duma of the Russian Federation on defense. Major General of medical service, retired. Advisor to the President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Kuznetsov Oleg P.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Lesnykh Vadim N.** Junior scientist. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

**Martynova Inna A.** Graduate student of MIPT (SU). Junior researcher. All-Russian Scientific Research Institute of Automation. Moscow, ul. Bolshaya Ordynka, 24.

**Mazanik Alexander I.** The doctor of military sciences, the professor. The main research assistant of the research centre of Academy of civil protection of the Ministry of Emergency Measures of Russia. Moscow Region, Khimki, Novogorsk.

**Meshkov Il'ya S.** Postgraduate student, S. M. Budjonny Military Academy of the Signal Corps in Saint Petersburg. St. Petersburg, Tikhoretsky Avenue, 3.

**Moiseyev Konstantin A.** Candidate of technical Sciences, associate Professor. Professor of chair «Materials science and repair of weapons». Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.



**Mukhin Vladimir I.** The honoured worker of a science of the Russian Federation. The doctor of military sciences, the professor. Professor of chair of information technology and control systems of Academy of civil protection of the Ministry of Emergency Measures of Russia. Moscow Region, Khimki, Novogorsk.

**Muntyanu Andrew A.** Candidate of technical sciences, junior researcher 4 CRSI Military Defense of Russia. Moscow Region, Korolev, md. Jubilee, st. M.K.Tikhonravova, 29.

**Muradova Anna R.** Magistracy student. Moscow Aviation Institute (National Research University). Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

**Nazarov Alexey V.** Candidate of technical Sciences, Deputy head of Department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Prasolov Victor A.** Cand.Tech.Sci. Chief of department automation and communications. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

**Rassohin Gennadiy N.** Candidate of technical sciences, Senior Researcher. 4 CRSI Military Defense of Russia. Moscow Region, Korolev, md. Jubilee, st. M.K.Tikhonravova, 29.

**Romanenko Yuriy A.** The honoured worker of a science of the Russian Federation. Dr.Sci.Tech., the professor. Senior Researcher. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Rybakov Anatoly V.** Dr.Sci.Tech., the senior lecturer, the chief of laboratory of Information support of the population and technologies of information support of Academy of civil protection of the Ministry of Emergency Measures of Russia. Moscow Region, Khimki, Novogorsk.

**Rybakov Sergey S. Master.** Munich Technical University, Germany, Munich.

**Ryzhenkov Viacheslav A.** Cand.Tech.Sci. Head of Special Equipment Order Management Ministry of Defense of the RF. Moscow, Horoshevskoe shosse, 76b.

**Sal'nikov Denis V.** Ph. D. in Technical Sciences, chief lecturer, S. M. Budjonny Military Academy of the Signal Corps in Saint Petersburg. St. Petersburg, Tikhoretsky Avenue, 3.

**Semizorov Nikolay I.** Candidate of philosophical sciences, professor. Head of department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Semizorov Yuriy V.** Course officer – teacher. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Sharganov Kirill A.** Chief of laboratory of Federal state budgetary establishment «Main scientific metrological centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow Region., Mytishi, Str. Komarova, 13.

**Shimanov Sergey N.** Honorary radio operator of the Russian Federation. Dr.Sci.Tech., professor. Deputy of general director. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

**Shygalei Denis V.** Teacher. Chief medical officer. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Smurov Sergey V.** Dr.Sci.Tech., professor. Deputy director general. General designer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

**Sytnyak Yuriy A.** Candidate of Engineering Sciences. Head of the Scientific and Analytical Department of FSBSI «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

**Tsimbal Vladimir A.** The honoured worker of a science of the Russian Federation, Dr.Sci.Tech., the professor. The leading scientific employee. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

**Volkov Gennadiy G.** Doctor of physical and mathematical sciences, professor. The Petersburg Nuclear Physics Institute. Leningrad Oblast, Gatchina, Orlova roshcha, 1.

**Zakharova Tatiana V.** Candidat of Science (PhD) in physics and mathematics; assistant professor. Department of Mathematical Statistics, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M.V. Lomonosov Moscow State University. Senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center «Computer Science and Control» Russian Academy of Sciences. Moscow, Vavilov Str., 44-2.



## 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.



## CONTENTS

### **INSTRUMENT MAKING, METROLOGY AND INFORMATION–MEASURING DEVICES AND SYSTEMS**

**Moiseev K.A.**

Basic regularities of the dynamic behavior of mechanical systems with nonlinear elastic constraints.....2

**Kornilov S.V., Konyukhov M.A.**

Metrological provision of theodolites and total stations of electronic, operated in the Armed Forces of the Russian Federation, using a comparator.....10

**Kleimenov Y.A., Sharganov K.A.**

Metrological aspects of testing thermal imaging observing devices.....15

### **RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION**

**Kolombet V.A., Lesnykh V.N., Kolombet E.V.**

Definition of perspective frequencies for radars.....18

**Sal'nikov D.V., Meshkov I.S.**

Methodology for assessing the availability of a global navigation satellite system under the influence of destabilizing factors.....22

**Ryzhenkov V.A., Prasolov V.A., Tsymbal V.A., Shimanov S.N., Bobrus S.Y.**

Determining the additional bandwidth of the TETRA trunking network vocoder.....26

### **INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT**

**Smurov S.V., Volkov G.G., Kukin N.S., Muradova A.R., Korchevaya I.O., Martynova I.A.**

Quantum interrelation of the symmetry groups of the NV-center and many-electron spin structures.....31

**Kostin P.S., Chebotarev A.N.**

Software-simulating complex for integral research aircraft maneuverability.....38

**Avakyan A.A., Romanenko Y.A.**

Economic characteristics of difficult electronic system.....46

**Zakharova T.V., Bezrodny B.F., Rybakov S.S.**

Calculation of priority queuing systems characteristics.....53

**Mukhin V.I., Rybakov A.V., Mazanik A.I., Ivanov E.V.**

On the system of forecasting the state of residential objects under the conditions of the action of an air shock wave.....62

**Furov A.N., Kuznetsov O.P., Ermakov A.D.**

A methodical approach to solving the problem of changing the trajectory the flight of the asteroid.....66

### **INNOVATIVE PROJECTS**

**Sytnyak Y.A., Alyaeva Y.V.**

Analysis of the dynamics of innovative development of scientific centers of the Russian Federation.....72

**Butranov A.S., Nazarov A.V.**

Technical proposal for the design and creation of a special kit with a system of local electric heating clothes.....77

### **MODERN MEDICINE AND PHARMACEUTICS**

**Kurochka V.K.**

The search and acceleration of the introduction of breakthrough technologies is the conceptual basis for the work of the experts of the Medical and Biological Defense Issues Section of the Expert Council of the State Duma Committee on Defense..... 80

### **SPECIAL PURPOSE TECHNIQUE**

**Muntyanu A.A., Rassohin G.N.**

To the question of the evaluation of feasibility developmental work to develop advanced automated control system army.....86

### **PROFESSIONAL EDUCATION**

**Dudulin V.V., Semizorov N.I.**

The traditions of the Strategic Missile Forces and their capabilities in the military professional training of officers.....91

**Shygalei D.V.**

Pedagogical provision of health-saving culture in the educational environment as a basis for the moral and physical development of cadets.....94

**Semizorov Y.V.**

Conditions for improving the content of the fundamentals of preventive pedagogical diagnosis of the aggressive behavior of cadets.....98

### **SCIENTIFIC REVIEWS - SCIENTIFIC CRITIQUE - COMMENTS**

**Kurochka V.K.**

About the work of the Medical and Biological Defense Issues Section of the Expert Council of the State Duma Defense Committee.....101

**AUTHORS** .....102

**REQUIREMENTS TO AUTHORS**.....104



**Межрегиональное  
общественное  
учреждение**

**«Институт  
инженерной  
физики»**

**(МОУ «ИИФ»)**

**научное, образовательное  
и производственное  
учреждение**