№ 1 [43]
2017
+0

научно-технический журнал

Известия

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

8 февраля
ДЕНЬ РОССИЙСКОЙ НАУКИ

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

В НОМЕРЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

2 **С.Б. Беркович, Н.И. Котов, А.Ю. Махаев, Г.А. Мартынюк, М.В. Лапкин, А.Н. Хрусталева.** Оценка эффективности вариантов построения интегрированных комплексов навигации, наведения и целеуказания в условиях воздействия помех специального вида

15 **А.Ю. Махаев, А.С. Бамбиза.** Анализ условий высокоточного азимутального ориентирования спутниковой геодезической аппаратурой

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

20 **Ю.М. Монахов, А.М. Власова.** Экспериментальное исследование показателя производительности маршрутизатора в защищаемой телекоммуникационной сети

25 **П.А. Семёнов, Н.С. Кукин, А.Н. Васильев, С.В. Смуров, А.А. Бухтияров, Д.О. Капусткин, И.О. Глотова, А.Р. Мурадова, А.К. Никитин.** Исследование осцилляций Раби в кубитах кристалла алмаза с использованием зеленого лазера

31 **С.А. Бекренёв.** Подходы к решению задачи нахождения оптимальных параметров подсистемы кадровой синхронизации в сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами при реализации процедуры временного разделения каналов

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

34 **Г.Ф. Утробин, И.А. Обыночный.** Автоматизированная система диагностики качества реализации образовательных программ на кафедре

38 **А.В. Василенко, И.А. Игнатенко.** Задачи UBA-аналитики, применяемой для повышения информационной безопасности автоматизированных систем

42 **С.В. Беспалов, В.О. Мелихов.** Информационная компонента системы мониторинга развития научно-производственных комплексов наукоградов

48 **Г.Г. Волков, Н.С. Кукин, И.О. Глотова, А.Р. Мурадова, Ю.С. Холина.** Геометрия и симметрии в квантовании атомарных систем

58 **В.И. Мухин, А.В. Рыбаков, Р.Р. Вильданов.** О расчетной модели оценки поражающего воздействия воздушной ударной волны от обычных средств поражения

64 **В.С. Алтухов, А.Н. Сизов.** Способы идентификации программного кода на основе анализа сигнатур

68 **П.Е. Стародубцев, Д.В. Смирнов.** Построение многоуровневой защиты корпоративных информационных систем с применением обманных технологий

72 **В.Г. Грибунин, Д.В. Смирнов.** О воспроизводимом извлечении криптографического ключа из нечеткого образа

77 **Н.С. Кукин, И.О. Глотова.** Построение математической модели определения механических связей между точками объекта, представленного на изображении

80 **И.В. Грудинин, А.М. Зубачёв, П.Ю. Бугайченко.** Методика оценивания оперативности получения информации от космических систем дистанционного зондирования земли

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

86 **В.П. Ситников, А.К. Караев, П.Ф. Ситников, Н.И. Пакуро, Л.Ф. Рыбакова, Б.И. Нахманович.** Исследование процесса омеднения волокон полиэтилентерефталата химическими методами

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

91 **Д.В. Шугалей, Н.В. Паков.** Здоровьесбережение в образовательном процессе курсантов ФВА РВСН

94 **А.В. Смирнов.** Формирование компетенций управленческого персонала

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ

97 **А.Н. Царьков, С.В. Смуров, Е.И. Маевский, И.В. Седова.** О медико-биологическом производственном направлении исследований в МОУ «Институт инженерной физики»

101 **AUTHORS**

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ Института инженерной физики

№1(43)2017

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

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

Главный редактор, председатель редакционного совета и редакционной коллегии

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

Редакционный совет

Геннадий Иванович Азаров
заместитель генерального директора – директор Департамента телекоммуникационных систем ФГУП «ЦНИИ ЭИСУ», заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ, лауреат Государственной премии РФ, лауреат премии Правительства РФ, доктор технических наук, профессор

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

Анатолий Анатольевич Донченко
заместитель начальника Главного научно-исследовательского испытательного центра робототехники по научно-исследовательской и испытательной работе Министерства обороны РФ, 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
заместитель главы администрации города Протвино, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

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

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

научно-технический журнал
Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
№ 1 2017
43

Редакционная коллегия

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

ISSN 2073-8110
Учредитель и издатель – МОУ «ИИФ». Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а

Подписной индекс: 59190 по каталогу «Научно-технические издания» ОАО «Роспечать»

Адрес редакции: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
Тел: +7(4967)35-31-93, 35-13-71
Факс: +7(4967)35-44-20 http://www.iifrf.ru
E-mail: info@iifrf.ru

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-26650 от 20 декабря 2006 г.
Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ».
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
Подписано в печать 30.01.2017. Дата выхода в свет 07.02.2017. Тираж 2000 экз. Цена свободная.
© Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики» (ИИФ), 2017

Сергей Владимирович Смуров

Первый заместитель генерального директора МОУ «ИИФ» по научной работе – главный конструктор,
доктор технических наук, профессор

Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

Развитие любой страны в условиях глобальной экономики определяется ее научным потенциалом и возможностями в области производства. Поступательное развитие фундаментальной науки и связанное с ним использование новейших технологий позволяют государству оставаться полноценным суверенным и экономически независимым членом мирового сообщества.

Практическое применение и всесторонняя апробация современных научных знаний являются отличительными чертами деятельности нашего Института, который добился больших результатов. Это, в первую очередь: научное обоснование, разработка и проектирование систем и средств защиты информации, работающих на различных физических принципах; разработка и практическая реализация инновационных методов неразрушающего контроля и прочностной диагностики; совершенствование теоретических основ и реализация перспективных разработок в области навигационно-баллистического обеспечения, АСУ и связи.

Консолидация в Институте коллектива, состоящего из уникальных ученых и специалистов, обладающих большими теоретическими знаниями в различных областях науки и практическим опытом проведения инновационных исследований, а также оснащение наших научных подразделений уникальным оборудованием мирового уровня с возможностью проводить широкий спектр исследований в различных областях, позволяет нам уверенно смотреть в будущее и при реализации новых для нас направлений: медико-биологического (создание перспективных лекарственных препаратов и изделий инженерной медицины); направления квантовых информационных технологий, которые доведены до практической реализации в рамках НИР и ОКР с участием и государственных заказчиков.

Большую значимость имеют результаты нашей деятельности и в рамках реализации государственной программы создания импортонезависимой экономики. Мы можем отметить уже реализуемый проект создания на базе МОУ «ИИФ» ряда мелко- и среднесерийных производственных участков: участок приборостроения, включающий в себя линию подготовки корпусов, создания коммутационных устройств, линию поверхностного электромонтажа 5-го класса, испытательный участок; участок опытно-промышленного фармацевтического производства с широким ассортиментом лекарственных форм выпускаемой продукции.

МОУ «ИИФ» в полной мере оправдывает свое название научного, образовательного и производственного объединения: мы проводим научные фундаментальные и прикладные исследования, осуществляем подготовку научно-исследовательских и производственных высококвалифицированных кадров, а результаты научных исследований доводим до практической реализации и производства. Это является залогом нашей уверенности в дальнейшей успешной деятельности Института на благо Родины.

С праздником, дорогие друзья! С Днем российской науки!

УДК 629.78

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ НАВИГАЦИИ, НАВЕДЕНИЯ И ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF OPTIONS FOR BUILDING INTEGRATED SYSTEMS NAVIGATION, GUIDANCE AND TARGETING IN THE CONDITIONS OF INTERFERENCE OF A SPECIAL KIND

Сергей Борисович Беркович
доктор технических наук, профессор
начальник управления
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: naviserp@gmail.com

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

Александр Юрьевич Махаев
начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: naviserp@gmail.com

Геннадий Анатольевич Мартынюк
кандидат технических наук
старший преподаватель
ВА РВСН им. Петра Великого
(филиал в г. Серпухове)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17

Михаил Васильевич Лапкин
начальник лаборатории
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: naviserp@gmail.com

Анна Николаевна Хрусталева
техник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: naviserp@gmail.com

Аннотация

Целью статьи является представление результатов решения задачи оценки эффективности вариантов построения интегрированных комплексов навигации, наведения и целеуказания в условиях воздействия помех специального вида на примере обобщенной схемы системы навигации, наведения и целеуказания крылатых ракет, как наиболее известного и реализованного на практике подхода к построению систем такого класса.

Обоснованы показатели оценки эффективности, показано, что наиболее трудоемкой операцией является оценка значений вероятности обнаружения помехи специального вида в структуре спутникового радионавигационного сигнала. Представлены основные этапы решения задачи оценки показателей эффективности методами математического моделирования, при этом обоснован механизм формирования структуры и параметров помехи, не распознаваемой системой контроля

целостности при определенных условиях, представлены номограмма для оценки погрешностей интегрированных навигационных комплексов при различных исходных данных.

Результатами исследований являются номограммы, определяющие следующие зависимости: зависимость вероятности обнаружения интеллектуальной помехи системой встроенного контроля целостности интегрированной навигационной системы от времени движения объекта до терминальной точки и заданной величины бокового отклонения в терминальный момент времени; зависимости показателя эффективности выбранного варианта построения от времени движения и заданного бокового отклонения; зависимости вероятности достижения цели в функции бокового отклонения и времени движения.

Данные номограммы возможно получать оперативно для конкретного варианта при условии задания параметров функционирования, математической модели, времени движения, значений бокового отклонения.

Ключевые слова: Интегрированная навигационная система, контроль целостности измерительной информации, вероятность распознавания (обнаружения), методы математического моделирования, погрешность навигации.

Summary

The purpose of article is representation results of the solution of efficiency evaluation problem for different variants of integrated navigation and targeting systems functioning in the conditions of express hindrances influence. The generalized scheme of navigation and targeting system of cruise missiles is considered, as the most known approach to creation of such class systems realized in practice.

Indicators of an efficiency evaluation are proved. It is shown that the most sophisticated operation is the probability estimation of detection of a special type hindrance in a structure of a radio navigational signal. The main stages of the problem solution of an efficiency estimation by numerical methods are presented. Approach to formation of structure and parameters of the hindrance which is not distinguished by the integrity monitoring system is suggested. Nomograms for an estimation of errors of the integrated navigation system are given for various initial data.

Results of researches are given in a type of the nomograms defining the following dependences. Dependence of probability of an intellectual hindrance detection by firmware integrity monitoring system of the integrated navigation system on time of object's movement to the aim and the predefined value of a lateral deviation in a terminating instant. Dependence of an efficiency of the chosen construction option on time of object's movement and the predefined lateral deviation. Dependence of probability of aim achievement on the given lateral deviation and time of object's movement.

It is possible to obtain these nomograms quickly for concrete option at the given parameters of functioning of integrated system, its mathematical model, time of movement, values of object lateral deviation.

Keywords: the integrated navigation system, measuring information integrity control, probability of recognition (detection), methods of mathematical modeling, navigation error.

Введение

Мировые тенденции развития средств навигации и наведения таковы, что альтернативы интегрированным системам и комплексам нет [1-7].

Лучшие мировые образцы автономных навигационных систем, реализующих методы счисления пути, обеспечивают следующие значения погрешностей (СКО) позиционирования: навигация наземных объектов – порядка 50 метров при безостановочном автономном движении по маршрутам протяженностью до 80 километров; навигация летательных аппаратов – порядка 700 м за час движения. Обладают большой массой, габаритами и стоимостью.

Вывод 1. Технологические возможности повышения точности навигационных датчиков и приборов, обеспечивающих высокоточное автономное позиционирование объектов при безостановочном автономном движении по протяженным маршрутам на основе реализации методов счисления пути, в настоящее время и на далекую перспективу исчерпаны.

Радиотехнические средства (спутниковые радионавигационные системы), реализующие позиционные методы навигации, в принципе обеспечивают высокоточную коррекцию показаний инерциальных навигационных систем с СКО порядка единиц метров, однако обладают низкой помехозащищенностью [8, 9].

Общепризнанной тенденцией дальнейшего повышения точности является использование новых информационных ресурсов в виде навигационных полей рельефа, оптического контраста и др., что предполагает реализацию обзорно-сравнительных методов навигации (коррекции) и создание на их основе интегрированных комплексов навигации и наведения (ИКНН) [10, 11].

В настоящее время лучшие мировые образцы, например, для крылатых ракет (КР), обеспечивают погрешность позиционирования и наведения (СКО) на уровне единиц метров.

Реализация методов обзорно-сравнительной навигации предполагает использование высокоточных цифровых карт как местности и ориентиров на локальные участки местности.

Вывод 2. Учитывая мировые тенденции и масштабность процесса создания цифровых карт, включая цифровые карты местности, можно сделать вывод, что в ближайшем будущем данный информационный ресурс можно будет отнести к глобальному навигационному полю, как например, поле инерционных сил.

С целью контроля достоверности информации данных интегрированных комплексов навигации и наведения (ИКНН) разработаны различные системы контроля целостности навигационной информации, в частности, бортовая автономная система контроля целостности AAIM (Airborne Autonomous Integrity Monitoring) [12-19].

Основное содержание процесса функционирования систем класса AAIM сводится к реализации алгоритмов формирования статистики на основе значений невязок измерительной информации от различных источников навигационной информации, объединенной на основе априорно сформированных уравнений связей, а также реализации алгоритмов их анализа. При этом содержание процедуры анализа сводится к оценке значений вероятности распознавания факта несоответствия прогнозных значений значениям данных измерительной информации, в конечном счете, оценке показателей достоверности формируемых оценок навигационных параметров.

Физической предпосылкой организации данных процедур контроля достоверности является различный спектр погрешностей навигационных датчиков интегрированных систем, наличие избыточности измерений и «корректоров-ограничений» в виде уравнений связей между навигационными данными, полученными от различных источников информации.

В настоящее время активно проводятся работы по изучению устойчивости интегрированного решения, с учетом совместного функционирования с системой контроля целостности навигационной информации.

Так, например, в работе [13] рассмотрены жесткосвязанные интегрированные системы, представлены результаты тестирования алгоритмов обнаружения медленно нарастающих помех, рассмотрена структура алгоритма повышенной точности идентификации факта наличия медленнонарастающих помех, в работе [14] предложены робастные алгоритмы, контроля целостности, отсекающие ненаблюдаемые спутники, в [15] рассмотрены вопросы повышения информационной надежности на основе реализации дополнительных аппаратных средств, в частности установке дополнительных антенн, в работах [16, 17] приведены результаты исследований экстраполирующих и хи-квадрат алгоритмов обнаружения помех жесткосвязанных систем, показано, что хи-квадрат эффективен в распознавании ступенчатых и быстронарастающих помех, экстраполятор – медленнонарастающих, рассмотрены алгоритмы жесткосвязанной системы, позволяющий распознать сбои динамической модели и выключить их из измерений, в работе [18] рассмотрен новый метод разделения ошибок: быстрый и чувствительный, в [19] подробно рассмотрены вопросы контроля целостности глубокоинтегрированных навигационных систем с применением микромеханических гироскопов.

В основном все исследования направлены на разработку методов идентификации помех и при этом не затрагивают вопросы оценки эффективности тех или алгоритмов к так называемым интеллектуальным уводящим помехам, которые могут, при определенных условиях, не распознаваться полностью системой встроенного контроля целостности интегрированных комплексов, не рассматриваются вопросы оценки последствий нераспознавания уводящих помех с учетом целей применения ИКНН при решении конкретных задач навигации, наведения и целеуказания.

Учитывая вероятностный характер оценок, как следствие и вероятностный характер принятия решения о возможном наличии такого рода помех, в работе ставится задача обоснования

структуры и параметров уводящих траекторий (помех), не распознаваемых встроенной системой контроля целостности с заданной вероятностью, а также разработки механизма оценки возможных последствий их не распознавания.

Сложность решения задачи определяется многими факторами, в частности:

- задача является динамической, стохастической, поскольку таковой является модель погрешностей инерциальных навигационных систем;
- задача является минимаксной (с одной стороны необходимо найти минимум вероятности обнаружения интеллектуальной помехи, с другой – искомый минимум вероятности определяется, как максимальное значение вероятности обнаружения помехи интегрированной системой на интервале времени движения объекта;
- задача нахождения уводящей траектории некорректна в части формирования ее модели, поскольку априорно неизвестна структура искомых функций, определяющих зависимости погрешностей координат, измеренных СНАП, от времени движения. Необходимы некоторые дополнительные предположения об этих функциях, например, что они с достаточной точностью приближения могут быть представлены степенными многочленами;
- задача относится к классу задач с принятием решений, выбором, поскольку в ней фигурирует процедура обнаружения интеллектуальной помехи в интегрированной навигационной системе (принятия соответствующего решения).
- задача является нелинейной, что предполагает на практике поиск оптимума численными методами.

Учитывая сложность задачи, ее многомерность, решение обосновывается методами математического моделирования. При этом авторы осознают, что данный метод анализа не дает ответа на главный вопрос: «Обоснованность решения во множестве всех возможных исходных данных», что является следствием применимого метода. Этот недостаток можно рассматривать как постановка задачи молодым исследователям на будущее.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исходные данные

1. Задан обобщенный состав интегрированного комплекса навигации и наведения (на примере системы навигации, наведения и целеуказания крылатой ракеты): бесплатформенная навигационная система (БИНС), спутниковая навигационная аппаратура потребителя (СНАП), обзорно-сравнительные системы навигации по рельефу местности и оптическим ориентирам в терминальной области – системы TERCOM и DSMAC соответственно.

Структура интегрированного комплекса с контуром оценки показателей эффективности представлена на *рисунке 1*.

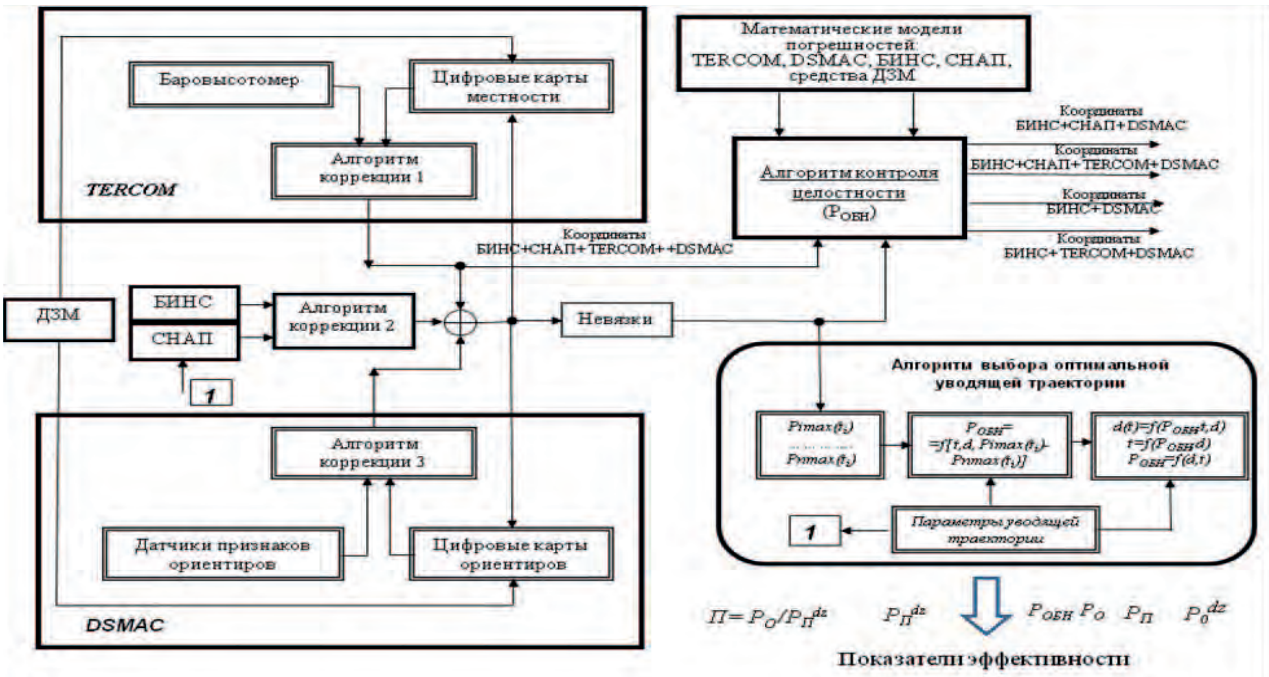


Рис. 1. Пример структуры интегрированного комплекса навигации и наведения с контуром оценки показателей эффективности

2. Заданы значения вектора погрешностей БИНС, СНАП, границы терминальной области наведения d_0 – значения границ областей «захвата цели» в районах терминальной точки наведения; d – требуемое значение отклонения от точки наведения в терминальной точке.

3. Метод комплексирования информации: алгоритмы калмановской фильтрации (алгоритм оценки вектора погрешностей интегрированной навигационной системы) [20-28].

4. Алгоритмы контроля целостности основываются на анализе значений сформированной статистики невязок алгоритмов оптимальной обработки информации [13].

5. Заданы требуемые значения вероятности обнаружения уводящей траектории, времени достижения терминальной точки (цели) движения объекта или требуемые значения отклонения к терминальному моменту времени.

Необходимо

1. Определить обобщенные и частные показатели оценки эффективности выбранного варианта построения ИКНН, обосновать соотношения для их оценки.

2. Провести анализ и интерпретацию полученных результатов исследований.

РЕШЕНИЕ

Обоснование обобщенного алгоритма оценки показателей эффективности

Значения показателя должны обеспечить оценку эффекта применения ИКНК при генерации радионавигационного поля с введением уводящей траектории (интеллектуальной помехи) относительно варианта при нормальном функционировании всех подсистем навигации, наведения и целеуказания РТК (при заданных значениях: погрешностей БИНС, градиентах рельефа местности, погрешностей определения координат спутниковой навигационной аппаратурой потребителя, внутренних границ областей работы систем терминального наведения и др.).

Под показателем эффективности $П$ будем понимать отношение вероятности P_0 достижения цели без воздействия ложных навигационных сигналов на системы навигации и наведения РТК к соответствующей вероятности $P_П$ при воздействии ложных навигационных сигналов (ЛНП).

Сущность оценки значений показателя эффективности сводится к сравнительному анализу значений вероятностей достижения цели для двух вариантов (*рисунок 2*):

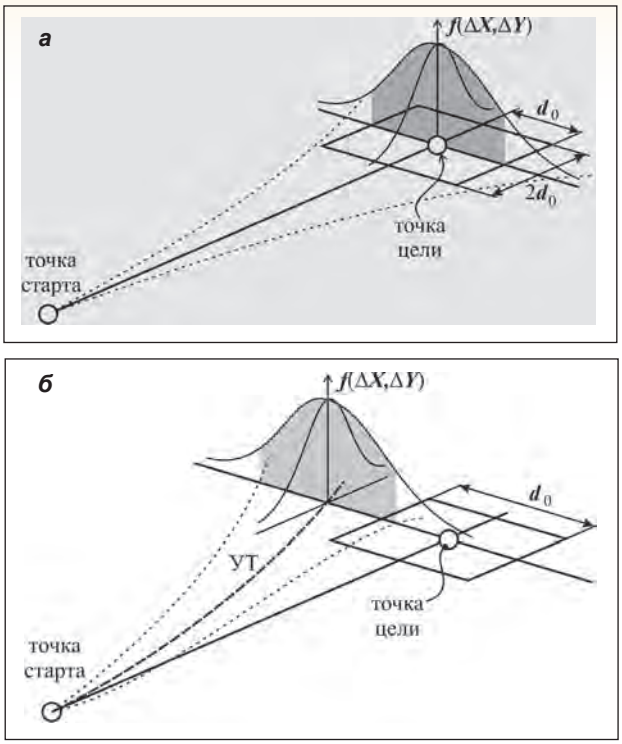


Рис. 2. К вопросу оценки эффективности защиты ИКНН

– вероятность достижения цели при нормальном функционировании всех подсистем наведения и целеуказания (*рисунок 2а*);

– вероятность поражения достижения при наличии в структуре радионавигационного сигнала уводящей траектории – «интеллектуальной помехи» (*рисунок 2б*).

Данное значение позволяет оценить уменьшение вероятности достижения цели в результате применения ЛНП.

Алгоритм оценки определяется следующей последовательностью вычислений

$$P_0 = erf\left(\frac{d_0}{\sqrt{2}\sigma_X}\right) erf\left(\frac{d_0}{\sqrt{2}\sigma_Y}\right)$$

$$P_Л(d) = \frac{1}{2}\left(erf\left(\frac{d+d_0}{\sqrt{2}\sigma_X}\right) - \left(\frac{d-d_0}{\sqrt{2}\sigma_X}\right)\right) erf\left(\frac{d_0}{\sqrt{2}\sigma_Y}\right)$$

$$P_П = (T,d) = (1 - P_{ОБН}(T,d)) \cdot P_Л(d) + P_{ОБН}(T,d) \cdot P_0(T)$$

$$П = \frac{P_0}{P_П}, \qquad (1)$$

где $П$ – обобщенный показатель эффективности средств защиты ИКНН от воздействия уводящих траекторий;

P_0 – вероятность достижения цели при отсутствии в структуре радионавигационного сигнала уводящих траекторий (нормальное функционирование всех подсистем наведения и целеуказания РТК);
$P_П$ – вероятность достижения цели при наличии в структуре радионавигационного сигнала уводящих траекторий воздействии с учетом возможностей их идентификации встроенной системой контроля целостности навигационных определений, входящей в состав ИКНН;
$P_{ОБН}$ – вероятность обнаружения уводящей траектории (ложного навигационного сигнала) (вероятность идентификации факта воздействия);
d_0 – значения границ областей «захвата цели» в районах терминальной точки наведения;
d – требуемое значение отклонения от точки наведения в терминальной точке (должно превышать значения границ областей «захвата цели», с целью обеспечения срыва решения задачи наведения).

Замечание: наиболее сложным вычислением (и основным) является вычисление вероятности обнаружения $P_{ОБН}$ уводящей траектории в структуре радионавигационного сигнала. В дальнейшем этому вопросу и будет уделено основное внимание, так как это определяющим образом зависит от структуры интегрированного комплекса, алгоритмов комплексной обработки информации и контроля целостности навигационной информации.

Оценка вероятности P_0 достижения цели при отсутствии уводящей траектории в структуре радионавигационного сигнала

Оценку значений вероятности P_0 получим на основе показателей точности работы системы навигации и наведения, а именно: погрешностей БИНС, СНАП, системы коррекции по рельефу местности и оптической системы наведения на цель, функционирующей на заключительном участке траектории. Располагая характеристикой этих систем, используем допущение, согласно которому цель будем достигнута, если отсутствует срыв работы последней системы (оптической). Необходимым условием захвата цели оптической системой будем считать вывод объекта системой наведения в квадрат, центр которого совпадает с точкой цели, размер стороны равен $2d_0$ (*рисунок 2а*).

Вывод объекта в указанный квадрат является случайным событием, исход которого зависит от точности выработки значений координат интегрированной системой. На *рисунке 2а* двумя прерывистыми линиями схематично показаны границы области, за которую объект не выходит в процессе своего движения с некоторой заданной вероятностью. В общем случае для нахождения вероятности попадания в указанный квадрат, необходимо знать значения погрешностей координат, вырабатываемых интегрированной навигационной системой.

Погрешности интегрированной навигационной системы (БИНС+СНС+ системы коррекции по рельефу) в осях системы координат обозначим ΔX и ΔY. Будем полагать, что значения данных погрешностей нормально распределены, центрированы, взаимно независимыми и имеют среднеквадратические погрешности определения координат в плане (СКП) σ_X и σ_Y, соответственно.

Тогда вероятность попадания в квадрат определяется общей формулой

$$P_0 = \int_{-d_0}^{-d_0} \int_{-d_0}^{-d_0} f(\Delta X, \Delta Y) d\Delta X d\Delta Y , \qquad (2)$$

где $f(\Delta X, \Delta Y)$ – функция плотности распределения вероятностей случайных погрешностей ΔX и ΔY определения координат в плане (далее для сокращения – плотность).

С учетом сделанных относительно погрешностей ΔX и ΔY предположений получим в результате конкретизации предыдущей формулы

$$P_0 = erf\left(\frac{d_0}{\sqrt{2}\sigma_X}\right) erf\left(\frac{d_0}{\sqrt{2}\sigma_Y}\right) , \qquad (3)$$

где $erf(X)$ – интеграл Лапласа.

Ниже приведен ряд оценочных числовых примеров расчета значений вероятности.

В интегрированной навигационной системе СКП координат примем $\sigma_X=\sigma_Y=50$ м. При $d_0=500$ м получим вероятность достижения цели $P_0=1$. С увеличением значений стороны квадрата данное значение не уменьшается, поскольку *erf* является возрастающей функцией при положительном аргументе.

Далее предположим отсутствие СНАП в составе интегрированной системы (сигнал подавляется или по иным причинам не используется в контуре обработки информации интегрированной системы). Для этого случая допустим следующие уровни значений СКП $\sigma_X=\sigma_Y=200$ м (погрешность коррекции по рельефу с учетом накопленной погрешности БИНС в автономном режиме за промежуток времени движения РТК от последней коррекции до точки цели). Расчетное значение вероятности составит $P_0 \approx 0.97$. Как и в предыдущем случае, искомая вероятность близка к единице.

В случае низкой информативности поля рельефа (равнинная местность, отсутствие пере-

Таблица 1

Зависимость значений вероятности достижения цели от значений стороны квадрата (зоны захвата) d_0 и значений СКП $\sigma_X=\sigma_Y$ определения координат навигационной системы в терминальной области наведения

d_0, м	Уровень СКП $\sigma_X = \sigma_Y$ координат, м									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
500	1	0.97	0.81	0.62	0.46	0.35	0.27	0.21	0.17	0.14
1000	1	1	0.99	0.97	0.91	0.81	0.71	0.62	0.53	0.46
1500	1	1	1	0.99	0.99	0.97	0.93	0.88	0.81	0.75
2000	1	1	1	1	0.99	0.99	0.99	0.97	0.94	0.91
2500	1	1	1	1	1	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97

падов высот, срыв коррекции по рельефу) вероятность P_0 уменьшается вследствие увеличения погрешностей определения координат. Если предположить полное отсутствие возможности уточнения местоположения объекта с помощью информации о рельефе местности, то в автономной БИНС за время движения 2000 с накапливается погрешность, характеризуемая следующими значениями СКО $\sigma_X=\sigma_Y=500$ м. Здесь вероятность $P_0 \approx 0.32$. При тех же условиях и $d_0=1000$ м получим $P_0 \approx 0.91$.

В общем случае для оценки значений вероятности достижения цели можно воспользоваться таблицей ниже (*таблица 1*).

Оценка вероятности достижения цели при наличии уводящей траектории в структуре радионавигационного сигнала

Для этого целесообразно выстроить последовательность событий, начиная от момента воздействия ложного навигационного поля, и заканчивая моментом достижением цели. Такая последовательность схематично представлена на *рисунке 3*, где показаны также и вероятности переходов от одного события к другому. Здесь отметим, что представленная схема является простой, но достаточной для оценки эффективности в решаемой задаче. При необходимости

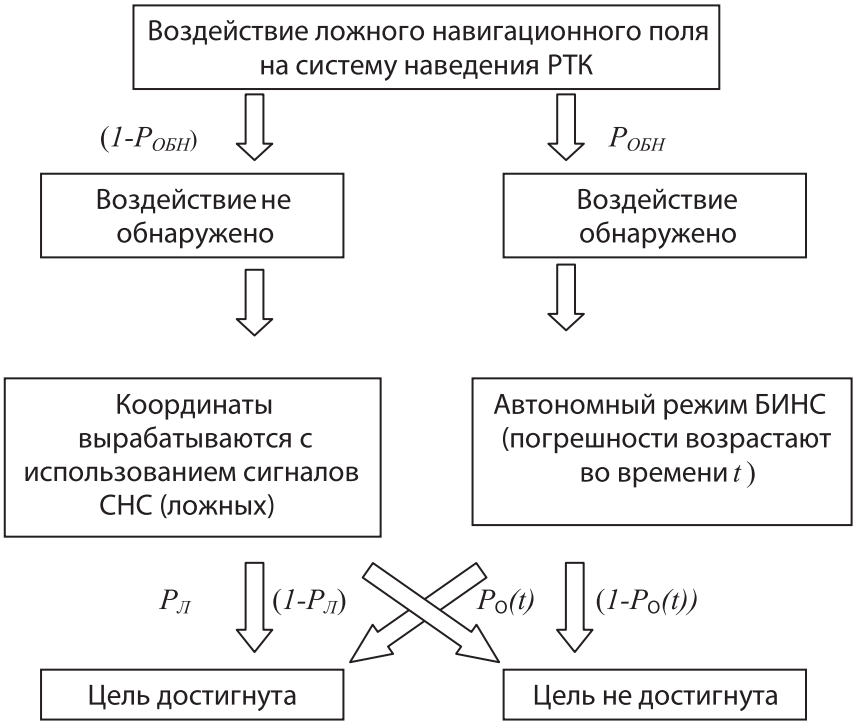


Рис. 3. События случайного процесса достижения цели и соответствующие вероятности перехода

она может быть дополнена другими событиями, которые потребуется учесть в оценке эффективности, соответствующими переходными вероятностями, представлена в большей степени формализации – в виде графа.

Согласно схеме (*рисунок 3*) в случае воздействия ложного навигационного поля на систему навигации и наведения РТК возможно обнаружение этого факта с вероятностью $P_{ОБН}$.

Зависимость значений вероятности обнаружения $P_{ОБН}$ интеллектуальной помехи интегрированной системой от времени T движения объекта до цели и заданной величины бокового отклонения d в виде номограмм дополнительно будет рассмотрена ниже.

Приведем здесь фрагмент номограммы для удобства уяснения (*рисунок 4*).

Из нее видно, что при различных исходных данных d, T весьма вероятны исходы событий, как обнаружения воздействия ложного навигационного поля, так и его отсутствия (нельзя допустить, что вероятности «почти равны» нулю или единице).

В случае обнаружения воздействия системой наведения ВТО предполагается автономная выработка координат. В этом случае погрешности координат возрастают во времени t по известному закону. Это приводит к тому, что вероятность поражения цели (в автономном режиме) зависит от времени движения объекта до цели: $P_0(t)$. Для расчета этой вероятности могут использоваться формулы, аналогичные полученным выше, с той лишь разницей, что уровни СКП координат будут являться функциями времени t.

Пример такой функции, которая может быть аппроксимирована полиномом $\sigma(t) = 20 + 1.5 \cdot 10^{-4} t^2$, приведен на *рисунке 5*. С учетом нее вероятность в момент времени T определяется формулой

$$P_0(T) = erf\left(\frac{d_0}{\sqrt{2}(T)}\right)^2, \qquad (4)$$

В формулах будем различать параметры, зависящие и независящие от времени, имеющих такое же обозначение переменных.

В случае если воздействие не обнаружено, СКП координат интегрированной системы ожидается не хуже СКП спутниковых координат, $\sigma_X = \sigma_Y = 50$ м. В данном случае расчет вероятностей попадания в квадрат должен учитывать важное обстоятельство, состоящее в том, что погрешности ΔX и ΔY нельзя считать центрированными в силу движения объекта по УТ. Это иллюстрирует *рисунок 2б*, где в отличие от «прототипа» – *рисунка 2а*, показана УТ (прерывистая жирная линия). Смещение максимума плотности $f(\Delta X, \Delta Y)$ по направлению от цели приводит к уменьшению вероятности попадания объекта в квадрат. Получим формулы для расчета вероятности в этом случае.

Для этого конкретизируем в исходной формуле совместную плотность $f(\Delta X, \Delta Y)$, положив в ней неравенство нулю математического ожидания погрешности координат, характеризующей промах по направлению (вбок и влево относительно точки цели на *рисунке 2б*). Учитывая возможность произвольного выбора ориентации системы координат XY, для определенности предположим неравенство нулю математического ожидания погрешности координаты ΔX, $M[\Delta X] = d$. Тогда матожидание погрешности ΔY равно нулю. Совместная плотность распределения этих погрешностей примет вид

$$f(\Delta X, \Delta Y) = \frac{1}{2\pi\sigma_X\sigma_Y}\exp\left(-\frac{(\Delta X - d)^2}{2\sigma_X^2} - \frac{\Delta Y^2}{2\sigma_Y^2}\right).$$

С учетом этого вероятность попадания в квадрат при условии не обнаружении воздействия определяется по формуле

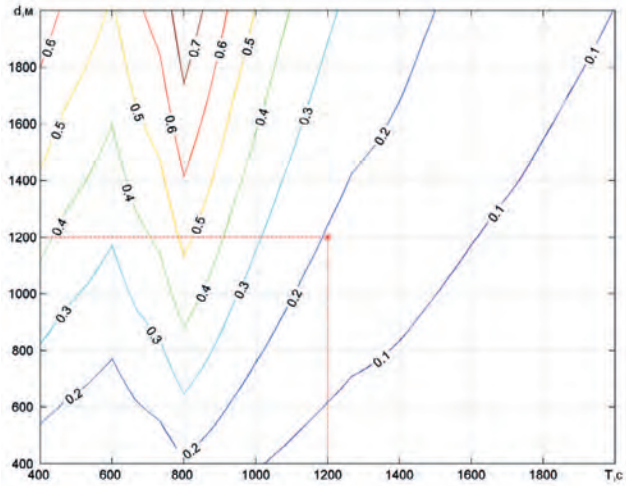


Рис. 4. Номограмма для определения значений вероятности $P_{ОБН}$ обнаружения интеллектуальной помехи

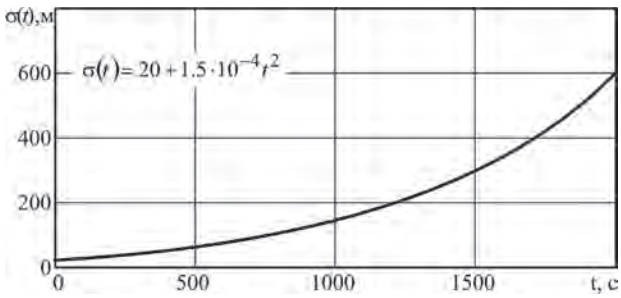


Рис. 5. Типовая зависимость СКП координат БИНС от времени (0<*t*<2000 с)

$$P_Л(d)=\frac{1}{2}\left(erf\left(\frac{d+d_0}{\sqrt{2}\sigma_X}\right)-erf\left(\frac{d-d_0}{\sqrt{2}\sigma_X}\right)\right)erf\left(\frac{d_0}{\sqrt{2}\sigma_Y}\right). \quad (5)$$

На основании схемы, приведенной на *рисунке 3*, вероятность достижения цели при наличии в структуре радионавигационного сигнала уводящих траекторий воздействии с учетом возможностей их идентификации встроенной системой контроля целостности навигационных определений, входящей в состав ИКНН будет определяться следующим соотношением

$$P_П=(T,d)=(1-P_{ОБН}(T,d))\cdot P_Л(d)+P_{ОБН}(T,d)\cdot P_0(T).$$

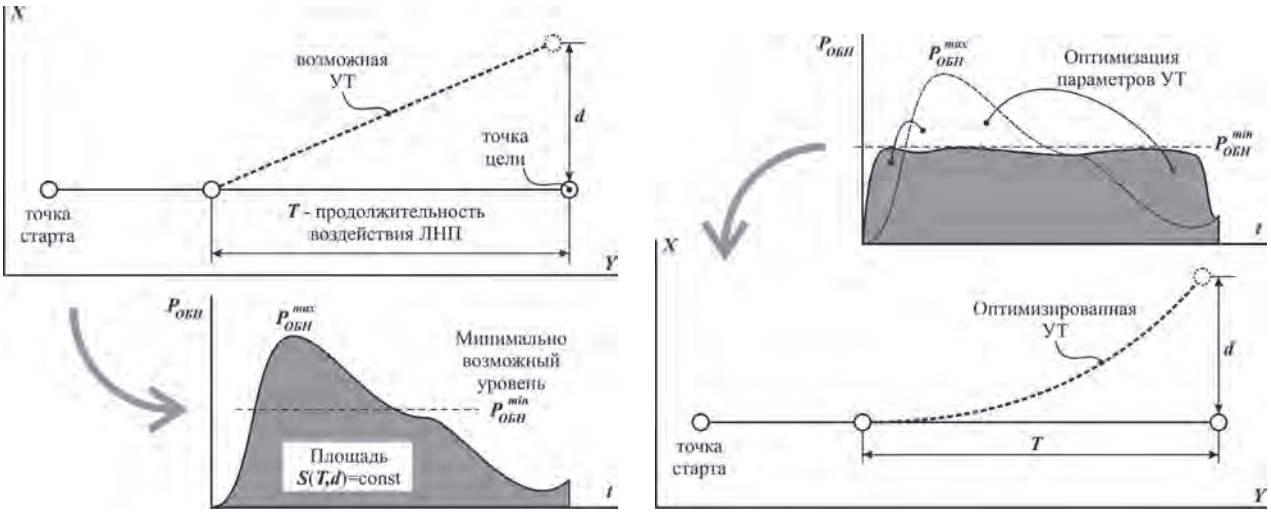
Оценка вероятности обнаружения уводящей траектории в структуре радионавигационного сигнала средствами встроенной системой контроля целостности навигационных данных

Существо этой процедуры схематично иллюстрируют *рисунки 6а* и *6б*. На *рисунке 6а* возможная уклоняющая траектория (УТ) показана для простоты в виде прямолинейного отрезка, соединяющего точку начала воздействия ложного навигационного поля и точку цели, причем точка цели намеренно отклонена на расстояние d. Этой форме УТ соответствует некоторая (неоптимальная в общем случае) зависимость вероятности $P_{ОБН}$ обнаружения воздействия от времени T. В последней зависимости условно можно выделить часть с максимальными значениями $P_{ОБН}$ и часть с «провалом» относительно минимально возможного уровня вероятности. В первом приближении можно считать, что площадь под кривой $P_{ОБН}(t)$ является фиксированной величиной, зависящей от продолжительности воздействия T и требуемой величины отклонения d. Это выступает в качестве основного ограничения в решаемой задаче.

С учетом данного ограничения в осях $P_{ОБН}$, t задача оптимизации УТ состоит в выборе таких ее параметров, которые обеспечивают уменьшение пиковых значений зависимости $P_{ОБН}(t)$ за счет увеличения минимальных значений, в результате чего максимум этой функции на интервале [0, T] уменьшается до минимально возможного значения. Схематически это показано на *рисунке 6б*. В результате достигается минимально возможный уровень вероятности обнаружения помехи на всем рассматриваемом интервале. Ему соответствует оптимизированная УТ, схематично показанная в нижней части *рисунка 6б*.

По сути, формирование уводящей траектории основывается на моделировании работы процесса функционирования интегрированного комплекса навигации и наведения и системы встроенного контроля целостности, входящей в состав интегрированного комплекса, представленного на *рисунке 1*.

Учитывая, что значения невязок непосредственно определяют значения вероятности обнаружения «неполадок» стоит задача, путем моделирования процесса функционирования системы целеуказания, системы встроенного контроля выбрать такие параметры уводящей траектории, которые обеспечивали минимально возможные значения вероятности обнаружения.



а *б*

Рис. 6. Возможная УТ и соответствующая ей зависимость вероятности обнаружения помехи от времени

Обоснование алгоритма поиска субоптимальной уводящей траектории (УТ)

Задача нахождения УТ, наилучшей в смысле обеспечения минимальной вероятности обнаружения интеллектуальной помехи, характеризуется следующими особенностями, важными с позиций поиска ее практического решения.

Исходя из перечисленных особенностей целесообразным является непосредственное численное нахождение УТ на основе простого перебора значений ее параметров. Следовательно, получаемое таким образом решение не является строго оптимальным (субоптимальное решение). Близость получаемого решения к оптимальному обеспечивается малым шагом сеток варьируемых параметров УТ. На практике она ограничивается только производительностью исполняющего программу вычислителя.

Практика решения задачи поиска УТ показала, что искомые УТ являются «гладкими» (отсутствуют разрывы, скачкообразные изменения координат – функций времени). Поэтому простой перебор в данном случае представляется оправданным, учитывая указанные выше особенности задачи. Достоинством его является минимальная вероятность возникновения методических ошибок решения оптимизационной задачи и погрешностей вычислений, а также «гарантия» получения пользователем субоптимального решения за заданное (конечное) время.

УТ задается оператором посредством 5 слайдеров. В дополнение к ним используется слайдер масштаба, позволяющий кратно увеличивать боковое отклонение объекта. Их положение, по существу, и определяет параметры УТ. Посредством слайдеров формируются 5 точек УТ, равномерно расположенных на оси времени движения объекта к цели. В промежутках между этими точками положение объекта рассчитывается с помощью кубического сплайна. Такой подход позволяет построить модуль поиска параметров субоптимальной УТ на основе автоматического (выполняемого самим модулем) изменения положения слайдеров с последующим анализом результатов расчетов – выбором «наилучшей» УТ.

Методология решения задачи

Задача решается методами математического моделирования.

Задаются истинные значения параметров траектории движения подвижного объекта, время движения подвижного объекта, рассчитываются истинные значения ускорений и текущих координат. На основе данных значений формируются истинные показания датчиков БИНС и СНАП.

Формируются модели погрешностей БИНС и СНАП (структура функций в виде уравнений состояния и наблюдения), вводятся исходные данные для решения системы уравнений состояния и наблюдения численными методами в функции времени, что обеспечивает получение значений погрешностей систем БИНС и СНП в функции времени.

Формируются измеренные значения навигационных систем $Z_б$ и $Z_{СНАП}$.

Формируется уводящая траектория (на начальном этапе приближенная).

На основе модели истинных параметров и модели погрешностей, а также значений параметров и структуры функции уводящей траектории, формируются значения измерительной информации БИНС и САНП, при этом предусматривается возможность оперативного изменения структуры и параметров функции.

Запоминание начальных значений искомой УТ, заданных оператором посредством слайдеров.

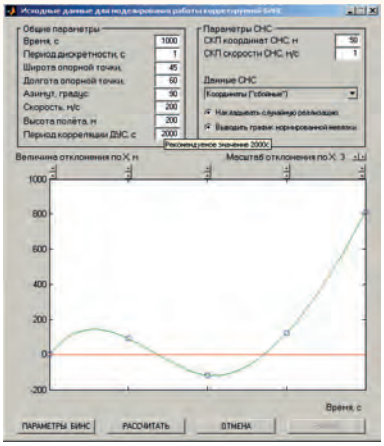
Варьирование значений параметров УТ путем автоматического задания положения слайдеров в окне основной программе.

Измерительная информация СНАП (с учетом значений функции уводящей траектории) и БИНС объединяются алгоритмами комплексной обработки информации, например, на основе алгоритмов калмановской фильтрации, на основе значений невязок фильтра в i-х временных точках формируются значения статистики, значения которой подчинены хи-квадрат распределению, по значениям которых для i-х моментов времени рассчитываются вероятности распознавания наличия уводящих траекторий.

Проводятся n экспериментов, в каждом эксперименте изменяется траектория (в работе изменялись 5 контрольных точек функции), определяется максимальное значение вероятности распознавания и соответствующий момент времени. После проведения экспериментов (порядка 10 000) по максимальным значениям вероятности выбиралась функция уводящей траектории, которой соответствовало минимальное значение вероятности из всех максимальных значений.

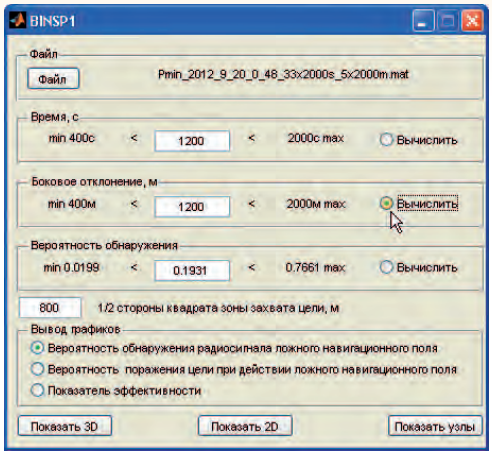
Решая обратные задачи, осуществлялась оценка и других параметров в соответствии с постановкой задачи.

Учет характеристик обзорно-сравнительных систем осуществляется путем заданием значе-

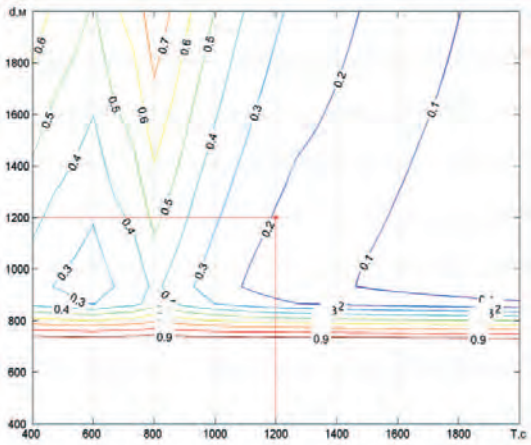


а) Окно ввода параметров уводящей траектории

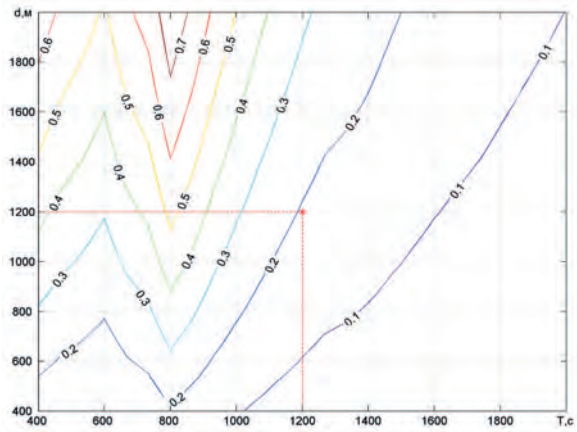
б) Окно ввода погрешностей БИНС



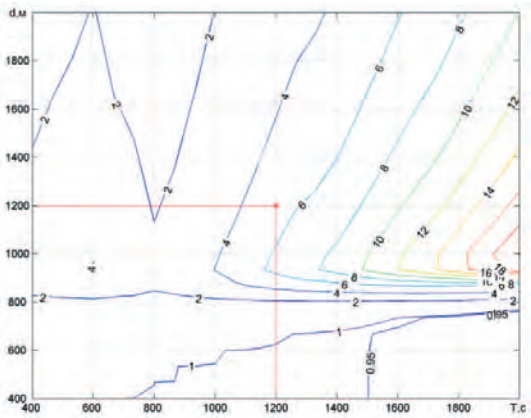
в) Окно программы для расчета значений показателей эффективности



г) Изолинии вероятности поражения (достижения) цели, функция от времени *T* действия ложного радионавигационного поля и величины бокового отклонения *d*



д) Зависимость вероятности обнаружения интеллектуальной помехи от времени движения объекта до терминальной точки и заданной величины бокового отклонения в терминальный момент времени



е) Расчетные значения показателя эффективности П (изолинии)

Рис. 7. Методика оценки показателей эффективности выбранного варианта построения ИКНН

ний стороны квадрата зоны захвата и СКО к моменту начала генерации уводящих траекторий. На *рисунке 7* представлены основные этапы процедуры оценки эффективности выбранного варианта ИКНН.

Реализация предлагаемого подхода обеспечивает решение следующих задач:

– при заданных значениях времени движения объекта и вероятности обнаружения факта наличия помехи, в виде уводящей траектории, определить максимально возможные значения погрешностей определения местоположения в терминальных точках;

– при заданных значениях вероятности распознавания и значениях погрешности в терминальных точках определить требуемое время движения;

– при заданных погрешностях в терминальных точках, времени движения определить вероятность распознавания факта наличия уводящей траектории в виде погрешностей СНАП;

– проводить оценку значений вероятности поражения (достижения) цели, в функции времени T действия ложного радионавигационного поля и заданных величин боковых отклонений d в терминальных точках;

– проводить оценку значений показателя эффективности П;

– учитывать характеристики обзорно-сравнительных систем наведения путем ввода значений в половины стороны квадрата зоны захвата цели оптической системой наведения.

Пример использования номограмм (по результатам экспериментальных исследований методами математического моделирования):

– задается вероятность распознавания, например крайний правый график (0,1), задается время движения по оси абсцисс (1800 с), определяется предельно-возможное отклонение по оси ординат (примерно 1500 метров);

– задается предельное отклонение по оси ординат, например 1500 метров, задается время движения по оси абсцисс, например 1300 с, определяется вероятности распознавания (в данном случае 0,2);

– задается вероятность распознавания, например 0,2, предельная погрешность (1500 метров) определяется необходимое время движения (в данном случае 1300 с).

Заключение

1. В статье показано, что в общем случае можно сформировать класс функций изменения погрешностей СНАП (уводящих траекторий), нераспознаваемых встроенной системой контроля целостности интегрированных навигационных систем, приводящих к погрешности выведения объекта навигации в терминальную точку с заданной погрешностью.

При этом значение погрешности в терминальной точке определяется временем движения объекта навигации к терминальной точке маршрута.

2. Механизм появления данных погрешностей может быть как случайный (влияние природных факторов) так и детерминированный (преднамеренный).

3. Вероятность обнаружения такого рода помехи тем меньше, чем больше времени достижения цели и чем меньше величина заданного бокового отклонения.

4. Вероятность обнаружения помехи почти линейно зависит от величины бокового отклонения при фиксированном аргументе – времени.

5. Зависимость вероятности обнаружения помехи от времени является нелинейной сложной функцией. Она имеет максимумы и минимумы при значениях времени до ≈1000 с, и является убывающей функцией при бóльших значениях аргумента времени.

6. Если время достижения терминальной точки менее 800-1200 с, то построение уводящей траектории, которая обеспечивает увод объекта от цели более чем на 1000 м по боку, является малоэффективным (вероятность обнаружения помехи интегрированной системой превышает 0,1-0,2).

7. Эффективная тактика применения разработанного программного комплекса состоит в оценке последствий при задании такой УТ, которая обеспечивает принудительный увод объекта из зоны захвата оптической системы наведения в терминальной области при минимальном боковом отклонении и максимально возможном времени воздействия ложного навигационного поля.

Литература

1. Анучин О.Н., Емельянцев Г.И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов: Изд. 2-е, переработ. и дополн. / Под общ. ред. В.Г. Пешехонова. СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2003. 389 с.

2. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах. М.: Машиностроение, 1991.

3. Дмитриев С.П., Степанов О.А., Кошаев Д.А. Исследование способов комплексирования данных при построении инерциально-спутниковых систем // Гироскопия и навигация, 1999. №3.

4. Biezad J. Daniel. Integrated Navigation and Guidance Systems. Published by AJAA. Education Series, 1999.

5. Carlson N.A. Federated Filter for Fault-Tolerant Integrated Navigation. AGARDograph 331, Aerospace Navigation Systems.

6. Daum, F. Nonlinear Filters: Beyond the Kalman Filter. IEEE Aerospace and Electronic Systems. Tutorials, 2005, Vol. 20(8), pp. 57-71.

7. Rogers R. M., Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems, Second Edition. – AIAA Education Series, 2003.

8. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения. М.: ЭКО-ТРЕНЗ 325, 2003.

9. Глобальная радионавигационная система ГЛОНАСС / Под ред. Харисова В.Н., Перова А.И., Болдина В.А. М.: ИПРЖР, 1998. 400 с.

10 Белоглазов И.Н., Джанджгава Г.И., Чигин Г.П. Основы навигации по геофизическим полям. М.: Наука, 1985. 328 с.

11. Красовский А.А., Белоглазов И.Н., Чигин Г.П. Теория корреляционно-экстремальных навигационных систем. М.; Наука, 1979. 448 с.

12. Веремеенко К.К., Зимин Р.Ю. Целостность навигационного поля // ИСНС, 2009. №4. С.38-42.

13. Guorong Huang. An enhancement of integrity algorithm for GPS/SINS tightly coupled system. – Electrical and Control Engineering (ICECE), 2011, pp. 1961 – 1964.

14. J. McDonald, J. Kendrick. Benefits of tightly coupled GPS/IRS for RNP operations in terrain challenged airports Position, Location and Navigation Symposium, 2008 IEEE/ION; 06/2008

15. Qiang Li,Wei Wang, Dingjie Xu, Xianpeng Wang.A. Robust Anti-Jamming Navigation Receiver with Antenna Array and GPS/SINS.IEEE Communications Letters. 2014, Vol. 18(3), pp. 467-470.

16. Haiying Liu,Gang Zheng, Huinan Wang, Chengtao Feng. Research on integrity monitoring for integrated GNSS/SINS system. DOI: 10.1109/ICINFA.2010.5512033.2010.

17. Steve Hewitson, Jiling Wang. Extended Receiver Autonomous Integrity Monitoring (eRAIM) for GNSS/INS Integration. Journal of Surveying Engineering, 136(1), 2010.

18. Chang-Xing Chen, Xu-Jing Wang, Dezhi Niu, Xiao-Yue Ren, Kun Qu. A Hierarchical Fault Detection Method Based on LS-SVM in Integrated Navigation System.

19. Li Fu Miao Wang. An Ultra-Tightly MIMU/GPS Integrated System and its Integrity Monitoring. IEEE Computer Society Washington, DC, USA, pp. 202-205, 2012.

20. Biezad J. Daniel. Integrated Navigation and Guidance Systems. Published by AJAA. Education Series, 1999.

21. Carlson N.A. Federated Filter for Fault-Tolerant Integrated Navigation. AGARDograph 331, Aerospace Navigation Systems.

22. Daum, F. Nonlinear Filters: Beyond the Kalman Filter. IEEE Aerospace and Electronic Systems. Tutorials, 2005, Vol. 20(8), pp. 57-71.

23. Lefebvre, T., H. Bruyninckx and J. De Schutter Nonlinear Kalman Filtering for Force-Controlled Robot Tasks. Springer, Berlin, 2005.

24. Rogers R. M., Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems, Second Edition. – AIAA Education Series, 2003.

25. Zaknich A. Principles of Adaptive Filters and Self-learning Systems. Springer, 2005.

26. Дмитриев С.П., Степанов О.А. Нелинейные алгоритмы комплексной обработки избыточных измерений. Теория и системы управления // Известия РАН, 2000. №4. С. 52-61.

27. Дмитриев С.П., Колесов Н.В., Осипов А.В. Информационная надежность, контроль и диагностика навигационных систем: Изд. 2-е, переработ. СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2002. 160 с.

28. Красовский А.А. Справочник по теории автоматического управления. М.: Наука, 1987. 712 с.

УДК 681.4

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ВЫСОКОТОЧНОГО АЗИМУТАЛЬНОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРОЙ

ANALYSIS CONDITIONS OF HIGH-PRECISION AZIMUTHAL ORIENTATION OF SATELLITE GEODETIC EQUIPMENT

Александр Юрьевич Махаев
начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: naviserp@gmail.com

Александр Степанович Бамбиза
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: naviserp@gmail.com

Аннотация

Рассматривается проблема обеспечения требуемых точностных характеристик азимутального ориентирования выбранного опорного направления с применением спутниковой геодезической аппаратуры космических навигационных систем. Проводится анализ погрешностей азимутального ориентирования и условий достижения среднеквадратической погрешности (СКП) определения азимута опорного направления на уровне долей угловой секунды. Приводятся основные положения методики азимутального ориентирования и контроля достоверности полученных результатов.

Ключевые слова: геодезическая аппаратура, спутниковая геодезическая аппаратура, азимутальное ориентирование, высокоточное азимутальное ориентирование.

Summary

The problem of providing the required accuracy characteristics of azimuthal orientation to a selected reference direction with the use of satellite geodesic equipment of space navigation systems. The analysis of the errors of azimuthal orientation and the conditions for achieving mean square error (RMS) azimuth reference direction at the level of fractions of angular seconds. The main provisions of the methodology azimuthal orientation and validation of the results.

Keywords: surveying instruments, satellite geodetic equipment, the azimuth orientation, high precision the azimuth orientation.

Введение

Высокоточные азимутальные определения играют важную роль при ориентировании исходной геодезической основы при решении как прикладных, так фундаментальных геодезических задач, а также при создании метрологических полигонов.

В настоящее время широкое применение находят гироскопические приборы автономного азимутального ориентирования, погрешности которых составляют первые единицы угловых секунд. Принцип построения и особенностей эксплуатации таких приборов предполагает периодическое определение (уточнение) их систематической погрешности (формулярной поправки), вызванной конструктивными особенностями. Определение формулярной поправки проводится с использованием направлений с известными значениями астрономических азимутов. Значения погрешности определения азимутов данных направлений должны быть в 2-3 раза меньше значений погрешностей гироскопических приборов автономного азимуталь-

ного ориентирования [1]. То есть СКП значений азимутов опорных направлений должна быть менее одной секунды. Определение азимутальных направлений с такими точностными характеристиками теоретически можно обеспечить, используя астрономические оптические угломерные приборы. Практическая реализация астрономических методов азимутального ориентирования затруднительна по следующим причинам:

– мировое и российское оптическое приборостроение не разрабатывает новых астрономических угломерных приборов массового применения, а известные приборы практически исчерпали свой технический ресурс;

– резко сократилось число профессиональных «астрономов-практиков», способных проводить прецизионные измерения по сложным многочасовым методикам;

– изменения мирового климата привело к сокращению количества времени «открытого неба».

Совместно разработанная МОУ «ИИФ» г. Серпухов и ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» г. Санкт-Петербург автоматическая система определения астрономического азимута определяет азимут нормали собственного контрольного элемента с погрешностью (СКП) 0,7″ [2], но требует размещения в специально оборудованном помещении.

Приведенные факторы и необходимость непосредственного определения азимутальных направлений в полевых условиях обуславливают необходимость поиска альтернативных методов и средств азимутального ориентирования. Альтернативная технология высокоточного определения азимутов заданных направлений может быть создана на основе методов космической геодезии с использованием потребителей геодезического класса космических навигационных систем «ГЛОНАСС» и «GPS».

1. Постановка задачи

Метод азимутального ориентирования с использованием потребителей геодезического класса космических навигационных систем «ГЛОНАСС» и «GPS» основан на решении обратной геодезической задачи определения азимута заданного направления по измеренным приращениям координат точек, закрепляющих данное направление.

Рассмотрим схему определения азимута двух опорных направлений, приведенную на *рисунке 1*, которая может обеспечить контроль достоверности результатов.

Выражение для определения геодезического азимута A_{12} направления между ориентирными

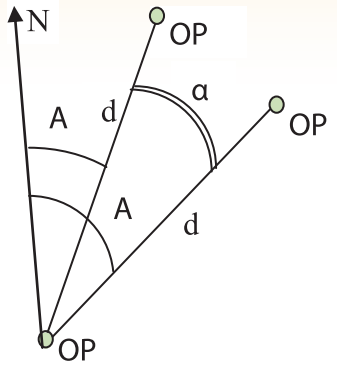


Рис. 1. Схема азимутального ориентирования

пунктами, координаты которых известны, (геодезический метод азимутального ориентирования) имеет вид [3, 4]

$$A_{12}=arctg,\frac{\Delta Y_{12}\cdot\cos L_1-\Delta X_{12}\cdot\sin L_1}{\Delta Z_{12}\cdot\cos B_1-(\Delta X_{12}\cdot\cos L_1+\Delta Y_{12}\cdot\sin L_1)\cdot\sin B_1} \quad (1)$$

где ΔX_{12}, ΔY_{12}, ΔZ_{12} – приращения прямоугольных геоцентрических координат между опорными пунктами ОРП 1 и ОРП 2;

B_1, L_1 – геодезические координаты ОРП 1.

Необходимо решить следующие задачи:

– обосновать требования к точностным характеристикам измеряемых параметров ΔX_{12}, ΔY_{12}, ΔZ_{12}, B_1, L_1 обеспечивающие определение геодезического азимута опорного направления с СКП 0,5»;

– определить методику измерений геодезических параметров спутниковой геодезической аппаратурой космических навигационных систем с требуемыми точностными характеристиками;

– определить параметры дополнительных измерений и допустимые отклонения, обеспечивающие повышение достоверности результатов.

2. Анализ погрешностей геодезического метода азимутального ориентирования

Среднеквадратическую погрешность определения геодезического азимута σ_A, определяемого выражением (1), можно, опуская индексы, записать в виде

$$\sigma_A=\sqrt{(\frac{dA}{dX}\sigma_X)^2+(\frac{dA}{dY}\sigma_Y)^2+(\frac{dA}{dZ}\sigma_Z)^2+(\frac{dA}{dB}\sigma_B)^2+(\frac{dA}{dL}\sigma_L)^2}, \quad (2)$$

где σ_x, σ_y, σ_z, σ_x, σ_B, σ_L – СКП измерения соответствующих прямоугольных геоцентрических и геодезических координат;

$\frac{dA}{d}$ – функции (коэффициенты) влияния погрешностей соответствующих геодезических параметров на погрешность определения азимута.

Функции влияния частных погрешностей, полученные путем нахождения частных производных, имеют громоздкие выражения и не являются предметом рассмотрения данной статьи. Приведем упрощенные выражения, указанных частных производных для частного случая, характеризуемого следующими исходными данными: $\Delta X_{12} = 0$, $\Delta Z_{12} = 0$. Приведенные исходные данные соответствуют взаимному расположению ориентиров в плоскости горизонта в направлении восток-запад, что практически не окажет влияния на результаты проводимого анализа.

Приведем без вывода функции влияния частных погрешностей для принятых исходных данных имеют вид:

$$\frac{dA}{dX} = \frac{\sin B}{\Delta Y(\sin L_1^2 \sin B_1^2 + \cos^2 L)};$$
$$\frac{dA}{dY} = 0;$$
$$\frac{dA}{dZ} = \frac{\cos B \cos L}{\Delta Y(\sin L_1^2 \sin B_1^2 + \cos^2 L)}; \qquad (3)$$
$$\frac{dA}{dB} = \frac{\cos B \cos L}{\sin L_1^2 \sin B_1^2 + \cos^2 L};$$
$$\frac{dA}{dL} = \frac{\sin B_1}{\sin L_1^2 \sin B + \cos^2 L}.$$

Нулевой коэффициент влияния погрешности по координате Y физически объясняется выбранной азимутальной ориентацией опорного направления, при которой погрешность приращения координат вдоль самого направления не влияет на погрешность определения азимута.

Учитывая требование обеспечения СКП определения азимута 0,5″ определим значение СКП составляющих погрешностей σ_i, при допущении их равноточности, взаимной независимости и распределении по нормальному закону, можно записать

$$\sigma_A = 0{,}5'' = \sqrt{\sum_1^5 \sigma_i}\,;\ \sigma_i = 0{,}22''. \qquad (4)$$

Расчеты, проведенные для значений параметров B=50°; L=30°; ΔY=1000 м, дают следующие значения коэффициентов влияния:

$$\frac{dA}{dX} = 0{,}8542''/мм;$$
$$\frac{dA}{dY} = 0''/мм;$$
$$\frac{dA}{dZ} = 0{,}6434''/мм; \qquad (5)$$
$$\frac{dA}{dB} = 0{,}621;$$
$$\frac{dA}{dL} = 0{,}8136.$$

Учитывая требования к допустимым значениям составляющих погрешностей (4) и значения коэффициентов влияния (5) получаем допустимые значения измеряемых геодезических параметров, обеспечивающие СКП определения геодезического азимута 0,5″, а именно:

$$\sigma_{x\,доп}=1{,}3\ мм;\ \sigma_{z\,доп}=1{,}7\ мм;\ \sigma_{B\,доп}=0{,}35»;$$
$$\sigma_{L\,доп}=0{,}27». \qquad (6)$$

Следует отметить, что критическими параметрами, с точки зрения обеспечения требуемой точности, являются погрешности определения приращения координат. Геодезические координаты можно определять с погрешностями на порядок менее требуемых значений. Практически данные погрешности можно не учитывать при обосновании точностных характеристик, что позволяет увеличить допустимые значения СКП определения относительных значений координат до диапазона 1,5-2,0 мм.

Требуемые высокоточные определения относительных координат двух точек можно обеспечить, применяя метод относительного позиционирования средствами спутниковой геодезической аппаратуры космических навигационных систем.

3. Основные положения методики измерений приращений координат спутниковой геодезической аппаратуры космических навигационных систем

Технология относительного позиционирования, основана на получении приращений координат двух приемников, установленных на пунктах, выбранных как носители эталонных азимутов [3, 4]. Для получения астрономического азимута с СКП ±0,5» с применением технологии относительного позиционирования необходимо использовать статический метод получения и обработки измерительной информации на миллиметровом уровне точности и аппаратуру потребителей геодезического класса (ГАП), работающей на двух частотах по сигналам двух ГНСС – ГЛОНАСС и GPS [5, 6].

При выполнении измерений на пунктах, выбранных как носители эталонных азимутов, выполняют следующие операции:

– подготовка оборудования к работе;
– установка ГАП на пунктах наблюдений, включение, инициализация;
– проведение спутниковых наблюдений;
– прием и сохранение данных наблюдений;
– обработка результатов наблюдений.

Подготовка оборудования к работе заключается в проверке технического состояния аппаратуры и записи в память приборов единые для

всех станций рабочие установки (параметры наблюдений).

Установка ГАП на пунктах наблюдений включает установку антенн на устройствах принудительного центрирования пунктов наблюдений, измерение и фиксирование высоты антенны над геодезической маркой пункта наблюдений.

Спутниковые измерения на пунктах выполняют 4-мя 3-х часовыми сеансами. Между сеансами антенны приемников поворачивают на 90 градусов [3, 4, 7]. По истечении заданного времени наблюдения прекращают, повторно измеряют высоту антенны над центром и условия наблюдений.

Прием и сохранение данных наблюдений

По окончании наблюдений данные копируют на устройства длительного хранения информации – компакт-диск, жесткий диск компьютера и т.д.

Обработка результатов наблюдений выполняется с использованием программного обеспечения разработчика ГАП с целью оперативной оценки качества измерений для решения следующих задач:

– предварительная обработка – разрешение неоднозначностей фазовых псевдодальностей до наблюдаемых спутников, получение координат определяемых точек в системе координат глобальной навигационной спутниковой системы и оценка точности [8, 9]:

– трансформация координат в принятую систему координат;

– уравнивание геодезических построений и оценка точности;

– сходимость с ранее выполненными измерениями и контрольными расстояниями между известными пунктами.

В качестве программного обеспечения для производства вычислительной обработки используются программные пакеты (офисное программное обеспечение типа «Leica Geo Office»), прилагаемые к спутниковой аппаратуре, применявшейся для производства полевых работ [5, 6].

При осуществлении вычислительных работ в качестве руководства должна использоваться техническая документация изготовителя применяемых средств измерений, прилагаемая к каждому программному пакету.

4. Контроль достоверности результатов

Контроль достоверности результатов измерений проводится по внутренней сходимости, исходя из требований геодезических и картографических норм и правил [1].

Для повышения достоверности результатов предлагается использование дополнительных независимых линейных и угловых измерений.

В качестве дополнительного независимого линейного измерения можно использовать значение расстояния между пунктами, измеренное, например, высокоточным лазерным дальномером. Современные лазерные дальномеры [7] обеспечивают измерения расстояний с погрешностями (СКП) $\sigma D = 1$ мм $+ 2\cdot10^{-6}D$ мм, что соответствует погрешности на расстоянии 1 км $\sigma D = 3$ мм.

Можно показать, что погрешность измерения расстояний, вычисленных по приращениям координат, измеренных в свою очередь с погрешностями, указанными в (6), составляет примерно такое же значение.

Следовательно, с доверительной вероятностью 99,7% можно утверждать, что допустимая разность между вычисленной по приращениям координат дальностью и дальностью, измеренной лазерным дальномером, не должна превышать $\Delta_{d\ доп}=11{,}2$ мм.

Для реализации углового метода контроля достоверности результатов геодезический азимут определяется для двух направлений, как показано на *рисунке 1*. По вычисленным азимутам определяется угол между опорными направлениями

$$A_{23} = A_{13} - A_{12}. \qquad (7)$$

Погрешность вычисленного по выражению (7) угла при СКП геодезических азимутов A_{13} и A_{12} $\sigma_A = 0{,}5''$ составит $\sigma_\alpha = 0{,}7''$

Современные электронные оптические угломерные приборы – тахеометры обеспечивают измерение углов с погрешностью 0,5″ [7].

Допустимое рассогласование между вычисленным по выражению (7) значением угла между ориентирами и значением этого же угла, измеренного тахеометром, определенное с доверительной вероятностью 99,7% составляет $\Delta_{\alpha\ доп}=2{,}6''$.

Заключение

Высокоточные азимутальные определения играют важную роль при ориентировании исходной геодезической основы при решении как прикладных, так фундаментальных геодезических задач, а также при создании метрологических полигонов. Несмотря на отработанные, хорошо зарекомендовавшие себя астрономические методы высокоточных определений, существуют серьезные основания для поиска альтернативных методов азимутального ориентирования, так как имеющийся парк астрономических приборов интенсивно использовался и практи-

чески выработал свой технический ресурс. Базовые технологии создания прецизионных оптико-электронных приборов в России по ряду известных причин утрачены.

Альтернативная технология высокоточного определения азимутов заданных направлений может быть создана на основе методов космической геодезии с использованием потребителей геодезического класса космических навигационных систем «ГЛОНАСС» и «GPS». При этом целесообразно увеличить расстояния базовых линий до величины 2 км и при строительстве ориентирных пунктов обеспечит их расположение примерно в одной плоскости горизонта, что позволит снизить требования к величинам погрешностей определения приращений координат между соответствующими ориентирными пунктами до диапазона 4-6 мм.

Результаты практических измерений, выполненных с участием авторов на ориентирных пунктах геодезического полигона МОУ «ИИФ», полностью подтвердили результаты теоретического анализа, приведенного в данной статье.

Целью дальнейших исследований является обоснование алгоритмов оптимального уравнивания измеренных значений приращений координат с привлечением дополнительной информации дальностей и углов между ориентирными пунктами, измеренной независимыми средствами.

Литература

1. ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. М.: Изд-во стандартов, 2009. 27 с.

2. Котов Н.И. Применение автоматической системы определения астрономического азимута для калибровок высокоточных гироскопических приборов азимутального ориентирования / Н.И. Котов, С.Б. Беркович, А.Ю. Махаев, Д.В. Смирнов, А.Н. Царьков // XX международная научная конференция Системный анализ, управление и навигация: Тезисы докладов. М.: Изд-во МАИ, 2015. С. 138-140.

3. ГОСТ Р 53611-2009. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Общие технические требования. М.: Изд-во стандартов, 2009. 93 с.

4. ГОСТ Р 53606-2009. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Метрологическое обеспечение. Основные положения. М.: Изд-во стандартов, 2009. 59 с.

5. Leica GS14. Руководство пользователя. Техническая документация «Leica Geosystems AG», Швейцария. 124 с.

6. Leica MS50/TS50/TM50. Руководство пользователя. Техническая документация «Leica Geosystems AG», Швейцария. 114 с.

7. ГОСТ Р 53340-2009. Приборы геодезические. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2009. 63 с.

8. Вейцель А.В. Перспективы высокоточной навигации при использовании глобальных высокоточных коррекций // XX международная научная конференция Системный анализ, управление и навигация: Тезисы докладов. М.: Изд-во МАИ, 2015. С. 188-189.

9. Пасынков В.В. Проблемные вопросы создания в Российской Федерации системы глобального высокоточного позиционирования в реальном времени / В.В. Пасынков, В.Ф. Брагинец, А.Н. Жуков, Ю.Г.Сухой // XX международная научная конференция Системный анализ, управление и навигация: Тезисы докладов. М.: Изд-во МАИ, 2015. С. 191-193.

УДК 004.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАРШРУТИЗАТОРА В ЗАЩИЩАЕМОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

EXPERIMENTAL STUDY OF THE PERFORMANCE INDEX OF THE ROUTER IN A PROTECTED TELECOMMUNICATIONS NETWORK

Юрий Михайлович Монахов
кандидат технических наук
доцент кафедры информатики
и защиты информации
Владимирский государственный университет
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87
Тел.: +7(904)596-91-14
E-mail: unklefck@gmail.com

Анна Михайловна Власова
магистрант
инженер кафедры информатики
и защиты информации
Владимирский государственный университет
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87
Тел.: +7(920)940-46-77
E-mail: lost_anita@mail.ru

Аннотация

В работе рассматривается предложенная авторами модель зависимости показателя производительности маршрутизатора от интенсивности входного сетевого трафика. Данная модель состоит из трех основных фаз. В статье подробно описана экспериментальная установка, разработанная в ходе исследования для верификации модели, а также методика тестирования маршрутизатора с управляемыми сетевыми настройками с использованием нагрузочных тестов.

По полученным экспериментальным данным была подтверждена корректность предложенной модели и гипотеза о том, что динамика изменения показателя производительности и доступности идентичны. Это позволит при оценке величины доступности переходить к величине показателя производительности устройств и систем.

Ключевые слова: модифицированная граница Рао-Крамера, дисперсия оценки, задержка сигналов, псевдодальность, BOC-модуляция, аддитивный белый гауссовский шум.

Summary

In this article authors offer the model of dependence of the router performance measure on the input network traffic intensity. This model consists of three main phases. Article describes in detail the experimental installation for model verification and the router testing methodology with the managed network settings using load tests.

Experimental results confirm the correctness of the offered model and the hypothesis that dynamics of change of the performance measure and availability are identical. It will allow engineers to go from the assessment of value of availability to the value of the performance measure of devices and systems.

Keywords: index performance, availability, traffic intensity, stress tests, the capacity of the router, the router's buffer memory.

В настоящее время все чаще возникают повышенные требования к обеспечению эффективности работы телекоммуникационных сетей, без которых нельзя представить повседневную деятельность предприятий, организаций и учреждений. Эффективность работы сети во многом зависит от производительности и доступности маршрутизаторов, входящих в состав сети. В процессе оптимизации функционирования сети следует определить значения параме-

тров, при которых будет достигаться максимальная доступность таких устройств. Для этого необходимо знать характер зависимости показателя производительности от интенсивности входного трафика, а также параметры, влияющие на характер данной зависимости.

На основе анализа различных источников [1-7] была разработана модель зависимости показателя производительности маршрутизатора от интенсивности входного трафика, состоящая из 3 фаз:

Фаза №1. При значениях интенсивности входного трафика, при которых скорость трафика не будет превышать пропускную способность маршрутизатора, показатель производительности будет принимать значения, близкие к 1, поскольку все пакеты, поступающие на входной интерфейс маршрутизатора, будут обработаны и переданы на выходной интерфейс , но так как происходят потери пакетов вследствие искажения пакетов в процессе передачи, превышения времени «жизни» пакета и по другим причинам, то значение показателя производительности может отклоняться от 1.

Фаза №2. При значениях интенсивности входного трафика, при которых скорость трафика будет превышать пропускную способность маршрутизатора и буферная память маршрутизатора не будет переполнена, будет наблюдаться плавное снижение показателя производительности. Буферная память маршрутизатора используется для временного хранения фреймов (данных) и последующей их отправки по нужному адресу в случае, если их невозможно немедленно передать на выходной интерфейс. Пока одна часть пакетов обрабатывается маршрутизатором, другая часть пакетов будет направляться в буферную память маршрутизатора, что в свою очередь приведет к увеличению задержки пакетов, поэтому часть пакетов не будет доставлена за директивное время [8, 9]. Количество недоставленных за директивное время пакетов будет плавно расти с увеличением интенсивности входного трафика. Данная фаза будет продолжаться до переполнения буферной памяти маршрутизатора.

Фаза №3. При значениях интенсивности входного трафика, при которых скорость трафика будет превышать пропускную способность маршрутизатора и буферная память маршрутизатора будет переполнена (перегрузка маршрутизатора), будет наблюдаться стабилизация показателя производительности на минимальном уровне. При переполнении буферной памяти маршрутизатора все входящие пакеты отбрасываются, при этом на выходной интерфейс будет передаваться фиксированное, минимальное число пакетов.

На *рисунке 1* представлен предполагаемый график зависимости показателя производительности маршрутизатора от интенсивности входного трафика. При значениях интенсивности тестового трафика I1-I7 наблюдается колебание значения показателя производительности около значения 1, что соответствует Фазе №1. При значениях интенсивности тестового трафика I7-I13 наблюдается снижение показателя производительности, связанное с заполнением буферной памяти маршрутизатора, что соответствует Фазе №2. При значениях интенсивности I13-I20 показатель производительно стабилизируется на минимальном уровне вследствие полного заполнения буферной памяти маршрутизатора (перегрузка), что соответствует Фазе №3.

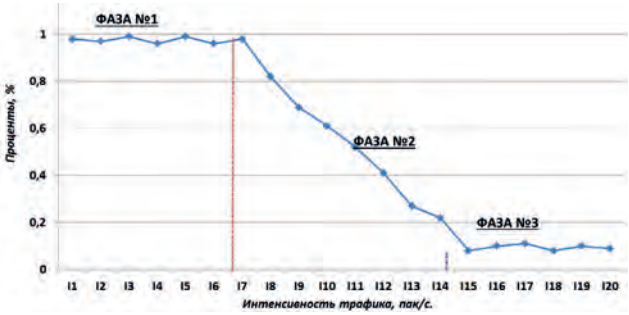


Рис. 1. Гипотетический график зависимости показателя производительности маршрутизатора от интенсивности входного трафика

Для верификации разработанной модели зависимости показателя производительности маршрутизатора от интенсивности входного трафика, был проведен эксперимент, в котором использовалась следующая установка: конечная станция (Компьютер А), работающая в режиме отправителя информационного трафика с заданными характеристиками; фрагмент телекоммуникационной сети с управляемыми настройками сетевого оборудования (маршрутизатор); конечная станция (Компьютер В), которая работает в режиме получателя трафика и обеспечивает трассировку процесса получения пакетов и выполняет функции обработки результатов, конечная станция (Компьютер С), которая опрашивает маршрутизатор, отправляя эхо-запросы на него (по числу полученных от маршрутизатора пакетов будет определяться значение его фактической доступности). Схема соединения элементов установки приведена на *рисунке 2*.

Эксперимент был проведен в следующих условиях: на компьютере В была запущена программа для приема входного трафика; на компьютере А была запущена программа для гене-

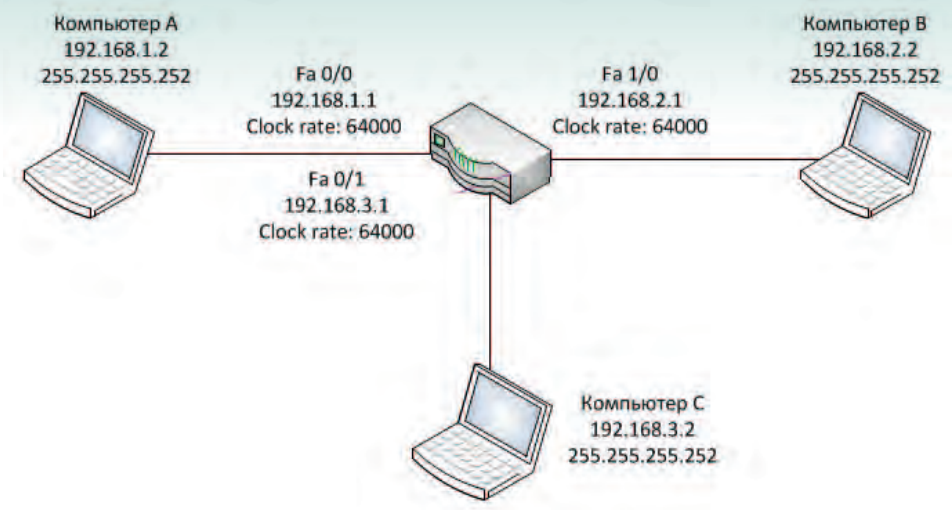


Рис. 2. Экспериментальная установка для верификации предложенной модели

рации тестового трафика; во время генерации трафика на компьютере C запускалась утилита Ping для опроса маршрутизатора для определения величины его доступности по количеству отправленных/полученных ICMP-пакетов по формуле:

$$A = C_{получ.}/C_{отправ.}*100\%, \qquad (1)$$

где $C_{отправ.}$ – количество отправленных ICMP-пакетов на маршрутизатор за директивное время; $C_{получ.}$ – количество полученных от маршрутизатора ICMP-пакетов за директивное время.

По значениям интенсивности генерируемого трафика и интенсивности трафика, измеренного на компьютере B вычислялось значение производительности маршрутизатора по формуле:

$$T = I_{выходн.}/I_{входн.}*100\% \qquad (2)$$

где $I_{входн.}$ – интенсивность трафика, поступающего на маршрутизатор; $I_{выходн.}$ – интенсивность трафика на выходном интерфейсе маршрутизатора.

Результаты описанного выше эксперимента приведены на *рисунках 3-5* в виде графиков зависимости показателя производительности и доступности маршрутизатора от интенсивности входного трафика с размером пакетов 512Кб, 768Кб и 256 Кб соответственно.

На представленных *рисунках* (*3-5*) видно, что динамика изменения показателя производительности и доступности идентичны.

Анализируя полученные результаты, можно сделать выводы о том, что: предложенная мо-

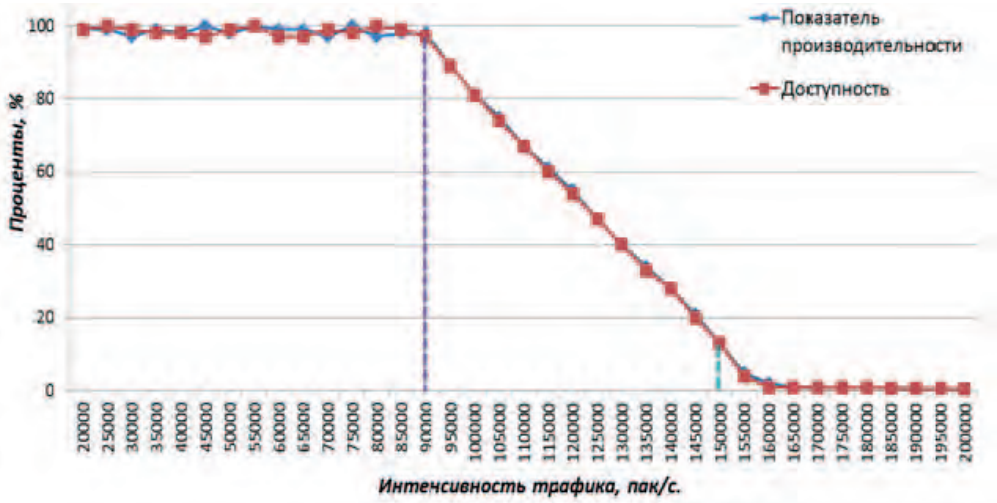


Рис. 3. Зависимость показателя производительности и доступности маршрутизатора от интенсивности входного трафика ($V_{пакетов}$ = 512 Кб)

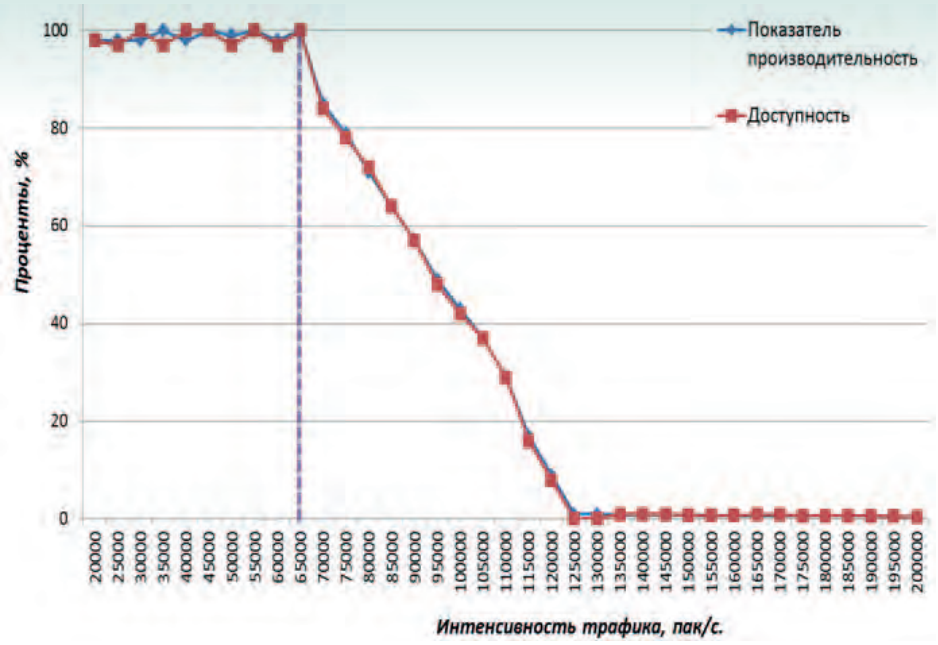


Рис. 4. Зависимость показателя производительности и доступности маршрутизатора от интенсивности входного трафика ($V_{пакетов}$ = 768 Кб)

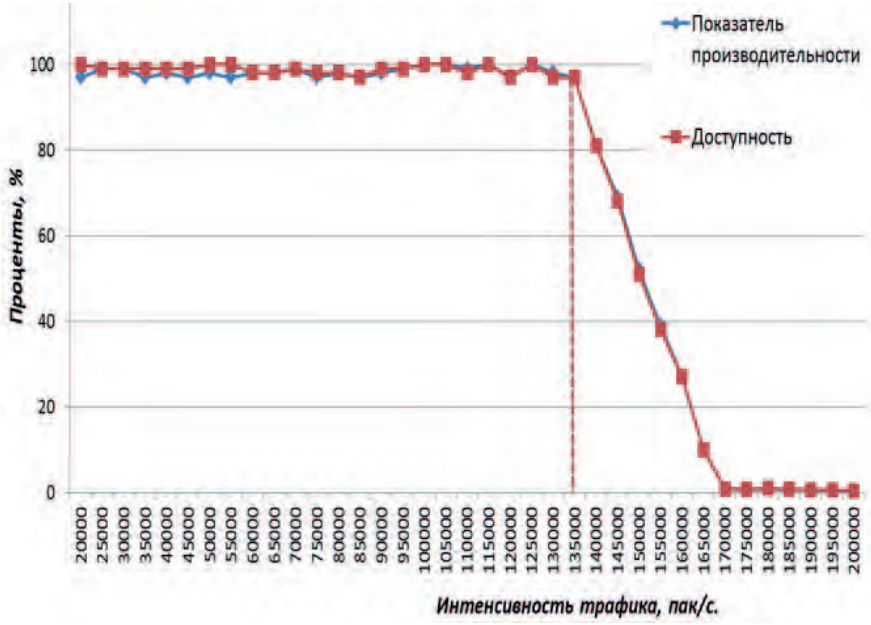


Рис. 5. Зависимость показателя производительности и доступности маршрутизатора от интенсивности входного трафика ($V_{пакетов}$ = 256 Кб)

дель зависимости показателя производительности маршрутизатора от интенсивности входного трафика корректна; динамика изменения показателя производительности и доступности идентичны, что позволяет при оценке величины доступности перейти к величине показателя производительности.

На основании полученных результатов для увеличения величины доступности маршрутизатора авторами предлагается: уменьшать размер передаваемых пакетов; увеличивать пропускную способность маршрутизатора; увеличивать размер буферной памяти маршрутизатора; ограничивать интенсивность входного трафика.

Данная статья содержит результаты исследования, проведенного в рамках гранта РФФИ № 16-47-330055 «Проведение поисковых исследований по разработке моделей и алгоритмов контроля доступности в информационно-телекоммуникационных системах регионального масштаба».

Литература

1. Щекотихин В.М., Шестак К.В. Основы построения систем и сетей передачи информации. М.: Горячая линия-Телеком, 2005.

2. Гребенкин М.К., Поршнев С.В., Афонцев Э.В. О выборе оптимального объема буфера маршрутизатора // Научные труды международной научно-практической конференции «СВЯЗЬ-ПРОМ 2008» в рамках V Евро-Азпатского международного форума «СВЯЗЬ-ПРОМЭКСПО 2008». Екатеринбург: ЗАО «Компания Реап-Медиа», 2008. С. 96-98.

3. Гребенкин М.К., Поршнев С.В., Афонцев Э.В. О выборе размера буфер маршрутизатора компьютерной сети, нагруженного интенсивным трафиком реального времени // Известия Томского политехнического университета, 2008. №5(313). С. 106-110.

4. Гребенкин М.К., Поршнев С.В. Математическое моделирование переходных процессов при передачи данных по протоколу TCP в режиме обеспечения гарантированной скорости доступа к сети Интернет // Сборник трудов 12-й международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA 2010». Москва: Россия, 2010. Ч. 1. С. 307-309.

5. Гребенкин М.К., Поршнев С.В. Исследование методов обеспечения гарантированной скорости доступа пользователей к сети Интернет на основе гибридной статистической модели интенсивного мультисервисного трафика // Научные труды XV международной научной конференции молодых ученых: сборник статей. Екатеринбуг: УГТУ-УПИ, 2009. Ч. 3. С. 196-200.

6. Гребенкин М.К., Поршнев С.В., Афонцев Э.В. О допустимой загрузке высокоскоростного канала передачи интернет-трафика // Научные труды международной научно-практической конференции «СВЯЗЬ-ПРОМ 2009» в рамках VI Евро-Азиатского международного форума «СВЯЗЬ-ПРОМЭКСПО 2009». Екатеринбург: ЗАО «Компания Реал-Медиа», 2009. Т. 2. С. 52-55.

7. Grebenkin, M. Estimation of link capacity required for quality service of internet users // Сборник материалов международной научно-практической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 259-261.

8. Монахов Ю.М, Власова А.М. Методика определения доступности компонентов одноранговой сети со сложной случайной топологией // «Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности», Иваново: ИВГПУ, 2015, №4(358). С. 149-153.

9. Монахов Ю.М, Власова А.М. Методика расчета нормированного критерия доступности телекоммуникационной сети // «Динамика сложных систем – XXI век». М.: «Радиотехника», 2015, №3 С. 73-77.

УДК 538.958

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЦИЛЛЯЦИЙ РАБИ В КУБИТАХ КРИСТАЛЛА АЛМАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗЕЛЕНОГО ЛАЗЕРА

RABI OSCILLATIONS ON DIAMOND QUBITS BY USING A GREEN LASER

Павел Александрович Семёнов
кандидат физико-математических наук, профессор
профессор кафедры
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Адрес: 115409, Москва, Каширское ш., д. 31
Тел.: +7(985)788-56-99
E-mail: Pavel.Semenov@ihep.ru

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

Александр Николаевич Васильев
доктор физико-математических наук, профессор
профессор кафедры
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Адрес: 115409, Москва, Каширское ш., д. 31
Тел.: +7(985)788-56-99
E-mail: alexander.vasiliev@ihelp.ru

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

Алексей Александрович Бухтияров
инженер-программист
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: ab606@iifmail.ru

Денис Олегович Капусткин
инженер-программист
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: ab606@iifmail.ru

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

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

Андрей Константинович Никитин
инженер-программист
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: ex_nik@mail.ru

Аннотация

В статье представлено описание разработанного и собранного экспериментального стенда для проведения исследований осцилляций Раби на ансамбле кубитов в NV-центрах кристалла алмаза. Представлены результаты измерений зависимости частоты осцилляций Раби от мощности электромагнитного поля в кристалле алмаза с использованием зеленого лазера для считывания квантового состояния.

Ключевые слова: квантовые системы, NV-центры в алмазе, осцилляции Раби, кубиты.

Summary

The article contains the description of the experimental setup designed and assembled for carrying out a study of Rabi oscillations in an ensemble of qubits in NV-centers of a diamond crystal. Results of the measured dependence of the Rabi oscillations frequency on a microwave field power with the use of green laser for data read-out are presented.

Keywords: quantum systems, NV-centers in diamond, Rabi oscillations, qubits.

Введение

Одним из фундаментальных явлений в квантовой оптике являются так называемые осцилляции Раби – периодические переходы системы между ее стационарными состояниями под действием внешнего поля. Американский физик Исидор Раби теоретически предсказал это явление взаимодействия резонансного излучения с веществом в 1937 году [1], за что получил Нобелевскую премию в 1944 году. Впервые экспериментально осцилляции Раби наблюдались в 1949 году на ядерных спинах в радиочастотном магнитном поле [2].

Реальные атомы являются сложными объектами. Даже простейший атом водорода имеет непростую структуру энергетических уровней. Однако теоретикам удается аппроксимировать поведение реального атома поведением намного более простой квантовой системы. В теории атом представляется квантовой системой, имеющей только два энергетических собственных состояния. В этом случае и возникает модель двухуровневой системы (двухуровневого атома). Модель двухуровневой системы в одномодовом квантовом поле, являясь одной из простейших, эффективно описывает качественные характеристики взаимодействия квантовой системы с резонансным внешним полем. Характерным свойством системы являются осцилляции Раби – периодические по времени изменения заселенности состояний атома.

Известно, что частота осцилляций Раби зависит от амплитуды и мощности внешнего поля. Изменяя их, можно осуществлять управление процессами перехода системы между уровнями, то есть осуществлять элементарные однокубитные операции [3, 4] (например, логическое НЕ). Длительность импульса внешнего микроволнового поля позволяет управлять состоянием квантовой системы, переводя ее с одного энергетического уровня на другой. Поэтому помимо фундаментального интереса к ним, осцилляции Раби важны и как средство реализации бинарной логики. В данной статье анализируется частота осцилляций Раби на ансамбле NV-центров в кристалле алмаза в зависимости от мощности внешнего микроволнового поля. Для возбуждения и считывания состояния кубита использовался зеленый лазер.

Метод исследований осцилляций Раби в кристаллах алмаза

В качестве платформы для исследований по квантовой информатике выбрана твердотельная система, а именно NV-центры в кристаллах алмаза [5]. Главную тревогу в твердотельной системе вызывает время декогеренции, то есть время потери квантовой информации, которая закодирована в кубите. Декогеренция твердотельного кубита вызвана неконтролируемым взаимодействием этого кубита с окружающей средой. Чтобы минимизировать время декогеренции, привлекательным является использование для кубита спина ядра азота, которое находится как бы в ловушке в кристаллической решетке из атомов углерода и имеет, как результат, большое время декогеренции даже при комнатной температуре (десятки миллисекунд). Такие ядра очень подходят для долговременного хранения квантовой информации. Однако, два таких ядра, даже если находятся близко друг к другу в двух разных NV-центрах, слабо взаимодействуют между собой, и связать их воедино очень трудно. Электроны же, напротив, взаимодей-

ствуют очень сильно между собой, однако кубиты, построенные на спине электрона, имеют гораздо меньшее время декогеренции (миллисекунды при комнатной температуре).

Замечательным свойством NV-центра является то, что кубит на спине электрона может быть инициализирован и прочитан светом от лазера с энергией вне резонанса между двумя энергетическими уровнями NV-центра. Для этого использовался лазер с длиной волны 532 нм. Схему электронных энергетических уровней NV-центра можно увидеть в работе [4]. Основное энергетическое состояние NV-центра – это спин-триплет ^3A. Оно связано с возбужденным состоянием (спин-триплет ^3E при комнатной температуре) оптическим резонансным переходом с нулевой фононной линией (PZL – phonon zero line) в 637 нм. Это происходит, когда кристаллическая решетка не возбуждается, то есть нет обмена фононами между узлами кристаллической решетки, что фиксируется примерно в 3-4% случаев при комнатной температуре. В остальных 96-97% случаев происходит возбуждение решетки с испусканием/поглощением фононов, и в спектре люминесценции виден широкий размытый пик справа по длине волны от PZL. Это, так называемый, широкий боковой фононный пик (PSB – phonon side band). Есть еще, как минимум, два синглетных состояния [6]. Прямой переход с сохранением проекции спина из возбужденного триплетного состояния ^3E по спину в основное триплетное состояние ^3A идет с флуоресценцией. Назовем это «светлым» переходом. Переход через синглетные состояния с изменением проекции спина идет, практически, без флюоресценции, интенсивность которой при этом «подавлена» в 10 000 раз по сравнению с прямым переходом. Назовем это «темным» переходом. Впервые NV-центры в алмазах наблюдались Грубером в 1997 году с помощью конфокального микроскопа [7].

Манипулировать кубитом на спине электрона в NV-центре можно при комнатной температуре с использованием техники ОДМР – оптически детектируемого магнитного резонанса [5]. При этом детектироваться будет люминесценция, зависящая от проекции спина («светлый» или «темный» переходы). Метод исследования осцилляций Раби в изменении заселенности энергетических уровней $m_s=0$ и $m_s=\pm1$ (эти два уровня вырождены в отсутствии магнитного поля, то есть, имеют одинаковую энергию) заключается в следующем. Конфокальный микроскоп сфокусирован на ансамбле NV-центров в алмазе в кубической области с размером грани ~200-300 нм. Сначала в течение нескольких микросекунд с помощью зеленого лазера с длиной волны 532 нм происходит инициализация кубитов на основе спина электрона в NV-центрах в этой области в состояние $m_s=0$. Затем подается микроволновый импульс определенной длительности, переводящий состояние кубитов в суперпозицию двух состояний $m_s=0$ и $m_s=\pm1$ при отсутствии постоянного магнитного поля в NV-центре. Затем многократно происходит считывание (то есть, возбуждение и последующая возможная люминесценция по «светлому» переходу) состояний зеленым лазером. Этот полный цикл повторяется несколько раз для увеличения статистики. Затем определяется величина люминесценции для данной длительности микроволнового импульса.

Далее длительность микроволнового импульса меняется, и осуществляется новый полный цикл. В результате получается зависимость величины люминесценции от длительности микроволнового импульса. Это и есть осцилляции Раби. При каждой же конкретной фиксированной длительности микроволнового импульса никакой осцилляции нет. В результате фита данных на графике определятся длительность, так называемого, пи-импульса, инвертирующего состояние кубита.

Экспериментальная установка для исследования осцилляций Раби

Экспериментальная установка представлена на *рисунке 1*.

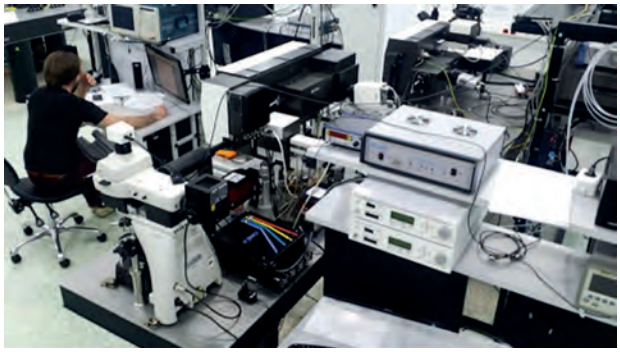


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования осцилляций Раби

В данных исследованиях использовался конфокальный микроскоп от компании Sol Instruments (Минск). Лазер 532 нм использовался для инициализации кубита в исходное состояние с проекцией спина $m_S=0$. Этот же лазер возбуждал электрон NV-центра для регистрации состояния кубита с помощью метода ОДМР. Для требуемой последовательности импульсов лазера 532 нм использовался акусто-оптический модулятор.

СВЧ-генератор с импульсной модуляцией в области близкой к резонансной частоте 2.87 ГГц позволял управлять состояниями кубита. Собственно регистрация сигнала методом ОДМР происходила с помощью счетчиков одиночных фотонов и многоканального время-цифрового преобразователя с точностью регистрации времени до 80 пс. Последовательность измерений и преобразований контролировалась генератором сигналов произвольной формы с частотой дискретизации 1200 MS/s.

Микроволновое излучение усиливалось с помощью СВЧ-усилителя с максимальной мощностью 40 Вт и подавалось на образец алмаза по коаксиальному кабелю через самодельную антенну.

Временная диаграмма управляющих импульсов представлена на *рисунке 2*.

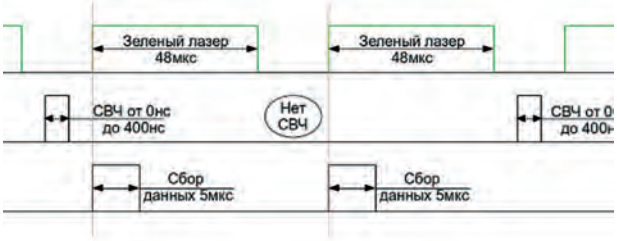


Рис. 2. Временная диаграмма управляющих импульсов

При указанной на *рисунке 2* последовательности управляющих импульсов, полезный сигнал регистрировался как разница между интенсивностью получаемых с однофотонных счетчиков сигналов сразу после воздействия СВЧ-импульса определенной длительности (первый период на *рисунке 2*) и после инициализации кубита в состояние $m_s=0$ (второй период на *рисунке 2*). Интенсивность определялась по интервалу времени 5 мкс после начала работы зеленого лазера. Такая постановка эксперимента позволила получить стабильные повторяемые результаты, так как за 50 мкс между измерениями параметры установки оставались стабильными.

Длительность сигнала управления зеленым лазером оптимизирована по максимуму интенсивности флуоресценции после инициализации кубита в состояние $m_s=0$. Следует отметить, что длительности в 1-2 мкс, которая использовалась в работе [6], в данном случае было недостаточно, что указывает на низкую эффективность возбуждения лазером 532 нм нашего образца.

Измерения проводились при комнатной температуре. Однако, для более качественных результатов из двух состояний $m_s=\pm1$ при проведении измерений с помощью магнитного поля было выбрано только одно $m_s=-1$.

Результаты и обсуждение

Частота осцилляций Раби зависит от связи спина электрона с подаваемым СВЧ-полем. Качество этой связи зависит, прежде всего, от мощности СВЧ-поля, но и качество самого образца имеет значение. Посторонние примеси в алмазе и флуктуации полей решетки, очевидно, будут приводить к уменьшению частоты и увеличению затухания осцилляций Раби.

На *рисунках 3-6* представлены результаты измерения осцилляций Раби при частоте микроволнового поля 2,78 ГГц и разных мощностях усилителя этого микроволнового поля. Относительные величины мощностей указаны в подписях к рисункам. По экспериментальным точкам проведено фитирование функцией

$$p0+p1*exp(p3*x)*cos(p2*(x+p4)). \qquad (1)$$

Параметры фильтра *p*0-*p*4 представлены на *рисунках 3-6*. Параметр *p*2 соответствует частоте осцилляций Раби, *p*1 показывает максимальный контраст ОДМР, по *p*3=1/T можно оценить время «затухания» осцилляций за счет декогеренции. Можно заметить, что декогеренция зависит от качества образца и находится в пределах 500±100 нс для всех мощностей сигнала СВЧ. Параметр *p*4 учитывает неидеальность модулятора СВЧ-сигнала – видно, что минимальная длительность СВЧ-импульса, которая может быть получена на нашем оборудовании, составляет более 8.5 нс. Поскольку длительность инвертирующего импульса (π-импульс), который и представляет практический интерес, много больше этого порога даже в случае 100% мощности СВЧ – $T_\pi = 2\pi/0.053 = 118.5$ нс, – это ограничение не повлияет на управление состоянием кубита.

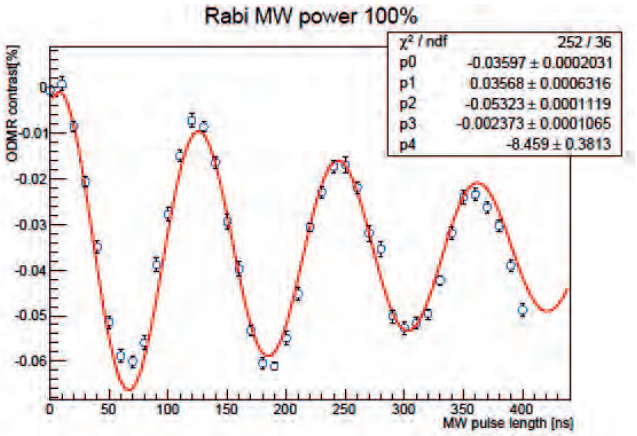


Рис. 3. Мощность генератора 100%

На *рисунке 7* представлена зависимость частоты Раби от мощности СВЧ. В наивной модели

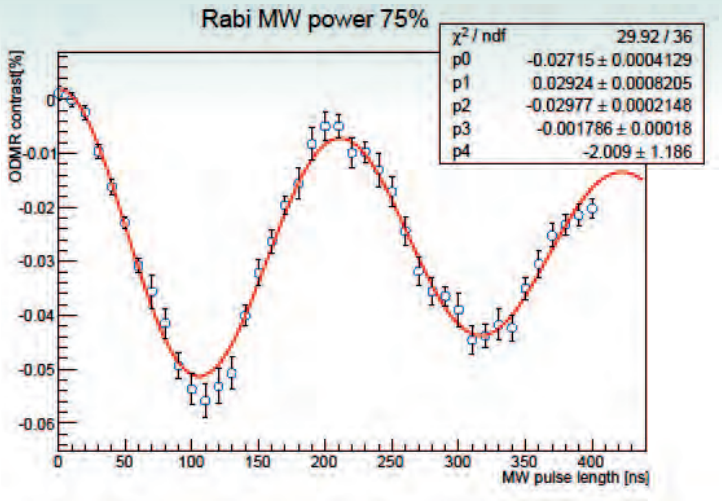


Рис. 4. Мощность генератора 75%

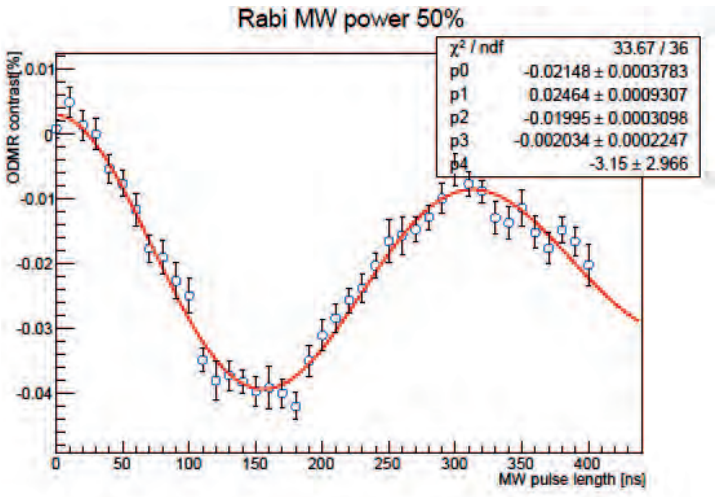


Рис. 5. Мощность генератора 50%

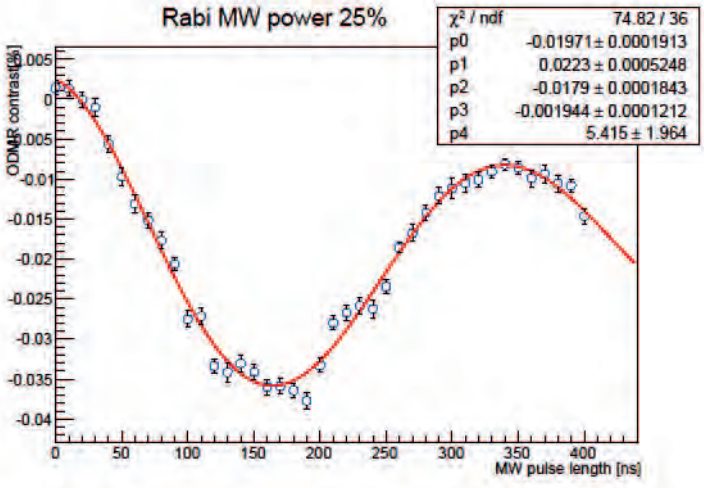


Рис. 6. Мощность генератора 25%

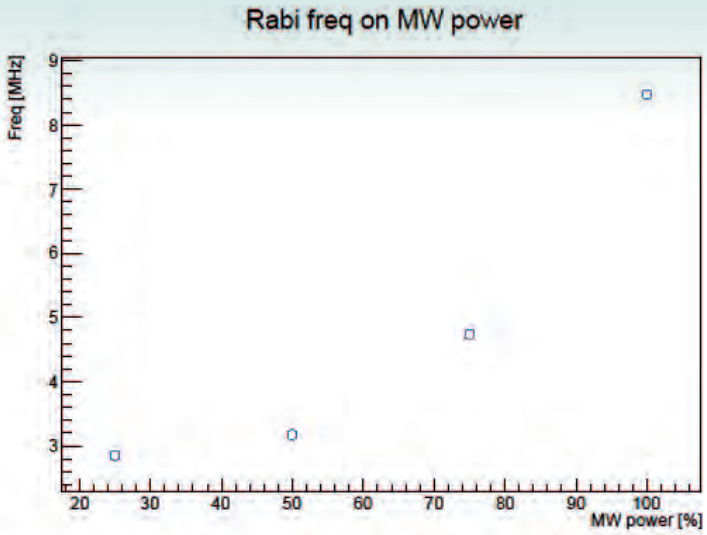


Рис. 7. Зависимость частоты Раби от мощности СВЧ-генератора

можно было бы ожидать линейную зависимость частоты осцилляций Раби от мощности СВЧ-поля. Однако, поскольку измерения проводились с дополнительной постоянной составляющей магнитного поля, при приближении мощности поля к нулю вклад связи спина электрона с постоянным полем должен увеличиваться, приводя к нелинейному поведению.

Заключение

В ходе исследования наблюдались осцилляции Раби на ансамбле NV-центров в образце алмаза при нескольких значениях мощности СВЧ-поля. Для возбуждения и считывания состояния кубита использовался зеленый лазер.

Также были вычислены длительности импульсов для управления состоянием кубитов на NV-центре в алмазе. Получена монотонная, нелинейная зависимость частоты осцилляций Раби от мощности СВЧ-поля.

Постоянная времени затухания осцилляций Раби составила 500 нс, что заметно меньше рекордных характеристик для NV-центров в алмазе и обусловлено высокой концентрацией примесей в исследуемом образце алмаза.

Литература

1. Rabi I.I. Space quantization in a gyrating magnetic field. Phys. Rev. 51, 1937. pp. 652-654.
2. Torrey H.C. Transient nutations in nuclear magnetic resonance. Phys. Rev.76, 1949. pp. 1059-1069.
3. Stievater T.H., Li X., Steel D.G., Gammon D., Katzer D.S., Park D., Piermarocchi C., Sham L.J. Rabi oscillations of excitons in single quantum dots. Phys. Rev. Lett. 87 (13), 2001, 133603.
4. Kamada H., Gotoh H., Temmyo J., Takagahara T., Ando H. Exciton Rabi oscillation in a single quantum dot", Phys. Rev. Lett. 87 (13), 2001, 246401.
5. Васильев А.Н., Смуров С.В., Семёнов П.А., Кукин Н.С., Бухтияров А.А., Капусткин Д.О. Экспериментальное наблюдение оптически детектируемого магнитного резонанса в кристалле алмаза с примесями азота // Известия Института инженерной физики, 2016. №2 (40). С.40-44.
6. Robledo L., Bernien H., van der Sar T., Hanson R. Spin dynamics in the optical cycle of single nitrogen-vacancy centres in diamond. New Journal of Physics 13 (2), 025013, 2011.
7. Gruber A., Drabenstedt A., Tietz C., Fleury L., Wrachtrup J., Von Borczyskowski C. Scanning Confocal Optical Microscopy and Magnetic Resonance on Single Defect Centers. Science 276 (5321), 1997. pp. 2012-2014.

УДК 621.39

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДСИСТЕМЫ КАДРОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В СЕТИ РАДИОСВЯЗИ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ ВРЕМЕННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ

APPROACHES TO SOLVING THE PROBLEM OF FINDING THE OPTIMAL PARAMETERS OF THE FRAME SYNCHRONIZATION SUBSYSTEM OF A RADIO NETWORK IN THE METER RANGE WITH MOVING OBJECTS IN THE IMPLEMENTATION OF TIME-DIVISION MULTIPLEXING PROCEDURE

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

Аннотация
В данной статье представлен подход для нахождения оптимальных параметров подсистемы кадровой синхронизации сети связи с подвижными объектами при ограничениях, наложенных на другие параметры подсистемы кадровой синхронизации.

Ключевые слова: кадровая синхронизация, временное разделение каналов, сеть связи с подвижными объектами, оптимизация.

Summary
In this article approach for finding of optimum parameters of a subsystem of frame synchronization of a communication network with mobile objects in case of the restrictions imposed on other parameters of a subsystem of frame synchronization is provided.

Keywords: frame synchronization, time division multiplexing communications network with mobile objects, optimization.

Применение сетей радиосвязи метрового диапазона для организации связи с подвижными объектами в различных отраслях народного хозяйства обусловлено их достоинствами и получило достаточно широкое распространение [2, 4]. Среди многообразия топологий сетевых структур, иерархический принцип построения радиосети представляется наиболее общим и естественным. Структура рассматриваемой радиосети в виде неориентированного графа представлена на *рисунке 1*.

Преимуществами радиосетей метрового диапазона являются: относительно быстрое развертывание сети, возможность организации связи в движении, циркулярное доведение информации до абонентов и т.д. К недостаткам таких радиосетей можно отнести ограниченную пропускную способность каналов связи, при ограничениях на массо-габаритные характеристики каналообразующей аппаратуры, установленной на подвижных объектах.

Однако современные достижения в области цифровых телекоммуникационных технологий позволяют повысить скорость передачи данных в радиоканалах метрового диапазона на порядок, без снижения помехоустойчивости, оцениваемой вероятностью ошибки на бит передаваемой информации. В [2, 4, 5] описаны методы организации информационного обмена с разделением каналов при наличии доста-

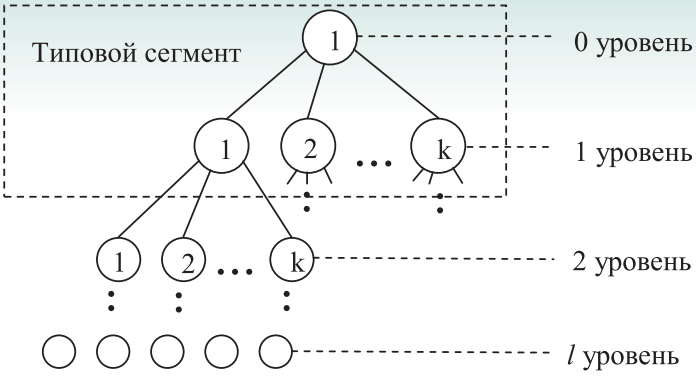


Рис. 1. Топология радиосети иерархической структуры

точных ресурсов по их пропускной способности. Вышеизложенное обуславливает возможность организовать в радиосети временное разделение каналов, что повысит число элементарных каналов. Реализация других известных методов разделения каналов в данных условиях либо не целесообразно, либо невозможно и требует дополнительных исследований [1]. Структура временной последовательности при этом будет иметь вид, представленный на *рисунке 2*.

Реализация процедуры временного разделения каналов в сети невозможна без обеспечения кадровой синхронизации узлов коммутации (УК) сети между собой. Задача по обеспечению и поддержанию кадрового синхронизма между УК сети возлагается на подсистему кадровой синхронизации (ПКС). Для ее решения применяются широкополосные фазоманипулированные (ШПС-ФМ) сигналы – сигналы кадровой синхронизации (СКС).

Проведенные ранее исследования [1] позволили установить, что показателями эффективности функционирования ПКС сети являются следующие:

1. $К_{г\ сети}$ – коэффициент готовности ПКС сети, как вероятность нахождения в кадровом синхронизме всех подчиненных УК с вышестоящим УК, во всех типовых сегментах сети в любой момент времени.

2. η – коэффициент кадровой эффективности, как отношение времени передачи полезной информации к общему времени передачи.

Зависимость коэффициента кадровой эффективности типового сегмента сети от параметров его ПКС будет иметь вид

$$\eta = 1 - \frac{(\tau'_з + \frac{\Delta R}{c})}{(\tau_{во} + \tau'_з + \frac{\Delta R}{c})} - \frac{(l-1)\times(\tau_{во} + \frac{\Delta R}{c})\times 2\times\gamma}{\tau'_з}, \quad (1)$$

где γ – относительная нестабильность опорных генераторов;

l – число уровней иерархии сети;

ΔR – неопределенность знания расстояний между УК сети [м];

$\tau_з$ – величина защитного интервала [с];

$\tau_{во}$ – длительность временного окна [с].

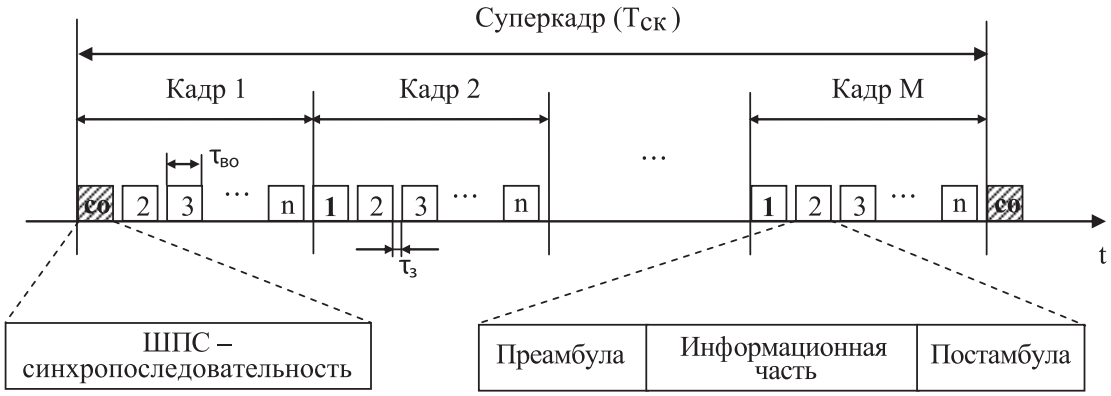


Рис. 2. Структура временной последовательности в системах связи с временным разделением каналов

Анализ показал, что зависимость (1) можно оптимизировать для достижения максимума коэффициента кадровой эффективности с определением оптимальной величины защитного интервала. Для этого зависимость (1) преобразуем к виду

$$\eta = \frac{\tau_{во}}{(\tau_{во} + \tau'_з + \frac{\Delta R}{c})} - \frac{(l-1)\times(\tau_{во} + \frac{\Delta R}{c})\times 2\times\gamma}{\tau'_з}. \quad (2)$$

Проведя замену

$$\begin{cases} \tau'_з = x \\ (l-1) = \alpha \\ \frac{\Delta R}{c} + \tau_{во} = \beta, \text{ получим функцию (4).} \end{cases}$$

$$\alpha > 0,\ \beta > 0,\ \gamma > 0,\ \tau_{во} > 0. \quad (3)$$

$$y = \frac{\tau_{во}}{x+\beta} - \frac{2\alpha\beta\gamma}{x}. \quad (4)$$

Найдем значения x при которых y принимает максимальное значение, для этого исследуем функцию (4) на экстремум с помощью производной. Производная первого порядка от (4) примет вид

$$y' = -\frac{\tau_{во}}{(x+\beta)^2} + \frac{2\alpha\beta\gamma}{x^2} = \frac{2\alpha\beta\gamma(x+\beta)^2 - x^2\tau_{во}}{x^2(x+\beta)^2}. \quad (5)$$

По теореме о необходимом условии существования экстремума функции известно, что в точке экстремума первая производная функции либо равна нулю, либо равна бесконечности, либо не существует, поэтому необходимо найти значения x при которых $y' = 0$. Значение $x = 0$ обращает знаменатель (5) в ноль и поэтому смысла не имеет. Поэтому $y' = 0$ при выполнении условия

$$2\alpha\beta\gamma x^2 + 4\alpha\beta^2\gamma x + 2\alpha\beta^3\gamma - \tau_{во}x^2 = 0. \quad (6)$$

Выполнив преобразования, получим квадратное уравнение

$$(2\alpha\beta\gamma - \tau_{во})x^2 + 4\alpha\beta^2\gamma x + 2\alpha\beta^3\gamma = 0. \quad (7)$$

Дискриминант уравнения (7) найдем по формуле (8), причем он всегда больше нуля [3].

$$D = 2\alpha\beta^3\gamma\tau_{во} > 0. \quad (8)$$

Уравнение (7) будет иметь два решения

$$x_{1,2} = \frac{-2\alpha\beta^2\gamma \pm \beta\sqrt{2\alpha\beta\gamma\tau_{во}}}{2\alpha\beta\gamma - \tau_{во}}. \quad (9)$$

Согласно достаточному условию существования экстремума функции возможны следующие исходы:

$$а)\ \begin{cases} 2\alpha\beta\gamma - \tau_{во} > 0 \\ \frac{2\alpha\beta^3\gamma}{2\alpha\beta\gamma - \tau_{во}} < 0 \end{cases} \qquad б)\ \begin{cases} 2\alpha\beta\gamma - \tau_{во} > 0 \\ \frac{2\alpha\beta^3\gamma}{2\alpha\beta\gamma - \tau_{во}} > 0 \end{cases}$$

$$в)\ \begin{cases} 2\alpha\beta\gamma - \tau_{во} < 0 \\ \frac{2\alpha\beta^3\gamma}{2\alpha\beta\gamma - \tau_{во}} > 0 \end{cases} \qquad г)\ \begin{cases} 2\alpha\beta\gamma - \tau_{во} < 0 \\ \frac{2\alpha\beta^3\gamma}{2\alpha\beta\gamma - \tau_{во}} < 0 \end{cases}. \quad (10)$$

Учитывая условие (3), системы а) и в) выражения (10) не существуют, а система б) не имеет физического смысла учитывая тот факт, что величина γ на несколько порядков меньше $\tau_{во}$, а следовательно первое уравнение системы б) выражения (10) меньше нуля. Следовательно, условиям удовлетворяет система уравнений г) выражения (10), а это значит, что корни уравнения (7) x_1 и x_2 имеют разные знаки. Тогда решением уравнения (7) будет значение, определяемое выражением

$$x = \frac{-2\alpha\beta^2\gamma - \beta\sqrt{2\alpha\beta\gamma\tau_{во}}}{2\alpha\beta\gamma - \tau_{во}}. \quad (11)$$

Подставив в выражение (11) исходные значения переменных, получим формулу для нахождения оптимальной величины защитного интервала для компенсации нестабильности опорных генераторов (12) при которой коэффициент кадровой эффективности принимает свое максимальное значение.

$$\tau'_{з\,опт} = \frac{-2(l-1)(\frac{\Delta R}{c}+\tau_{во})^2\gamma - (\frac{\Delta R}{c}+\tau_{во})\sqrt{2(l-1)(\frac{\Delta R}{c}+\tau_{во})\gamma\tau_{во}}}{2(l-1)(\frac{\Delta R}{c}+\tau_{во})\gamma - \tau_{во}}. \quad (12)$$

Зная оптимальное значение защитного интервала для компенсации относительной нестабильности опорных генераторов (12) запишем формулу (13) для определения оптимального значения периода коррекции ПКС сети:

$$T^*_{ск} = \frac{\tau'_{з\,опт}}{2\cdot\gamma}. \quad (13)$$

Литература

1. Бекренёв С.А. Нахождение оптимальных параметров подсистемы кадровой синхронизации с временным разделением каналов и ШПС-ФМ синхросигналами в сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами / С.С. Чайков, Д.В. Смирнов, С.А. Бекренев // Известия Института инженерной физики, 2015. № 4(38). С. 36-40.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е испр. / Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.
3. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: АСТ-Астрель, 2006. 991 с.: ил.
4. Карташевский В.Г. Сети подвижной связи / В.Г. Карташевский, С.Н. Семенов, Т.В. Фирстова. М.: Эко-Трендз, 2001. 300 с.:ил.
5. Сухман С.М. Синхронизация в телекоммуникационных системах / С.М. Сухман, А.В. Бернов, Б.В. Шевкопляс. М.: Эко-Трендз, 2003. 272 с.:ил.

УДК 37

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ НА КАФЕДРЕ

AUTOMATED DIAGNOSTICS OF QUALITY SYSTEM IMPLEMENTATION OF EDUCATION PROGRAMS IN THE DEPARTMENT

Геннадий Федорович Утробин
доктор технических наук, профессор
доцент кафедры военной акмеологии и кибернетики
ВА РВСН имени Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: +7(495)524-08-14
E-mail:kugf@mail.ru

Игорь Анатольевич Обыночный
начальник офицерских курсов
ВА РВСН имени Петра Великого
(филиал в г. Серпухове)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д.17
Тел.: +7(4967) 78-97-32

Аннотация

В статье представлена система управления образовательным процессом на кафедре как сложная организационно-техническая система, состоящая из комплекса средств автоматизации и работающих на нем коллектива ППС и ИТС. Определено содержание комплекса средств автоматизации. Предлагаемая система диагностики качества реализации каждой основной образовательной программы по изменению показателей качества ее освоения позволяет не только определять причины снижения качества учебы, но и оценивать эффективность управления каждым контуром по каждой образовательной программе.

Ключевые слова: система управления образовательным процессом, организационно-техническая система, комплекс средств автоматизации, технические средства обучения, информационно-коммуникационные технологические комплексы, системы управления базами данных и знаний, информационные средства поддержки принятия управленческих решений, виды образовательной деятельности, контуры управления образовательной деятельностью, состояние образованности обучающегося, состояние подготовленности ППС, объекты образовательного процесса, ФГОС, автоматизированной системы диагностики качества реализации образовательных программ, качественный показатель учебы обучающихся, эффективность управления образовательной деятельностью.

Summary

The article presents the system of management of educational process at the Department, as a complex organizational-technical system, consisting of a complex of means of automation and working on it team of teaching staff and its. To determine the content of a complex of means of automation. The proposed system of diagnostics of quality of the implementation of the basic educational program on change of quality indicators of its development allows not only to determine the reasons for the decline of the quality of education, but also to evaluate the effectiveness of each control circuit for each educational program.

Keywords: system of management of educational process, organizational and technical system, complex automation equipment, technical training, information and communication technological systems, systems of database management and knowledge information tools of support of managerial decision-making, educational activities, outlines of management of educational activity, as the education of the student, the state of preparedness of faculty, the objects of the educational process, GEF, the automated system of diagnostics of quality of realization of educational programs, a quality indicator of the school students, the effectiveness of management of educational activity.

Систему управления образовательным процессом на кафедре формально можно определить как сложную организационно-техническую систему, состоящую из комплекса средств автоматизации и работающих на нем коллектива ППС и ИТС. В комплекс средств автоматизации входят современные интерактивные технические средства обучения, информационно-коммуникационные технологические комплексы, системы управления базами данных и знаний, информационные средства поддержки принятия управленческих решений по управлению различными видами деятельности. Коллектив ППС и ИТС кафедры представляет собой совокупность должностных лиц-исполнителей (ИДЛ) и лиц, принимающих решения по учебной, методической, научной и другим видам образовательной деятельности (РДЛ) [1]

Структура управления кафедрой состоит из ряда взаимосвязанных контуров управления (*рисунок 1*).

В образовательной деятельности кафедры имеет место главный контур управления – это контур управления учебной работой (на *рисунке 1* показан самым большим пунктирным контуром), в результате функционирования которого на выходе имеет место обучающийся (бывший абитуриент – будущий выпускник).

Поэтому состояние образованности обучающегося по каждой j-й основной образовательной программе можно описать следующим образом:

$$X_O,j = F(X_A(У_{Xa}),j;\ X_{ООП}(У_{Xооп}),j;\ X_{ИДЛ}(У_{Xидл}),j;\ X_{РДЛ}(У_{Xрдл}),j;\ X_{УМКД}(У_{Xумкд}),j;\ X_{ТСО}(У_{Xтсо}),j;\ X_M(У_{Xм}),j), \quad (1)$$

где X_O,j – текущее состояние образованности обучающегося по j-й основной образовательной программе;

$X_O,j = (x1,j;\ x2,j;\ x3,j;\ x4,j;)^T$, x1,j – духовно-нравственная составляющая образованности обучающегося;

x2,j – фундаментальная составляющая образованности обучающегося;

x3,j – функциональная составляющая образованности обучающегося;

x4,j – состояние подготовленности к управлению подразделением в мирное время (уровень КМН и НВР);

$X_A(У_{Xa})$, – состояние образованности абитуриента по j-й основной образовательной программе, $У_{Xa}$ означает научное обоснование форм довузовской работы;

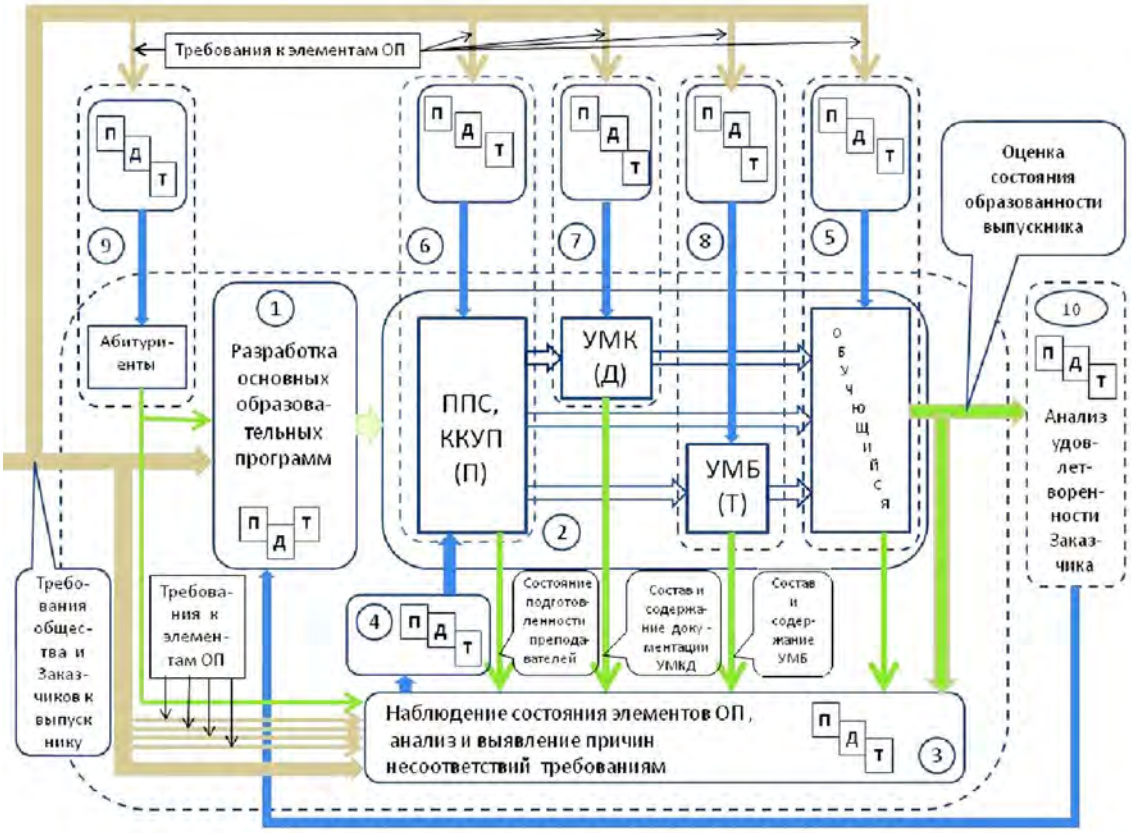


Рис. 1. Контуры управления образовательной деятельностью

$X_{ООП}(У_{Хооп}),j$ – содержание j-й основной образовательной программы, формирующее у обучающегося компетенции ФГОС и КТ заказчика; $У_{Хооп}$ означает кондиционность научного содержания ООП;

$X_{ИДЛ}(У_{Хидл}),j$ – состояние подготовленности ППС и ИТС и других должностных лиц, участвующих в реализации j-й ООП (непосредственно проводящих мероприятия учебного плана j-й ООП); $У_{Хидл}$ означает научную обоснованность системы профессионально-должностной подготовки и повышения квалификации ППС-исполнителей;

$X_{РДЛ}(У_{Хрдл}),j$ – состояние подготовленности ППС и ИТС и других должностных лиц, участвующих в управлении видами деятельности по j-й ООП; $У_{Хрдл}$ означает научную обоснованность системы профессионально-должностной подготовки и повышения квалификации ППС-руководителей видами деятельности;

$X_{УМКД}(У_{Хумкд}),j$ – состав и содержание элементов учебно-методических комплексов дисциплин j-й ООП; У означает научную обоснованность состава и содержания элементов УМКД;

$X_{тсо}(У),j$ – состояние технических и автоматизированных средств обучения и воспитания по j-й ООП; $У_{Хумкд}$ означает научно-методическое обоснование привлекаемых технических средств;

$X_{М}(У_{Хм}),j$ – состояние мотивации обучающихся к учебе по j-й ООП; $У_{Хм}$ означает научно-обоснованную платформу мотивирования обучающихся к учебе;.

F(*) – некая функциональная зависимость текущего состояния обучающихся от перечисленных выше состояний субъектов т объектов образовательного процесса.

Через плановый период (семестр, учебный год) изменение состояния образованности можно выразить следующим образом:

$$\Delta X_{O},j = (\partial F(*)/\partial X_{A},j)\Delta X_{A},j + (\partial F(*)/\partial X_{ООП},j)\Delta X_{ООП},j + (\partial F(*)/\partial X_{ИДЛ},j)\Delta X_{ИДЛ},j + (\partial F(*)/\partial X_{РДЛ},j)\Delta X_{РДЛ},j + (\partial F(*)/\partial X_{УМКД},j)\Delta X_{УМКД},j + (\partial F(*)/\partial X_{ТСО},j)\Delta X_{ТСО},j + (\partial F(*)/\partial X_{М},j)\Delta X_{М}),j + (\partial F(*)/\partial X_{A},j)(dX_{A}(У_{Xa,j}),j/ У_{Xa,j}) \Delta У_{Xa,j} + (\partial F(*)/\partial X_{ООП},j)(dX_{ООП}(У_{Хооп},j),j/dУ_{Хооп,j}) \Delta У_{Хооп,j} + (\partial F(*)/\partial X_{ИДЛ},j)(dXидл(У_{Хидл}),j/dУ_{Хидл,j}) \Delta У_{Хидл,j} + (\partial F(*)/\partial X_{РДЛ},j)(dXрдл(У_{Хрдл,j}),j/dУ_{Хрдл}) \Delta У_{Хрдл,j} + (\partial F(*)/\partial X_{УМКД},j)(dX_{УМКД}(У_{Хумкд,j}),j/dУ_{Хумкд}) \Delta У_{Хумкд,j} + (\partial F(*)/\partial X_{ТСО},j)(dX_{ТСО}(У_{Хтсо,j}),j/dУ_{Хтсо,j}) \Delta У_{Хтсо,j} + (\partial F(*)/\partial X_{М},j)(dX_{М}(У_{Хм,j}),j/dУ_{Хм,j})\Delta У_{Хм,j}.$$

После очевидных преобразований получим выражение для относительных отклонений

$$\delta Xo,j=K1,j\delta X_{A},j + K2,j\delta Xооп,j + K3,j\delta Xидл,j+K4,j\delta Xрдл,j + K5,j\delta Xумкд,j + K6,j\delta Xтсо,j + K7,j\delta Xм,j, + K8,j\delta У_{Xa,j} + K9,j\delta У_{Хооп,j} + K10,j\delta У_{Хидл,j} + K11,j\delta У_{Хрдл,j} + K12,j\delta У_{Хумкд,j} + K13,j\delta У_{Хтсо,j} + K14,j\delta У_{Хм,j}. \quad (2)$$

где $\delta Xo,j= \Delta Xo,j/Xo,j$;

$\delta X_{A},j= \Delta X_{A},j/X_{A},j$, $\delta X_{ООП},j= \Delta X_{ООП},j/X_{ООП},j$;

$\delta X_{ИДЛ},j= \Delta X_{ИДЛ},j/X_{ИДЛ},j$, $\delta X_{РДЛ},j= \Delta X_{РДЛ},j/X_{РДЛ},j$;

$\delta X_{УМКД},j= \Delta X_{УМКД},j/X_{УМКД},j$, $\delta X_{ТСО},j= \Delta X_{ТСО},j/X_{ТСО},j$;

$\delta X_{М},j, = \Delta X_{М},j/X_{М},j$, $\delta У_{Xa,j} = \Delta У_{Xa,j}/ У_{Xa,j}$,

$\delta У_{Хооп,j} = \Delta У_{Хооп,j}/ У_{Хооп,j}$, $\delta У_{Хидл,j} = \Delta У_{Хидл,j}/ У_{Хидл,j}$,

$\delta У_{Хрдл,j} = \Delta У_{Хрдлп,j}/ У_{Хрдл,j}$, $\delta У_{Хумкд,j} = \Delta У_{Хумкд,j}/ У_{Хумкд,j}$,

$\delta У_{Хтсо,j} = \Delta У_{Хтсо,j}/ У_{Хтсо,j}$, $\delta У_{Хм,j} = \Delta У_{Хм,j}/ У_{Хм,j}$, (3)

– относительные отклонения или доля изменений состояний в соответствующих видах деятельности; относительные отклонения определяются руководителями видов деятельности и утверждаются начальником кафедры;

$K1,j = (\partial F(*)/\partial X_{A},j)(X_{A}/Xo,j)$;

$K2,j = (\partial F(*)/\partial X_{ООП},j)(X_{ООП},j/Xo,j)$;

$K3,j = (\partial F(*)/\partial X_{ИДЛ},j)(X_{ИДЛ},j/Xo,j)$;

$K4,j = (\partial F(*)/\partial X_{РДЛ},j)(X_{РДЛ},j/Xo,j)$;

$K5,j =(\partial F(*)/\partial X_{УМКД},j)(X_{УМКД},j/Xo,j)$;

$K6,j = (\partial F(*)/\partial X_{ТСО},j)(X_{ТСО},j/Xo,j)$;

$K7,j= (\partial F(*)/\partial X_{М},j)(X_{М},j/Xo,j)$

$K8,j = (\partial F(*)/\partial X_{A},j)(dX_{A}(У_{Xa,j}),j/dУ_{Xa,j})(У_{Xa,j} /Xo,j)$;

$K9,j = (\partial F(*)/\partial X_{ООП},j)(dX_{ООП}(У_{Хооп},j),j/dУ_{Хооп,j}) (У_{Хооп,j} /Xo,j)$;

$K10,j = (\partial F(*)/\partial X_{ИДЛ},j)(dXидл(У_{Хидл}),j/dУ_{Хидл,j}) (У_{Хидл,j} /Xo,j)$;

$K11,j = (\partial F(*)/\partial X_{РДЛ},j)(dXрдл(У_{Хрдл,j}),j/dУ_{Хрдл}) (У_{Хрдл,j} /Xo,j)$;

$K12,j = (\partial F(*)/\partial X_{УМКД},j)(dX_{УМКД}(У_{Хумкд,j}),j/dУ_{Хумкд}) (У_{Хумкд,j} /Xo,j)$;

$K13,j = (\partial F(*)/\partial X_{ТСО},j)(dX_{ТСО}(У_{Хтсо,j}),j/dУ_{Хтсо,j}) (У_{Хтсо,j} /Xo,j)$;

$K14,j = (\partial F(*)/\partial X_{М},j)(dX_{М}(У_{Хм,j}),j/dУ_{Хм,j}) (У_{Хм,j} /Xo,j)$ (4)

– коэффициенты влияния или весовые коэффициенты, определяемые экспертным путем.

Причем

$K1,j + K2,j + K3,j + K4,j + K5,j + K6,j + K7,j + K8,j + K9,j + K10,j + K11,j + K12,j + K13,j + K14,j = 1$.

На *рисунке 2* представлена структурная схема автоматизированной системы диагностики качества реализации образовательных программ.

Выражение (2) справедливо как для отдельного обучающегося, так и для учебного отделения. Xo,j представляет собой качественный показатель учебы обучающихся, например средний бал по дисциплине во время экзаменационной сессии, итогового междисциплинарного экзамена, защиты выпускных квалификационных работ и т.д. Автоматизированная система диагностики рассчитывает действительное (реальное) относительное приращение качественного показателя за плановый период.

Относительные изменения (3) обосновываются руководителями контуров управления, показанных на *рисунке 1*. Каждое изменение пред-

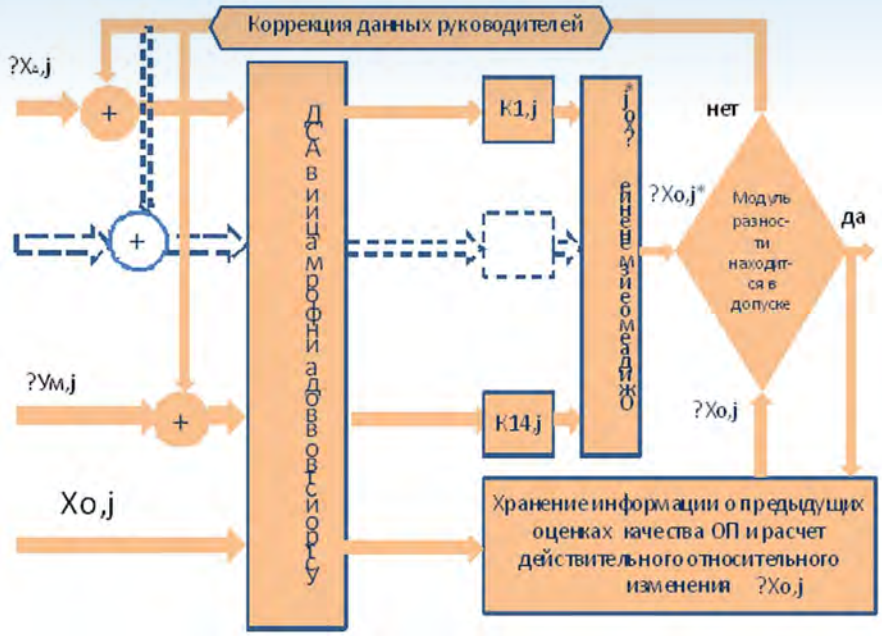


Рис. 2. Структура автоматизированной системы диагностики (АСД) качества реализации образовательных программ

ставляет собой относительный показатель качества соответствующего контура управления. После обсуждения в предметно-методических комиссиях, заседании кафедры, других рабочих группах, созданных на плановом периоде, эти показатели утверждаются начальником кафедры.

Далее уточняются экспертные оценки весовых коэффициентов (4). В соответствии с выражением (2) система рассчитывает ожидаемое приращение показателя качества δXo,j.

При выполнении условия: модуль разности действительного и ожидаемого приращения показателя качества менее допустимого значения – делается положительный вывод о работе всех ответственных должностных лиц ППС и ИТС и нештатных коллективных органов управления образовательной деятельностью на кафедре.

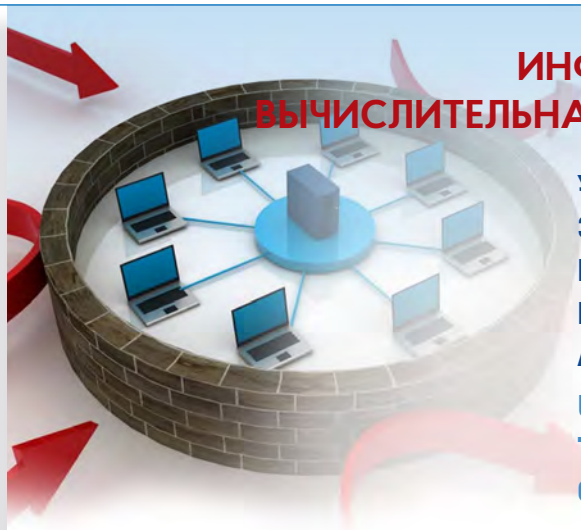
При невыполнения логического условия проводятся последовательно итерационные процедуры коррекции показателей качества в видах деятельности до тех пор, пока не выполнится условие. При этом корректирующие действия должны быть результатом консенсуса всех руководителей контуров управления.

Результаты коррекции являются хорошим подспорьем для оценки позитивных результатов в контурах управления и планирования работы в тех контурах управления, где наметились негативные тенденции.

Предлагаемая система диагностики качества реализации каждой основной образовательной программы по изменению показателей качества ее освоения целесообразна, так как позволяет не только определять причины снижения качества учебы, но и оценивать эффективность управления каждым контуров по каждой образовательной программе.

Литература

1. Утробин Г.Ф., Обыночный И. А. Управленческие аспекты в программах подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) // Мир образования – образование в мире, 2016. №3. С . 169-175.



УДК 004.056.5

ЗАДАЧИ UBA-АНАЛИТИКИ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

UBA-ANALYSTS TASK USED TO IMPROVE THE INFORMATION SECURITY OF AUTOMATED SYSTEM

Александр Владимирович Василенко
кандидат технических наук
начальник управления
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: vasilenko8@yandex.ru

Игорь Александрович Игнатенко
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: refugee.iif@gmail.com

Аннотация
В статье рассмотрены принципы работы UBA-аналитики, а также задачи, которые должны решать UBA-системы для обеспечения безопасности информации в автоматизированных системах военного назначения.

Ключевые слова: автоматизированные системы, информационная безопасность, информационные технологии, профилирование поведения пользователей.

Summary
The article describes the principles of the UBA-analysts, as well as tasks to solve UBA-system to ensure information security in automated systems.

Keywords: automated systems, information security, information technology, profiling of user behavior.

Практика борьбы с компьютерными злоумышленниками показывает, что кроме атак на автоматизированные системы (АС) из внешней сети, все большую опасность представляют внутренние атаки, когда преступник получает доступ изнутри системы. К сожалению, квалификация и техническое оснащение злоумышленников продолжает улучшаться. Преступники действуют внутри АС, в том числе в информационных системах, использующих технологию виртуализации [4], будучи незамеченными другими пользователями и системами безопасности. Нацеленность защитного инструментария на оборону АС от атак извне, а не от собственных сотрудников, у которых уже есть доступ, делает систему весьма уязвимой против взломов внутренними злоумышленниками.

Современные атаки на АС являются комплексными, злоумышленники используют социальную инженерию, добытые различными способами знания о внутреннем устройстве и уязвимостях информационной инфраструктуры АС. Злоумышленники используют комплексный подход для получения несанкционированного доступа к внутренней сети.

Следовательно, в систему защиты от таких атак необходимо добавить еще один уровень – контроль пользователей. Эти мероприятия называются UBA-аналитикой (User Behavior Analytics – профилирование поведения пользователей) и дают возможность:

- распознавать подозрительную активность пользователя и своевременно обнаруживать новые, ранее неизвестные угрозы, исходящие изнутри организации;
- повысить эффективность работы экспертов по безопасности;
- снизить вероятность нарушений безопасности и степень их влияния на работы организации;

● улучшить защиту и адаптивность системы безопасности.

Данная система анализирует действия внутренних и внешних пользователей в АС. Если UBA-система обнаруживает отклонения от обычных действий, служба организации безопасности информации может сосредоточиться на этих событиях, проанализировать их. А на основании выводов внести изменения в систему управления. Таким образом, не только устраняются узкие места в безопасности, но и повышается эффективность работы администраторов организации безопасности информации.

Практика показывает, что если данные организации или ее сотрудников представляют интерес для злоумышленников, они не устанут искать способы взломать АС тем или иным способом, пока не получат необходимую информацию. То есть, вопрос не в том, смогут ли они в принципе попасть внутрь инфраструктуры организации, а в наличии технических и организационных решений, позволяющих обнаружить злоумышленников до того, как они нанесут ущерб.

Как работает UBA-анализ

Средства, анализирующие модели поведения для обнаружения и отражения атак, уже используются в современных комплексах информационной безопасности. Как правило, применяется эвристический анализ возможных атак и пополняема библиотека данных о возможных направлениях и методах атак. Однако существующие системы управления данными о безопасности и службы обнаружения вторжений (SIEM и IDS) применяют анализ на основе тех моделей поведения, которые составил поставщик изделия или впоследствии внесли администраторы организации. Слабость данной защиты в том, что она способна отражать только уже известные, ранее исследованные виды атак. Любую технику нападения нового типа, по неизвестной модели, классические решения информационной безопасности остановить не могут.

Технологии UBA-аналитики, использующие данные учетной записи сотрудника организации, отлично защищают от атак неизвестного типа. Подобные решения, анализирующие деятельность пользователей дополняют традиционные системы безопасности, которые, даже при «многослойной» защите, довольно однобоки и не отвечают современным требованиям.

Решения безопасности по технологии UBA, как правило, не требуют дополнительных программ-агентов или внутренних сканнеров. UBA использует существующие данные, в большом количестве накапливаемые АС. Ведь каждый пользователь совершает множество событий, который фиксируются в различных журналах приложений, протоколах событий в сети и доступа к информации, системах управления безопасностью информации. И технология UBA-аналитики, без дополнительного мониторинга работы сотрудников, собирает данные из существующих журналов и хранилищ, а затем анализирует их.

На основании такого анализа создает «эталон» – модель типичного поведения пользователя (время работы, к каким данным обращается, какими инструментами и службами пользуется). При создании подобных профилей системы UBA используют различные интеллектуальные алгоритмы и системы машинного самообучения.

В дальнейшем система безопасности будет в режиме реального времени сравнивать текущие действия пользователя системы с его эталонным профилем. Если злоумышленник взломает учетную запись, то его действия в системе будут отличаться от типичной работы пользователя и эти аномалии будут своевременно обнаружены. В том случае если пользователь будет регистрироваться в сети в нетипичное время, подключаться из новых локаций, обращаться серверам, которые обычно не использует, администраторы безопасности будут извещены об этом и смогут проанализировать активность конкретной учетной записи.

Задачи применения UBA-аналитики

1. Компрометация учетной записи пользователя. Необходимое, но недостаточное условие для UBA-аналитики. Решение должно легко обнаруживать факт получения злоумышленником контроля над учетной записью сетевого пользователя независимо от направления вектора атаки или использования вредоносных программ. Это включает в себя обнаружение атак типа «pass the hash» и «golden ticket». Функция обнаружения должна работать с любыми сочетаниями учетных записей пользователей, устройств или IP-адресов. Важно, что способность к обнаружению факта компрометации учетной записи любого пользователя в пределах организации является основополагающим требованием.

2. Компрометация учетной записи привилегированного пользователя. Компрометация учетной записи привилегированного пользователя является более трудной задачей. Привилегированные пользователи могут не работать со-

гласно стандартным шаблонам поведения, так как им регулярно приходится реагировать на экстремальные ситуации. Поэтому профилирование действий таких пользователей оказывается более трудной задачей. Решения UBA-аналитики должны быть способны идентифицировать определенные типы атак на привилегированных пользователей, которые обладают правами доступа к критичным системам. Атакующие получают контроль над учетной записью привилегированного пользователя, затем получают непосредственный доступ к ключевым системам; средства UBA-аналитики должны немедленно распознавать эту ситуацию.

3. Доступ к ресурсам руководства. Очевидными целями злоумышленником являются ресурсы, принадлежащие руководителям организаций. Эффективные решения UBA-аналитики должны обладать способностью к автоматическому построению моделей ресурсов, идентифицирующих системы, принадлежащие руководству организации, и должны затем контролировать нестандартный и необычный доступ к таким системам.

4. Внутренние угрозы. Хотя многие из большинства наиболее известных уязвимостей были вызваны вредоносным воздействием, направленным извне, внутренние злоумышленники продолжают оставаться источником потери данных. Решения UBA-аналитики должны быть способны обнаруживать ситуации, когда лицо, относящееся или не относящееся к категории привилегированных пользователей, совершает рискованные операции, выходящие за рамки обычного профиля поведения.

5. Блокировка учетных записей. Блокировка учетных записей требует неожиданно больших затрат времени на администрирование. Обычно в крупных организациях используют персонал, работающий в круглосуточном режиме в течение всего года, только для анализа блокировок пользовательских учетных записей и выявления, была ли блокировка вызвана простой ошибкой в наборе пароля или является признаком имевшей место попытки перехвата аккаунта. Для определения степени риска администраторы безопасности информации нередко по 4-5 часов анализируют данные по учетной записи, связанные с той или иной конкретной блокировкой. Решения UBA-аналитики должны быть способны автоматизировать этот процесс и выносить вердикт о риске для учетной записи. При эффективном использовании решения UBA-аналитики могут снизить трудозатраты для персонала, работающего в круглосуточном режиме в течение года.

6. Создание учетных записей. Злоумышленники часто проникают в сеть через вредоносное ПО, установленное на одной системе, а затем используют этот доступ для создания новых учетных записей, не связанных с использовавшимся для входа аккаунтом. Даже если администраторы безопасности информации перезапишут образ скомпрометированной машины, злоумышленники уже будут находиться в системе, используя новые учетные записи. Решения UBA-аналитики должны анализировать поведение при создании учетных записей и быстро идентифицировать необычные операции, например неавторизованное создание новой учетной записи или нарушение установленных процедур.

7. Совместное использование учетных записей. Многие организации сталкиваются с проблемами, вызванными использованием одних и тех же учетных записей несколькими пользователями, что является нарушением политики и представляет опасность для безопасности. Например, группа администраторов может совместно использовать аккаунт в базе данных для резервного копирования и восстановления, настройки производительности и др. Решения UBA-аналитики должны идентифицировать такие случаи с указанием пользователей, использующих аккаунт в режиме совместного доступа, а также должны помогать в рационализации данной задачи.

8. Классификация сервисных учетных записей. Как правило, администраторы безопасности информации обладают ограниченными возможностями для контроля за сервисными учетными записями, которые обладают высоким уровнем полномочий, что делает такие аккаунты мишенью для атакующих. Решения UBA-аналитики должны автоматически идентифицировать сервисные аккаунты и помечать их соответствующим образом при обнаружении необычного поведения в пределах этих аккаунтов.

9. Неактивные учетные записи. Во многих организациях действуют политики в отношении неактивных учетных записей. Если пользователь не входил в свой аккаунт в течение 30 дней то возможно, что этот пользователь покинул организацию и нормальный процесс деактивации пользователя не был доведен до конца. Решения UBA-аналитики должны обеспечивать возможность непрерывного наблюдения за сотрудниками, не использовавшими свои учетные записи в течение установленного периода.

10. Расследование оповещения системы безопасности. Решения для UBA-аналитики сосуществуют в рамках организации со многими решениями информационной безопасности, на-

пример с программами защиты от вредоносного ПО, DLP, средствами управления сетевым доступом и другими. Эти программы выдают оповещения, которые должны быть рассмотрены для устранения имеющихся проблем. Однако эти оповещения могут содержать ограниченную информацию (например, IP-адрес, но без фамилии владельца и названия отдела), что усложняет процесс расследования. Решения UBA-аналитики должны обеспечивать полный анализ контекста для пользователя и ресурсов, связанных с оповещением от сторонних систем безопасности. Администраторы безопасности информации АС должны иметь возможность доступа к идентификаторам оповещений, формируемых сторонни программами в UBA, для просмотра всего информационного контекста соответствующего оповещения.

11. Расследования учетных записей. Как правило, организации запрашивают ежемесячные отчеты с историей действий пользователя. Извлечение и интеграция информации в пределах всех систем, устройств, сетей, IP-адресов и учетных записей представляет трудоемкую ручную работу. Решения UBA-аналитики должны предоставлять автоматический просмотр временной диаграммы всех сетевой активности, включая доступ пользователя через VPN и изменения учетной записи в пределах одной системы, и выделять необычное поведение вместе с оценками риска таких операций. При правильном выполнении это может экономить несколько дней работы для каждого расследования.

12. Обзор нарушений безопасности. После обнаружения инцидента, связанного с утечкой данных или взломом сети, работа внутренних и внешних команд расследования инцидентов может занять недели и месяцы кропотливого труда для стыковки временных диаграмм всех нарушений безопасности и определения действий участников, точного времени и перечня систем, затронутых инцидентом. Решения UBA-аналитики должны обеспечивать возможность автоматической обработки больших объемов информации для построения временных диаграмм, отражающих всех пользователей и системы, затронутые инцидентом.

Заключение

Таким образом, мероприятия по анализу работы пользователей и обнаружению аномалий являются мощным инструментом раннего выявления угроз. Ведь перед атакой злоумышленник осуществляет разведку, изучение инфраструктуры изнутри. Служба организации безопасности информации сможет своевременно обнаружить проникновение и принять меры. Также важно наличие в UBA-системах функций автоматического реагирования (от отсылки сообщений администраторам до временной блокировки подозрительной учетной записи), которое уменьшает время, в течение которого нарушитель может принять дополнительные меры по сокрытию своей деятельности или похищению данных.

Литература

1. Варлатая С.К., Калужин Е.А., Гросман А.К. Методика обнаружения нелегального доступа к корпоративной сети предприятия // Вестник УрФО, 2016. №1(19), С. 10-14.

2. Гатчина Ю.А., Сухостат В.В. Теория информационной безопасности и методология защиты информации. Спб.: СпбГУ ИТМО, 2010.

3. Казарин О.В. Безопасность программного обеспечения компьютерных систем. М.: МГУЛ, 2003.

4. Смирнов Д.В., Стецевич В.С. Уязвимость информационных систем, использующих технологию виртуализации // Известия Института инженерной физики, 2015. №3(37). С. 49-53.

5. Mathew S., Petropoulos M., Hung Q. Ngo, Shambhu Upadhyaya. A Data-Centric Approach to Insider Attack Detection in Database Systems // Recent Advances in Intrusion Detection: 13th International Symposium, RAID, 2010. P. 382-401.

УДК 37.012

ИНФОРМАЦИОННАЯ КОМПОНЕНТА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ НАУКОГРАДОВ

INFORMATION COMPONENT OF THE MONITORING SYSTEM FOR SCIENCE-INDUSTRIAL COMPLEX OF SCIENCE CITIES

Сергей Вячеславович Беспалов
кандидат физико-математических наук, доцент
начальник отдела
Департамент ресурсного обеспечения
НИЯО «МИФИ»
Адрес: 115409, Москва, Каширское ш., д. 31
Тел.: +7(495)788-56-99

Василий Олегович Мелихов
кандидат технических наук, доцент
заместитель начальника отдела
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 117997, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7(499)706-81-25

Аннотация
Рассматривается информационная компонента системы мониторинга научно-производственных комплексов наукоградов. Анализируются возможности программных средств информационно-аналитической компоненты и предлагаемого инструментария.

Ключевые слова: наукограды, стратегия, мониторинг, показатели, информационная аналитическая система, формы представления.

Summary
The article discusses the information component of the monitoring system of scientific-industrial complexes of science cities. The potential of software tools of information and analytical component and proposed toolkit are analyzed.

Keywords: science city, strategy, monitoring, indicators, information analytical systems, the form of presentation.

Неотъемлемым элементом отечественной экономики были и остаются муниципальные территориальные образования с высокой плотностью размещения наукоемких производств, именуемые с 1991 года наукоградами. Наукограды, изначально построенные таким образом, чтобы за счет тесного взаимодействия научных и производственных подразделений, наличия высококвалифицированных кадров и уникального оборудования обеспечивать сокращение возможных временных издержек при внедрении результатов научных исследований в конкретных разработках

Важность роли наукоградов подтверждается наличием государственного участия в развитии их научно-производственных комплексов (НПК), определяемого Федеральным законом «О статусе наукограда Российской Федерации» № 70-ФЗ от 7 апреля 1999 года, устанавливающего, в том числе, условия сохранения и приобретения территориальными образованиями соответствующего.

С 2017 года деятельность наукоградов Российской Федерации регулируется положениями Федерального закона № 100 – ФЗ от 20 апреля 2015 года, в котором основное внимание государства направлено на придание инновационного характера развитию НПК муниципальных образований. Для наукоградов существенно расширяются границы использования государственных субсидий, применение которых теперь становится возможным не только для соци-

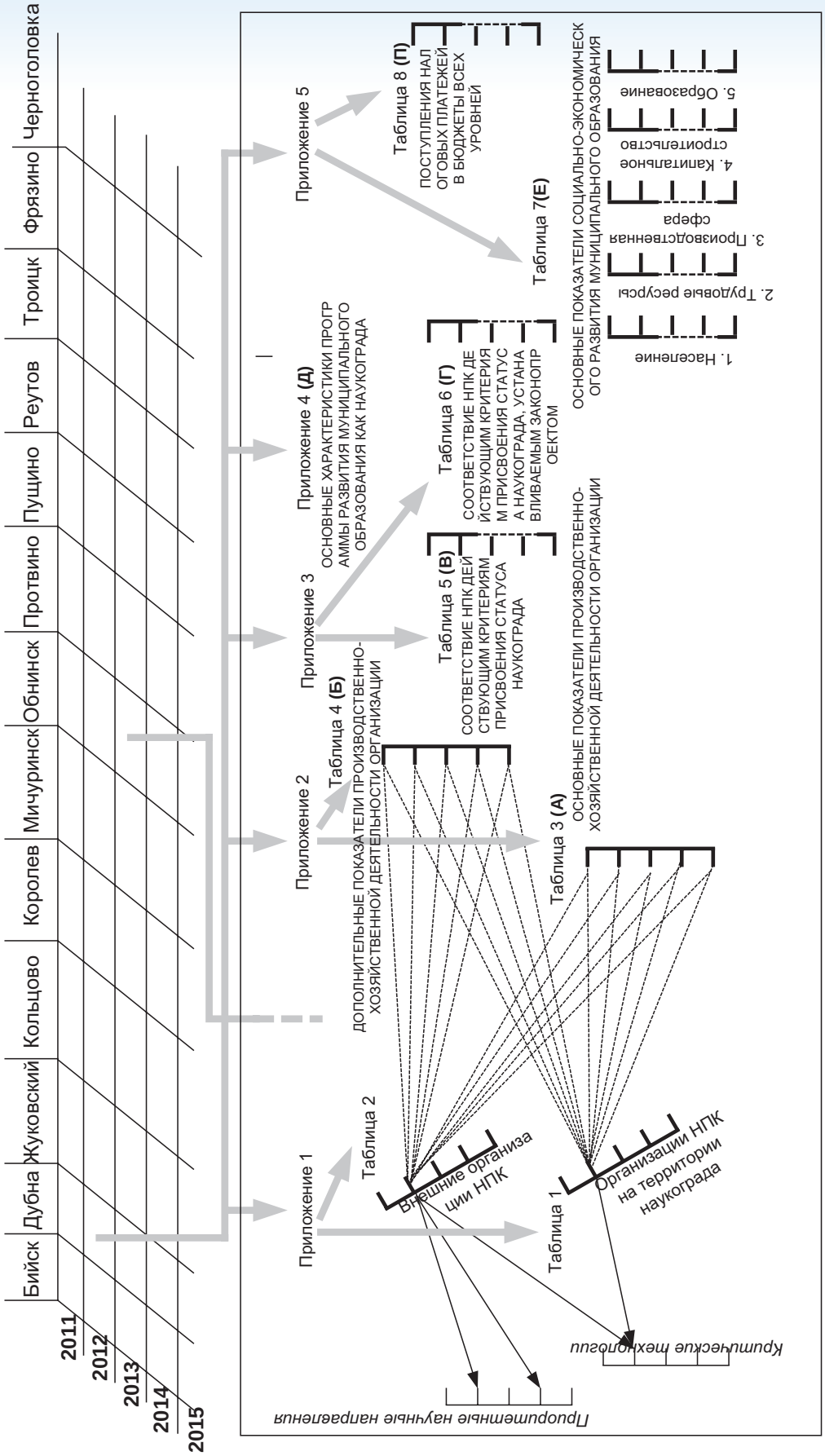


Рис. 1. Структура данных мониторинга наукоградов в период 2011-2015 гг.

альных нужд, но также для выполнения любых проектов инновационного развития.

Последнее, с учетом принципиальной несопоставимости возможностей наукоградов, порождает необходимость в разработке и использовании при проведении государственного управления определенных методических и организационно-технических подходов и средств. Так, например, применение мер государственного управления развитием наукоградов может в существенной степени оказаться неэффективным при отсутствии достаточно полной информационной, аналитической и организационной поддержки процессов мониторинга деятельности наукоградов.

Основу информационной компоненты мониторинга составили данные, собранные в период 2010-2015 гг., которые для каждого наукограда охватывали информацию по всем предприятиям НПК, а также содержали сведения характеризующие развитие наукограда в целом. Информационным носителем системы была избрана среда СУБД MS Access 2010.

Наполнение информационной компоненты составили данные по предприятиям НПК наукоградов, включающие информацию о:

- перечне организаций, образующих НПК (*рисунок 1*, *таблицы 1* и *2*);
- тематике исполняемых работ (в соответствии Приоритетными направлениями и Критическими технологиями);
- статистические данные о показателях производственно-хозяйственной деятельности (основных показателях согласно действующему №70-ФЗ (*рисунок 1*, *таблица 3* (*А*), и дополнительных – *рисунок 1*, *таблица 4*(*Б*) согласно №100-ФЗ), а также для каждого наукограда по годам данные;
- о соответствии НПК критериям (согласно положениям №70-ФЗ *рисунок 1*, *таблица 5*(*В*) и положениям №100-ФЗ *рисунок 1*, *таблица 6*(*Г*));
- текстовые сведения по основным характеристикам программы инновационного развития наукограда (*рисунок 1*, приложение 4(*Д*));
- по показателям социально-экономического развития в части состава населения, трудовых ресурсов, производственной сферы, капитального строительства и образования (*рисунок 1*, *таблица 7*(*Е*));
- по поступлениям налоговых платежей в бюджеты всех уровней (*рисунок 1*, *таблица 8*(*П*)).

Главная форма системы информационно-аналитического сопровождения мониторинга, представленная на *рисунке 2*, автоматически загружается при открытии системы.

В содержательном плане множество элементов управления главной формы образует три функциональные зоны:

- выбора параметров информационного анализа (стрелки 1-4 вверху-слева);
- отображения информации (стрелки 13-14 внизу-слева);
- управления (стрелки 5-12 и 15-17 справа).

В свою очередь, в зоне управления:

- кнопки 5-6 обеспечивают управление информационно-справочной поддержкой;
- кнопки 7-8 аналитической поддержкой;
- кнопки 9-12 обеспечивают системные функ-

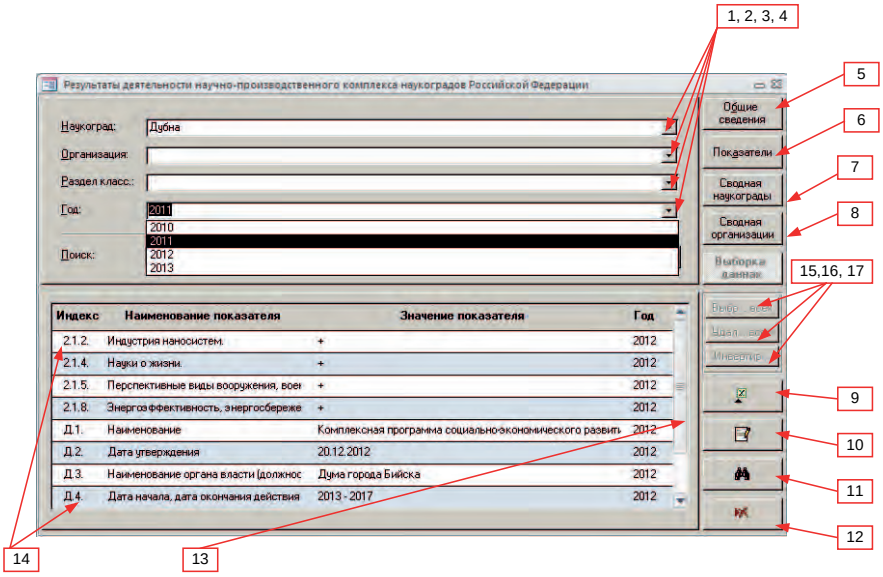


Рис. 2. Главная форма системы информационно-аналитического сопровождения мониторинга

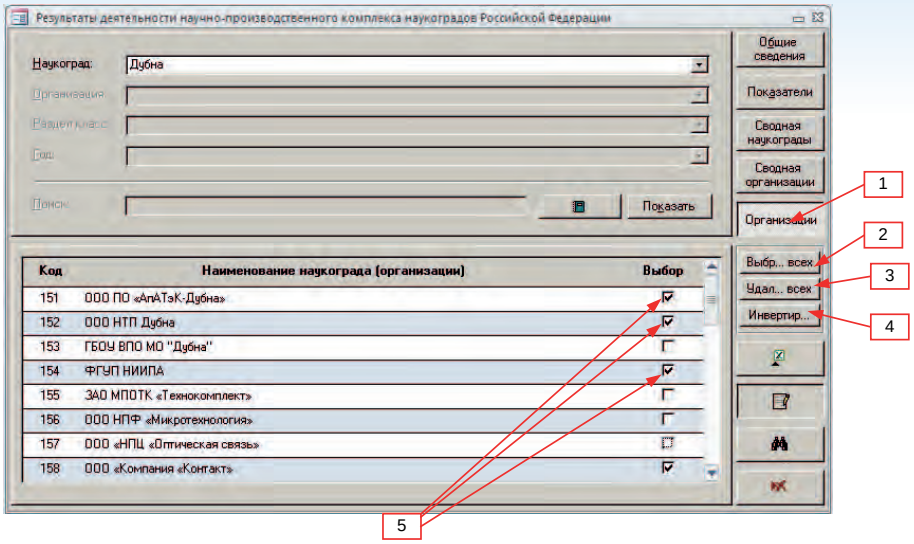


Рис. 3. Выбор организаций

ции редактирования и вывода на печать, либо в xls-файл;

- кнопки 15-17 формирования уточненного выбора параметров.

Процесс выбора объекта мониторинга осуществляется с помощью выпадающих списков (стрелки 1-4) главной формы для таких полей как: Наукоград, Организация (последние названия организаций НПК), Раздел, класс для организации наукограда (предлагающей данные таблиц А и Б на *рисунке 1*), либо *таблиц В, Г, Д, Е* и *П* – для наукограда в целом), а также исследуемый год.

Предоставляемая информация по наукограду делится на два раздела, выбор которых устанавливается нажатием кнопки «Общие сведения» (стрелка 5), открывающей текстовые данные из Программы развития наукограда, либо кнопки «Показатели» (стрелка 6), демонстрирующей числовые данные для выбранного объекта мониторинга.

При этом ряд дополнительных возможностей для уточнения объекта исследования предоставляют расположенные на главной форме внизу справа кнопки, (*рисунок 3*, стрелки 1-4).

Кнопка-переключатель «Выборка данных» главной формы должны быть переведена в положение «Организации» за одно нажатие (стрелка 1) или «Показатели» за два нажатия , в которых соответственно вызываются классификаторы по организациям и перечню основных и дополнительных характеристик и показателей производственно-хозяйственной деятельности организаций, входящих в НПК.

С помощью активирующихся при этом ниже расположенных кнопок «Выбрать всех» (стрелка 2), «Удалить всех» (стрелка 3) и «Инвертировать» (стрелка 4) можно в ручном режиме (проставляя или снимая «галочки» в поле «Выбор» (стрелка 5)) уточнять списки входящих в наукоград организаций, а также перечень необходимых показателей и параметров, которые будут выводиться в полях главной формы.

При изменении объекта мониторинга обновление данных выполняется кнопкой «Показать» (*рисунок 4*). Там же при нажатии на кнопку «Отчет» (стрелка 2 на *рисунке 4*) главной формы может быть автоматически сформирован и отформатирован для печати информационный отчет (стрелка 3 на *рисунке 4*) с данными, соответствующими рассматриваемому объекту.

Кнопки «Сводная наукограды» (*рисунок 2*, стрелка 7) и «Сводная организации» (*рисунок 2*, стрелка 8) в правой части Главной формы служат для отображения сводной информации по любой выбираемой совокупности параметров и для любой выбираемой совокупности наукоградов (или совокупности предприятий наукограда).

Например, в представленной на *рисунке 5* Сводной формы наукоградов для выбора:

- наукоградов и года служат списочные поля (стрелка 1 и 2), а также (стрелка 8) для выбора годов по отдельным наукоградам выборочно;
- раздела показателей (стрелка 3) и самих показателей (стрелка 4), значения которых отобразятся в столбцах (стрелка 6) в перекрестной таблице.

Нажимая на кнопку «Диаграмма» (стрелка 10) внизу сводных форм можно вызвать соответствующие графические отображения тех же данных (*рисунок 6*) и отображать необходимую ин-

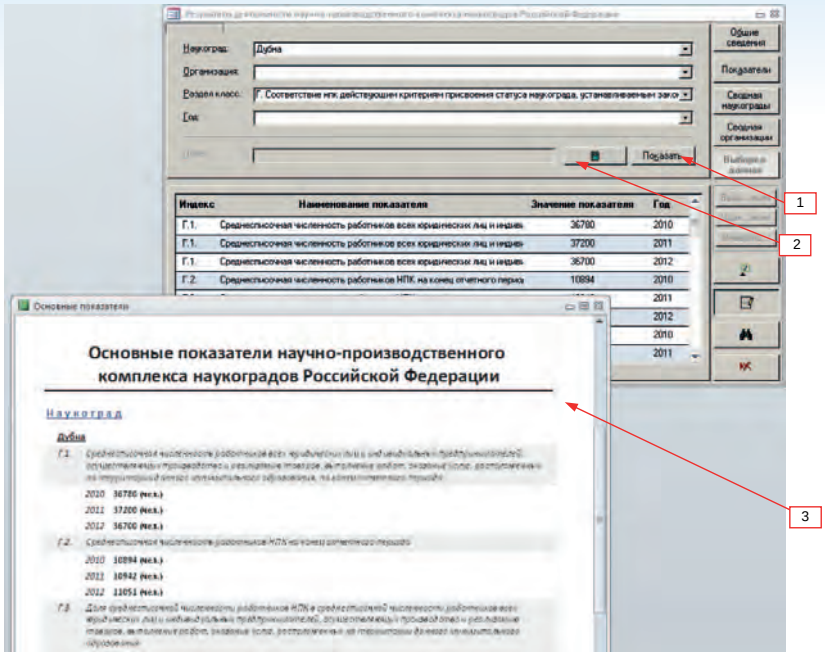


Рис. 4. Вывод печатного отчета

формацию в виде графиков и диаграмм также по любой совокупности параметров, выбираемых в полях сводных диаграмм.

Полнота и эргономичность представленного инструментария определили его применение в составе штатных информационно-справочных и аналитических средств у специалистов Минобрнауки, деятельность которых связана с развитием системы российских наукоградов.

Кроме того, удачность избранной в информационной системе организации данных открыли целый ряд возможностей прикладного использования накопленной информации для целей исследования особенностей развития наукогра-

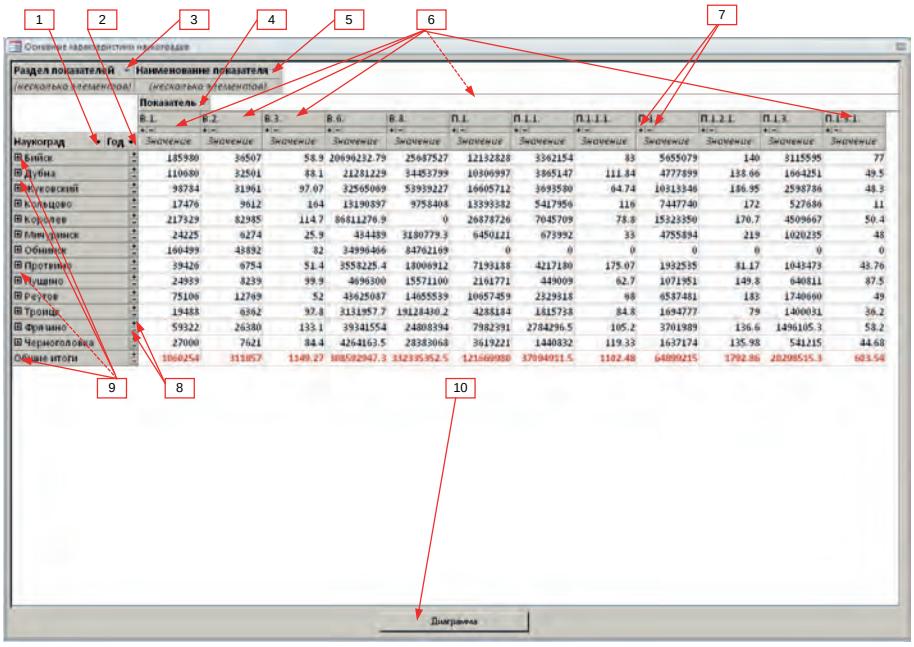


Рис. 5. Форма «Сводная наукограды»

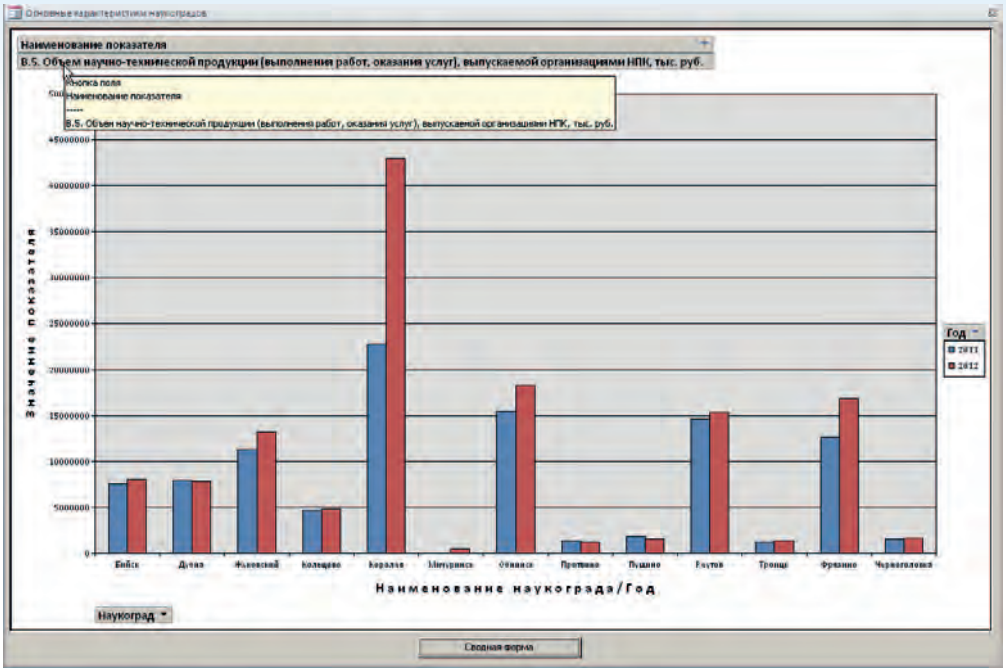


Рис. 6. Графическая форма «Сводная наукограды»

дов. Так, с использованием информационных массивов системы была получена многоуровневая оценка инновационного потенциала наукоградов [1], а также предложен алгоритм кластеризации наукоградов на основе корреляции показателей, характеризующих их инновационную деятельность [2].

Построенная классификация инновационных возможностей наукоградов позволила выделить (для каждого из наукоградов) содержательные направления развития их НПК, реально сложившееся упорядочение которых можно рассматривать как стратегию (политику) данного наукограда по реализации программы инновационного развития [3]. В частности, такая трактовка избранного наукоградом способа реализации развития указывает на возможность построения оптимального государственного управления развитием инновационных возможностей НПК, при котором обеспечивается наибольшая консолидированная эффективность от использования государственных средств. Решение этой задачипозволяет увязать результаты деятельности наукоградов с распределением бюджетных средств, направляемых на реализацию их программ инновационного развития.

Литература

1. Емелин Н.М., Мелихов В.О. Многоуровневая оценка инновационного потенциала наукоградов // Известия Института инженерной физики, 2015. №4 (38). С. 102-106.

2. Мелихов В.О. Алгоритм кластеризации наукоградов на основе корреляции показателей, характеризующих их инновационную деятельность // Двойные технологии, 2016. №2(75). С. 66-69

3. Емелин Н.М., Мелихов В.О. Инновационная деятельность наукоградов как фактор обеспечения стабильности экономики муниципального образования // Стратегическая стабильность, 2016. №1(74). С. 42-49.

УДК 514.84

ГЕОМЕТРИЯ И СИММЕТРИИ В КВАНТОВАНИИ АТОМАРНЫХ СИСТЕМ

GEOMETRY AND SYMMETRY IN THE QUANTIZATION OF ATOMIC SYSTEMS

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

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

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

Юлия Сергеевна Холина
инженер-программист 3 категории
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Аннотация

В рамках теории групп симметрий пространства и дискретных симметрий многоатомных систем типа *NV*-центров в алмазных кристаллах мы обсуждаем вопросы квантования электронных спектров, которые могли бы быть связаны как с явными, так и со скрытыми симметриями, которые, соответственно, могли бы привести к объяснению уже известных энергетических уровней и к возможному открытию новых.

Ключевые слова: группы симметрий, энергетический уровень, *NV*-центр, алмазный кристалл.

Summary

Within the theory groups of symmetries of space and discrete symmetries polyatomic system type **NV**-centers in diamond crystals, we discuss questions of quantization of the electron spectra that could be associated with known and hidden symmetries, which, accordingly, could lead to the explanation of already known energy levels and possible opening the new ones..

Keywords: groups of symmetries, energy level, *NV*-center, diamond crystal..

Введение

Хорошо известно, что успех квантовой физики в достижении точных решений нерелятивистских и релятивистских уравнений [1, 2] для атома водорода способствовал созданию полного описания многоэлектронных орбитальных структур всех атомов таблицы Менделеева. Более того, именно теоретически найденные особенности структур электронных орбиталей в атомах позволили открыть образование ковалентных связей, которые соединяют атомы в молекулы. В настоящий момент практические приложения квантовой физики микромира стремительно развиваются в конденсированных средах, квантовой оптике, биологии, информации и т.д. [3]. В научной литературе продолжает публиковаться множество как теоретических, так и экспериментальных работ, посвященных глубокому изучению спектрального анализа различных атомарных наносистем с примесями атомов *Ge, P, Si* в кристаллах алмаза, в частности азот – вакансии в алмазе или *NV* – центров [4]. В процессах квантовой информации особые надежды на практический успех связывают с индивидуальными центрами отрицательно заряженных азот – вакансий в алмазе NV^- (NV^0), которые можно использовать как кубиты. Электронные структуры NV^- и NV^0 можно обнаружить с помощью методов либо обычного электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), либо оптически детектируемого магнитного резонанса (ОДМР).

Ожидаемый прогресс практических применений во всех нанотехнологических разработках атомарных центров требует более глубокого теоретического обоснования, которое могло бы дать точное предсказание всего энергетического спектра многоатомной системы с учетом решения проблемы вырождения уровней. Точное решение волнового уравнения Шредингера для системы двух тел – электрон в Кулоновском поле протона – открыло существование скрытых симметрий [7, 8], которые с одной стороны объяснили известное из самих решений вырождение энергетических уровней, а с другой – поставили вопрос об их геометрическом происхождении. Более того, проблема вырождения уровней в атоме водорода тесно переплелась с Кеплеровской проблемой движения планет в Солнечной системе, которая была решена при помощи дополнительного квантового инварианта движения Лапласа – Рунге – Ленца. Опыт квантования атома водорода показал, как важно получить точное решение таких атомарных систем как центр в алмазе.

При описании отдельных атомов и атомарных систем современная квантовая физика совместно с основными квантовыми положениями включает в себя ряд основополагающих связующих концепций о геометрии и симметриях:

1. *Геометрия пространства – времени* включает в себя описание симметрии и соответствующие законы сохранения, инвариантности и движения объектов. В нерелятивистском случае в качестве группы симметрии трехмерного пространства R^3 выбирается ортогональная группа $SO(3)$ с дважды накрывающей унитарной группой $SU(2)$. В релятивизме группа Лоренца $SO(3,1)$ расширяется до дважды накрывающей ее специальной группы $SL(2,C)$ с учетом группы R_4 до трансляций $D = (1+3)$ – мерного псевдоэвклидова пространства $R^{(3,1)}$ и до группы Пуанкаре:

$$P = SO(1,3) \ltimes R_4, \qquad (1)$$

где $R_4 = \{x_\mu = x'_\mu + a_\mu,\ \mu = 0, 1, 2, 3\}$.

2. При *групповом подходе* рассматриваемые объекты и динамика их процессов связаны с представлениями групп пространственной симметрии [9]. В этом случае рассматриваются как непрерывные группы Ли (алгебры Ли), так и конечные дискретные группы. Конечные группы могут представлять собой подгруппы непрерывных групп Ли. Так, спин частицы определяется группой Ли $SU(2) \approx S^3$, дважды накрывающей пространственную группу $SO(3) \approx RP^3$, где $S^3 \subset R^4$ – трехмерная сфера, вложенная в четырехмерное Евклидово пространство R^4 и трехмерное проективное пространство $RP^3 \approx S^3/C_2$, где $C_2 = Z_2 = \{I, -I\}$(циклическая группа второго порядка).

Волновая динамика в квантовой механике заключается в том, что частицы описываются волновой функцией $\psi(x,y,z,t)$, подчиняющейся уравнению Шредингера:

$$i\hbar \frac{d\Psi(x,y,z,t)}{dt} = \hat{H}\Psi(x,y,z,t), \qquad (2)$$

где $\hbar$ – постоянная Планка;
i – мнимая единица.

Для оператора энергии Гамильтона $\hat{H}$ имеем следующее уравнение квантовой механики:

$$\hat{H}\,\psi(x,y,z) = E\,\psi(x,y,z). \qquad (3)$$

Групповые операции оставляют гамильтониан инвариантным:

$$\forall g,\ \ g\epsilon G, \rightarrow g\hat{H}g^{-1} = \hat{H}, \qquad (4)$$

то есть выполняется условие коммутативности: $G\hat{H} = \hat{H}G$. Гамильтониан сохраняет форму в разных системах координат, которые отличаются групповыми преобразованиями $g_i \in G$. Состояния $|\psi>$ с определенной энергией E: $\hat{H}|\psi> = E|\psi>$, преобразованные под действием груп-

пы $|\psi>\to g_i|\psi>$, являются также собственными состояниями гамильтониана с той же энергией E:

$$\hat{H}\,(g_i|\,\psi>) = g_i\,(\hat{H}|\,\psi>) = g_i\,(E|\,\psi>) = E\,(g_i|\,\psi>). \quad (5)$$

Пространственные и динамические симметрии водородоподобных атомов и вырождение квантовых состояний

Прежде чем описывать пути квантования многоэлектронных атомов и сложных многоатомных молекул, необходимо кратко выделить роль явных пространственных и скрытых динамических симметрий в квантовании системы двух тел [7, 8].

Для достижения более точного понимания особенностей квантования спектра атома водорода, были привлечены компактные и некомпактные группы симметрий. Квантование в рамках компактных групп последовательно происходило от группы $SO(2)$ (формула 7) $L_z = m\hbar$ до группы $SO(3)$ (формула 8), а затем до $SO(4) \cong SO(3) \times SO(3)$ [7], учитывающей скрытую симметрию Лапласа – Рунге – Ленца [8], которая объясняла дополнительное вырождение энергетических уровней по орбитальному моменту $l = (n-1),\ldots,1,0$

$$(L_z = m\hbar),\ m = -l,\ l-1,\ldots l-1,\ +l\ , \quad (6)$$

$$L^2 = \hbar^2 l(l+1), \quad (7)$$

где L_z – оператор проекции орбитального момента;

L – оператор полного орбитального момента.

Открытие спина и дважды накрывающих групп

$$SU(2) \xrightarrow{2} SO(3), SU(2) \times SU(2) \xrightarrow{2} SO(4),$$

$$SU(2) \xrightarrow{2} SO(3), SU(2) \times SU(2) \xrightarrow{2} SO(4), SL(2,C) \xrightarrow{2} SO(2,4) \quad (8)$$

позволило полностью изучить спектральный анализ атома водорода. В решениях нерелятивистского трехмерного уравнения Шредингера были прослежены групповые свойства динамической симметрии атома водорода

$$SO(3) \times SO(3) \cong SO(4) \xleftarrow{2} S^3 \times S^3. \quad (9)$$

которые исходили из явной $SO(3)$ – симметрии гамильтониана:

$$\hat{H} = \hat{T} + \hat{V} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0}\frac{1}{r}\ , \quad (10)$$

где r – расстояние от электрона до ядра.

Как известно, решения уравнения Шредингера в силу очевидной инвариантности относительно группы $SO(3)$ нужно искать в сферических координатах $(x,y,z) \to (r,\theta,\varphi)$, в которых лапласиан

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\right)^2 + \frac{L^2}{r^2} \quad (11)$$

явно выражается через оператор Казимира – L^2 группы $SO(3)$:

$$[L^2,H] = [L^2,L_i] = 0. \quad (12)$$

Волновые функции $\psi_{nlm}(x,y,z,t)$, как $SO(3)$ решения уравнения Шредингера, представляются в атоме водорода в виде трехмерных сферических орбиталей [1, 2]

$$\psi_{nlm}(r,\theta,\varphi) = R_{nl}(r)Y_{lm}(\theta,\varphi), \quad (13)$$

$$Y_{lm}(\theta,\varphi) = P_{lm}(\theta)\exp(im\varphi). \quad (14)$$

образующих $(2l+1)$ – мерные ($m = -l,\ -l+1,\ldots,l-1,\ l$) неприводимые представления группы вращения, которые соответствуют преобразованию поворота вокруг оси z. Начиная с инвариантности уравнения Шредингера относительно группы вращений $SO(3)$, мы получаем энергетический спектр электронов

$$E_n = -\frac{1}{2n^2}mc^2\alpha^2,\ \text{где}\ n = 1,2,3\ldots,\text{а}\ l = 0,1,\ldots,(n-1). \quad (15)$$

с известным набором состояний, имеющих одну и ту же энергию

$$\sum_{l=0}^{l=n-1}(2l+1) = n^2. \quad (16)$$

Полученное n^2 кратное вырождение энергетических уровней больше, чем $(2l+1)$ – кратное вырождение, требуемое группой $SO(3)$ симметрии гамильтониана. С учетом спина это вырождение равно $2n^2$. Полученное из решений уравнения Шредингера n^2 – кратное вырождение связано со скрытой динамической $SO(4)$ – симметрией гамильтониана [7, 8]. Скрытая симметрия берет начало от специфической формы кулоновского потенциала взаимодействия $(V \sim \frac{1}{r})$, и характеризуется инвариантным вектором Лапласа – Рунге – Ленца [8]:

$$\hat{\vec{M}} = \frac{\hat{\vec{p}}\times\hat{\vec{L}} - \hat{\vec{L}}\times\hat{\vec{p}}}{2m} - K\frac{\vec{r}}{r}, \quad (17)$$

где $\hat{\vec{p}}$ – обобщенный импульс-вектор частицы;

K – $const$ (параметр, описывающий величину центральной силы).

Эрмитов оператор $\hat{\vec{M}}$ является интегралом движения, так как он коммутирует с кулоновским гамильтонианом: $[\hat{H},\hat{\vec{M}}] = 0$. На основе того, что операторы $\vec{L},\vec{M}$ удовлетворяют соотношениям

$$\vec{L}\cdot\vec{M} = 0, \quad (18)$$

$$\vec{M}\cdot\vec{M} = \frac{2H}{m}\left(\vec{L}\cdot\vec{L} + \hbar^2\right) + K^2, \quad (19)$$

можно сказать, что операторы

$$J_i^{\pm} = \frac{1}{2}(\hat{L}_i \pm \hat{M}_i'), \quad (20)$$

$$\hat{L}_i \text{ и } \hat{M}_i' = \left(-\frac{m}{2H}\right)^{\frac{1}{2}} \hat{M}_i \text{ ,где i = 1,2,3...} \quad (21)$$

удовлетворяют известным коммутационным соотношениям группы $SO(4)$, являющейся прямой суммой двух алгебр $so(3) \oplus so(3)$:

$$[J_i^+, J_j^+] = i\hbar\varepsilon_{ijk}J_k^+,$$
$$[J_i^-, J_j^-] = i\hbar\varepsilon_{ijk}J_k^-,$$
$$[J_i^+, J_j^-] = [J_i^-, J_j^+] = 0. \quad (22)$$

Таким образом, операторы $\vec{J}_\pm$ имеют коммутационные соотношения угловых моментов, они взаимно коммутируют, и их квадраты имеют одинаковые спектры. Так как $\vec{J}^+ \cdot \vec{J}^+ = \vec{J}^- \cdot \vec{J}^- = j_-(j_- + 1)$ и $j_+ = j_- = j$, то набор состояний будет $(2j+1)^2$ – вырожденным, где $2j+1=n=n_r+l+1$, а $j = \frac{n-1}{2}$ [8]:

$$(j, j) = \left(\frac{n-1}{2}, \frac{n-1}{2}\right) = (0) \oplus (1) \oplus (2) \cdots \oplus (n-1). \quad (23)$$

Квантово-механическая проблема электронного спектра атома водорода ассоциируется с классическим аналогом кеплеровской проблемы движения вращения планеты в гравитационном поле Солнца с потенциалом Кеплеровская проблема была решена более 300 лет назад с помощью рассмотрения в орбитальных вращениях планеты специфического инварианта движения, известного как вектор Лапласа – Рунге – Ленца. Этот инвариантный вектор возникает и в решениях уравнения Шредингера для волновой функции электрона в кулоновском поле протона. Уравнение Шредингера для атома водорода строилось на основе явной сферической симметрии $SO(3)$ группы вращений в трехмерном 3D пространстве.

Движение электрона в R^3 в кулоновском поле эквивалентно свободному движению на трехмерной сфере $S^3 \subset R^4$. Рассмотрим расширение пространства:

$$R^3 \to R^4{:}(x, y, z) \to (w, x, y, z), (p_x, p_y, p_z) \to$$
$$\to (p_w, p_x, p_y, p_z) \quad (24)$$

и построим стереографическую проекцию S^3 на R^3 [7]:

$$\vec{u} = \frac{(p_0^2 - \vec{p}\cdot\vec{p})}{(p_0^2 + \vec{p}\cdot\vec{p})}\vec{w}_0 + \frac{2p_0\,\vec{p}}{(p_0^2 + \vec{p}\cdot\vec{p})},$$
$$p_0 = \sqrt{-2E/m}. \quad (25)$$

Единичный вектор $\vec{w}_0 \in S^3 \subset R^4$ ортогонален всем векторам в R^3. Координатное движение электрона в кулоновском поле протона в импульсном пространстве соответствует круговому движению

$$p_x^2 + p_y^2 = p_z^2 = const \to SO(3). \quad (26)$$

Эта стереографическая проекция трансформирует циркулярное движение в R^3 в циркулярное движение на трехмерной сфере $S^3 \subset R^4$. Расширение компактной группы $SO(4)$ до динамической неинвариантной группы $SO(4,2)$ позволило рассматривать ее в качестве генерирующей весь спектр атома водорода. Это было обусловлено тем, что любая волновая функция Ψ_{nlm} может быть получена из другой Ψ_{nlm} с помощью генераторов $SO(4,2)$, которые не коммутируют с $\hat{H}$. В результате, получен бесконечный набор связанных состояний, порождаемый бесконечномерным неприводимым представлением группы $SO(4,2)$ [10].

$$\Psi_{nlm}: n\,\hat{I}\,N^+, \quad (27)$$

где $l = 0,1,2\ldots,(n-1)$, а $m = -l,-l+1\ldots,l-1,l$.

С одной стороны, благодаря виду волновых функций, решения уравнения Шредингера дают информацию о свойствах электронов в атомах, что приводит к осознанию структуры всех возможных атомов, которые являются атрибутами современной таблицы Менделеева.

С другой стороны, для водородоподобных атомов групповой метод теории представлений дает достаточно полный анализ всего бесконечного набора энергетических уровней с учетом их вырождения. Таким образом, групповая структура неприводимых представлений не только совпадает со спектром энергетических уровней, но и позволяет понять их вырождение, которое связано как с явными, так и со скрытыми симметриями рассмотренных квантовых систем.

От квантования атома водорода до теории атомарных и молекулярных орбиталей

При квантовании атома водорода используются только непрерывные группы и алгебры Ли, но в случае квантования многочастичных систем огромную роль играют дискретные конечные симметрии рассматриваемых систем относительно групп перестановок S_n или их подгрупп [11, 12]. Более того, в стандартных случаях рассматриваемые конечные группы являются подгруппами непрерывных групп Ли. Например, группы вращения и отражения, являющиеся подгруппами группы $SO(3)$, могут быть представлены в виде циклических групп, диэдральных групп, а также групп тетраэдра, куба и икосаэдра. Очевидно, что при изучении электронных кулоновских и колебательных осцилляторных спектров и их особенностей в много-

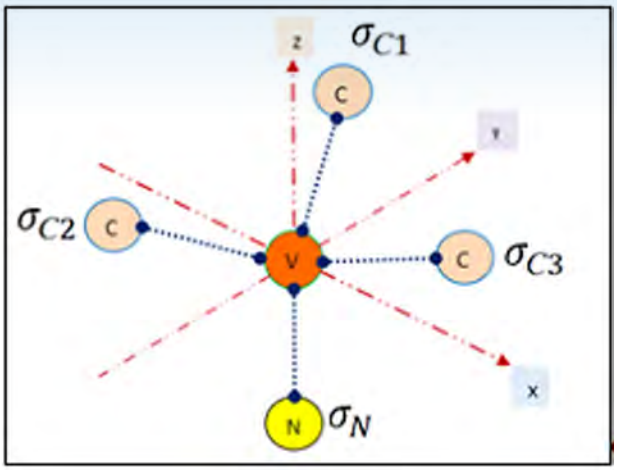


Рис. 1. *NV*–центр в кристаллической решетке алмаза в элементарной кубической ячейке

атомных центрах, расположенных в кристаллической решетке, важным моментом является определение возможных скрытых симметрий. В таких случаях как *NV*–центры, дискретные симметрии кристаллической структуры алмаза, которые составляют группу тетраэдра $T_d \cong S_4$, с учетом примеси и дефектов последовательно нарушаются до группы C_{3v} [11, 12].

В кубической ячейке решетки алмаза восемь атомов расположены в вершинах, шесть атомов – на ее гранях и четыре атома – в ее объеме. В алмазе каждый атом углерода расположен в центре тетраэдра, четыре вершины которого образованы соседними атомами углерода (*рисунок 1*).

Из рисунка видно, что атомы образуют тетраэдное расположение ковалентных связей. Атом углерода в вершине заменяется атомом азота, а место одного атома углерода (фиолетовый цвет) становится вакансией. Постоянная алмазной решетки равняется 0,356 нм.

NV–центры представляют собой сложную атомарную систему, составленную из трех атомов углерода ^{12}C, одного атома азота $^{14(15)}N$, вакансии (*C*) и пяти или шести электронов [4, 13-15]. Как видно из *рисунка 1*, к вакансии обращены четыре разорванные атомные связи $\{\sigma_{C1}, \sigma_{C2}, \sigma_{C3}, \sigma_N\}$.

Кристаллическая структура алмаза, в которой каждый атом углерода ковалентно связан с четырьмя соседними атомами углерода, образует равновесное состояние системы с минимумом потенциальной энергии. При выводе этой системы из положения равновесия, в кристалле возникают сложные упругие колебания. При квантомеханическом описании вводится квант колебания – фонон – квазичастица со спином равным нулю и импульсом

$$p = \hbar k = \frac{\hbar\omega}{v}, \qquad (28)$$

где k – волновое число;
ω – частота;
v – скорость колебательной волны.

Экспериментальные значения $E = \hbar\omega_{max}$ составляют 30÷70 мэВ. С точки зрения квантовой (и классической) механики, нормальные колебания решетки ведут себя как набор независимых гармонических осцилляторов. При квантовании *NV*–центра надо учитывать все виды движения и энергий, которые будут давать определенные вклады в полный гамильтониан, а именно: электронное, колебательное и вращательное движения. Для такой системы гамильтониан должен учитывать все взаимодействия между ядрами атомов, между ядрами и электронами, а также электронными облаками.

Для решения таких сложных систем используется адиабатическое приближение, в котором все виды движения решетки, атомов и электронных облаков не зависят друг от друга. Тогда полную волновую функцию гамильтониана можно описать в виде произведения волновых функций, связанных с указанными видами движений [11, 12]:

$$\Psi_{(total)} = \Psi_e \times \Psi_{vibr} \times \Psi_{rot}, \qquad (29)$$

где Ψ_e – функция, описывающая электронный спектр;
Ψ_{vibr} – функция, описывающая колебательный спектр;
Ψ_{rot} – функция, описывающая вращательный спектр.

При таком приближении полная энергия является простой суммой трех видов энергий (кулоновские взаимодействия, колебательные и вращательные движения)

$$E_{total} = E_e + E_{vibr} + E_{rot}. \qquad (30)$$

Для *NV*–центров полный электронный гамильтониан может быть представлен в виде [12]:

$$H_{NV} = \sum_{i=1}^{6}\left\{-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + V_{Ne}\left(\vec{r}_i, \vec{R}_0\right) + V_{SO}\left(\vec{r}_i, \vec{s}_i\, \vec{R}_0\right)\right\} + \sum_{I>j}\{V_{ee}\left(\vec{r}_i, \vec{r}_i\right) + V_{ss}\left(\vec{s}_i, \vec{s}_i,\right)\}, \qquad (31)$$

где V_{Ne} – потенциалы кулоновского поля *NV*–центра;
$\vec{R}_0$ – радиус-вектор *NV*–центра;
V_{so} – спин-орбитальное взаимодействие;
V_{ee} – кулоновское взаимодействие электронов;
V_{ss} – спин-спиновое взаимодействие электронов.

В соответствии с тремя системами уровней энергии – электронной, колебательной и вращательной, энергетический спектр системы со-

стоит из совокупности электронных, колебательных и вращательных спектров. В действительности, это разделение условное, так как часто электронные переходы могут сопровождаться изменением как колебательной, так и вращательной энергии системы. Электронные молекулярные спектры возникают при изменении электронной энергии молекул, если при этом не меняются колебательные и вращательные энергии. Они наблюдаются в поглощении (спектры поглощения), в испускании (спектры люминесценции) и в рассеянии (Рамановское рассеяние).

Современные реалистичные подходы расчетов электронных и вибронных спектров *NV*–центров в алмазе основаны на теории функциональной плотности [15, 16].

Нарушение дискретных симметрий многоатомных центров и расщепление энергетических уровней

Основные идеи динамики квантовых систем заключаются в механизмах снятия вырождения с помощью различной природы возмущений [1, 2, 11, 12]:

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{H}'. \qquad (32)$$

Симметрия $\hat{H}'$ < симметрии $\hat{H}_0$ →→→. Представления $\hat{H}'$ содержатся в неприводимых представлениях $\hat{H}_0$. Представление $\hat{H}'$ является приводимым представлением $\hat{H}_0$. Разлагая представления $\hat{H}'$, мы снимаем вырождение.

R – приводимое представление размерности dim = *n* и соответственно его характер χ_R может быть разложены через прямую сумму неприводимых представлений R_α и их характеров χ_r, где

$$R = \sum_\alpha n_\alpha R_\alpha,$$
$$\chi_R = \sum_\alpha n_\alpha \chi^\alpha. \qquad (33)$$

Коэффициент n_α имеет следующий вид [11]:

$$n_\alpha = \frac{1}{|g|} \sum_{C-\text{все классы } R_\alpha} N_C \chi_R \; [\chi^\alpha(C)]^*, \qquad (34)$$

где *C* – классы сопряжения;
N_C – размерность.

Важным аргументом использования групп перехода в атомных системах является то, что размерность неприводимого представления совпадает со степенью вырождения энергетического уровня. В качестве примера рассмотрим группу всех перестановок треугольника C_{3v} ($S_3 \approx D_3$), которая используется при квантовании *NV*–центра в алмазе. Эта группа некоммутативна и генерируется двумя групповыми элементами: вращением *q* и отражением *r* со следующими соотношениями: $\{q^3 = r^2 = e, qr = rq^2\}$. Помимо этого, эта группа имеет три класса сопряжения:

$$C(I) = \{R(I)\},$$
$$C_{2q} = \{R(q), R(q^2)\}, \qquad (35)$$
$$C_{3r} = \{R(r), R(rq, R(rq^2)\}$$

и три неприводимых представления. Два неприводимых представления одномерны, одно из них тождественное – A_1, а второе альтернативное – A_2. Третье же неприводимое представление – *E* является двумерным, причем, появление двумерного неприводимого представления является следствием некоммутативности этой группы. Таблица характеров для неприводимых представлений группы C_{3v} имеет следующий вид:

$$\left(\begin{array}{cc|ccc} \Gamma_i & C_i & I & C_{2q} & C_{3r} \\ A_1 & \chi_1 & 1 & 1 & 1 \\ A_2 & \chi_2 & 1 & 1 & -1 \\ E & \chi_3 & 2 & -1 & 0 \end{array}\right). \qquad (36)$$

Для трехатомной углеродной подсистемы в алмазе, образующей геометрически правильный треугольник с группой симметрии C_{3v}, электронным орбиталям можно сопоставить приводимое представление Γ_s, которое в соответствии с характером $\chi_s = \{\chi(I), \chi(C_{2q}), \chi(C_{3r})\} = \{3,0,1\}$ разлагается на неприводимые представления $\Gamma_s = \Gamma_1 + \Gamma_3 = A_1 + E$. В кубической кристаллической структуре чистого алмаза естественной группой является тетраэдральная группа T_d, имеющая порядок $|T_d| = 24$, структура которой содержит пять классов сопряжения C_i. Соответственно, для такой группы можно построить пять неприводимых представлений R_i, представленных в таблице характеров тетраэдной группы T_d:

$$\left(\begin{array}{cc|ccccc} \Gamma_i & C_i & C(I) & 3C_3 & 8C_2 & 6\sigma_d & 6S_4 \\ A_1 & \chi_1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ A_2 & \chi_2 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ E & \chi_3 & 2 & 2 & -1 & 0 & 0 \\ T_1 & \chi_4 & 3 & -1 & 0 & -1 & 1 \\ T_2 & \chi_5 & 3 & -1 & 0 & 1 & -1 \end{array}\right). \qquad (37)$$

Наряду с конечными группами, в кристаллах можно использовать группу сферической симметрии *SO*(3), преобразование которой состоит из собственных вращений *R* и вращений с инверсией R_i. Характер $2l+1$ – мерного представления $D_l(\Phi)$ группы *SO*(3) равняется [11]:

$$\chi_l = \sum_{m=-l}^{m=l} [D_l(\varphi)]_{mm} = \sum_{m=-l}^{m=l} \exp(-i\, m\varphi) = \frac{\sin\left((2l+1)\frac{\varphi}{2}\right)}{\sin\frac{\Phi}{2}}. \qquad (38)$$

Понижение сферической симметрии до симметрии кристалла приводит к расщеплению вырожденных уровней энергии. Если поле сферической симметрии понизить до поля симметрии тетраэдра T_d, то матрицы $D_l(R) = D_l$, $R \in T_d$ осуществляют представление группы T_d размерности $(2l+1)$. Максимальная размерность неприводимых представлений группы T_d равна трем, поэтому для $(2l+1)>3$ представление будет приводимым. Таблица характеров тетраэдной группы T_d позволяет определить вид расщепления уровней энергии с разными орбитальными моментами в поле симметрии кристалла:

$$D_l = \sum_\alpha n_\alpha \Gamma_\alpha, \ \chi_l(R) = \sum_\alpha n_\alpha \chi_\alpha(R),$$

$$n_\alpha = \frac{1}{24}\sum_\alpha \chi_l(R)\chi_\alpha^*(R), \qquad (39)$$

где $D_0 = A_1$ – невырожденный энергетический уровень s – состояния ($l = 0$ так и остается невырожденным уровнем представления группы); $D_1=T_1$ – трехкратно вырожденный p – уровень ($l = 0$ не расщепляется в поле симметрии).

Примеси в алмазном кристалле могут локально нарушать симметрию T_d до симметрий более низкого порядка. Так, в NV–центре примесь азота нарушает тетраэдральную симметрию T_d до тригональной симметрии C_{3v}. Проследим на групповом языке механизм этого нарушения. Для четырехатомной атомарной системы, в которой соответствующие волновые функции связаны с вершинами тетраэдра, можно определить приводимое представление Γ_s с характерами $\chi_s = \{4,1,0,2,0\}$. В данном случае приводимое представление в соответствии с разложением характеров имеет вид $\chi s = \chi 1+\chi 5$. Оно расщепляется на два неприводимых представления группы T_d: $\Gamma_s = A_1+T_2$. В случае NV – центра, можно рассмотреть модель, основанную на sp^3 разорванных σ-связях, из которых три $\{\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3\}$ центрированы на каждом из трех атомов углерода вокруг вакансии и четвертая связь $\{\sigma_N\}$ центрирована с атомом азота [4, 13-16]. Учитывая, что четырехразорванные связи $\{\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3,\sigma_N\}$ преобразуются друг в друга относительно группы преобразований C_{3v}, можно построить в одноэлектронном базисе следующие орбитали, которые соответствуют двум одномерным неприводимым представлениям:

$$a_1' = \alpha a_{1(N)} + \beta a_{1(C)},$$

$$a_1 = \beta a_{1(N)} + \alpha a_{1(C)},$$

$$a_{1(N)} = \chi_4,$$

$$a_{1(C)} = \frac{\chi_1+\chi_2+\chi_3}{\sqrt{3}}, \qquad (40)$$

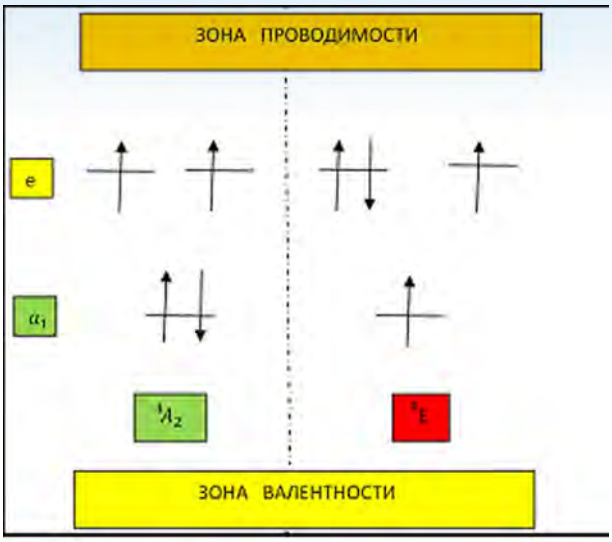


Рис. 2. Орбитали четырех электронов из шести электронов NV–центра в основном и возбужденных состояниях

и одному двумерному представлению группы C_{3v}:

$$e_x = \frac{2\chi_1-\chi_2-\chi_3}{\sqrt{6}},$$

$$e_y = \frac{\chi_2-\chi_3}{2}, \qquad (41)$$

Точечная группа симметрии C_{3v} кубической решетки алмаза вместе с числом электронов определяет свойства дефекта. В отрицательном заряженном состоянии дефект NV содержит шесть электронов, которые, в соответствии с моделированием вакансии, распределены в (a'_1), (a_1), (e_x, e_y) – электронных конфигурациях. Соответствующие уровни показаны на *рисунке 2*.

Орбиталь (a'_1) всегда заселена двумя электронами, в этом случае следует рассматривать переходы электронов между одномерной (a_1) и двумерной (e_x, e_y) – орбиталями, то есть, нас интересует как основное состояние $a_1^2e^2(^3A_2)$, так и возбужденные энергетические уровни $a_1e^3(^3E)$, в которых один из электронов с уровня (a_1) попадает на уровни e_x или e_y. Расположение энергетических уровней можно вычислить либо на основе простой модели кулоновского взаимодействия ядра и электрона [15, 16], либо в более фундаментальной теории функциональной зарядовой плотности [17]. В случае NV^- и NV^0 – центров каждый атом углерода выделяет в электронные орбитали по одному электрону, а атом азота – два электрона. Дополнительный шестой электрон в случае NV^- попадает из окружающего пространства от другого атома азота. Основное состояние для электронного облака NV^- центра состоит из четырех электронов, полностью зани-

мающих симметричные уровни (a'_1) и (a_1), оставшиеся же два электрона попадают в (e_x, e_y) – орбитали. Шесть электронов заполняют уровни в соответствии с увеличением энергии по правилу Хунда [11], учитывая принцип Паули для частиц со полуцелым спином $s = \frac{1}{2}$. Таким образом, полная волновая функция a – электронного состояния $\Gamma_\psi = \varphi_\alpha \otimes D_{1/2}$, включающая пространственные φ_α и спиновые $D_{1/2}$ степени свободы, должна быть полностью антисимметричной [1, 2]. В случае NV–центра, спиновое состояние двух электронов может быть разложено в соответствии с правилами прямого перемножения неприводимых представлений. В результате, основная электронная конфигурация $a^2_1e^2$ представляется в виде следующих орбиталей [4, 13-16]:

$^1A_1$ орбиталь соответствует синглетному состоянию $|S = 0>$

$$A_1 = |e_x\bar{e}_x > + | e_y\bar{e}_y >, \qquad (31)$$

орбиталь ^1E: – спин a – нуль $|S=0>$дублет

$$E_y = |\bar{e}_x e_y > +|e_x\bar{e}_y >, \qquad (32)$$

$^3A_2$ – триплетные состояния $|S = 1>$орбиталь

$$A_2 = \{ \sigma_{1,1} = |e_x e_y >, \sigma_{1,0} =$$

$$= |e_x\bar{e}_y > +|\bar{e}_x e_y >, \sigma_{1,1} = |\bar{e}_x\bar{e}_y >\}, \qquad (33)$$

с магнитными проекциями $m_s = +1,0,-1$, соответственно.

Первое возбужденное состояние a_1e^3 имеет следующие орбитали: ^{3}E соответствует спиновым состояниям $|S = 1>$

$$E_x = \{ \rho_{1,1} = |a_1e_x >, \rho_{1,0} = |a_1\bar{e}_x > +|\bar{a}_1e_x >, \sigma_{1,1} = |\bar{a}_1\bar{e}_x >\},$$

$$E_y = \{ \tau_{1,1} = |a_1e_y >, \tau_{1,0} = |a_1\bar{e}_y > +|\bar{a}_1e_y >, \tau_{1,1} = |\bar{a}_1\bar{e}_y >\} \qquad (34)$$

с магнитными проекциями $m_s = +1,0,-1$, соответственно.

^1E соответствует спиновым состояниям $|S = 0>$

$$E_x = \{ \rho_{0,0} = |a_1\bar{e}_x > -|\bar{a}_1e_x >\}, E_y =$$

$$= \{ \tau_{0,0} = |a_1\bar{e}_y > -|\bar{a}_1e_y > \}. \qquad (35)$$

Спиновые волновые функции для отдельных состояний электронов отмечены соответственно как $\{e_{x,y}, a_1\}$ или $\{\bar{e}_{x,y}, \bar{a}_1\}$ в зависимости от проекции квантованных спинов $m_s = \frac{1}{2}$ или $m_s = -\frac{1}{2}$ на ось, совпадающей с аксиальной z = симметрии NV–центра. Признаками NV^- и NV^0 являются их оптические нуль фононные линии (НФЛ) при 1,945 эВ (637 нм)

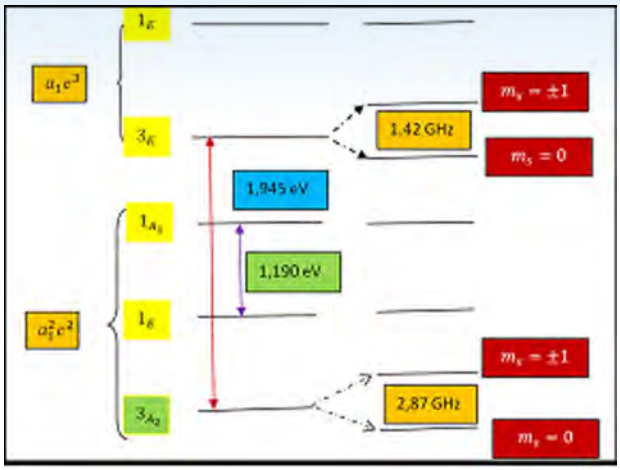


Рис. 3. Электронные орбитали основного $a_1^2e^2$ и возбужденных a_1e^3 состояний

и 2,156 эВ (575 нм) [4-6,13 - 16], соответственно, и связанные с ними колебательные полосы, которые простираются от их НФЛ к энергии поглощения и излучения (см. *рисунок 5*). Дополнительный инфракрасный НФЛ на 1,190 эВ (1042 нм), который является единственным наблюдаемым при оптическом освещении (с энергией 1,945 эВ), был связан с NV–центром. Острые линии НФЛ и четко определенные колебательные полосы NV^0 и NV^- показывают, что переходы происходят между дискретными уровнями дефектов, которые находятся внутри алмаза так, что зоны континуума валентности или зоны проводимости не участвуют в оптических переходах.

Схематически изображенные известные электронные структуры NV^- и NV^0 на *рисунке 3* могут быть обнаружены с помощью методов обычного ЭПР или ОДМР.

Из-за спин – спинового взаимодействия основное состояние спиновых подуровней расще-

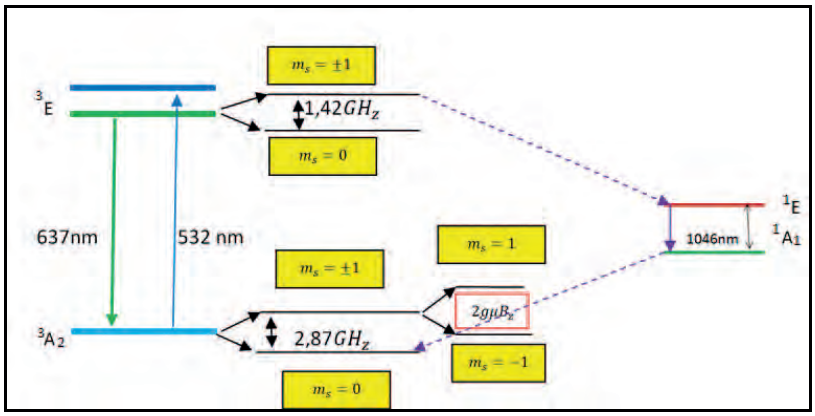


Рис. 4. Энергетические уровни NV–центра (радиационные переходы указаны сплошными стрелками, а нерадиационные переходы – пунктирными стрелками)

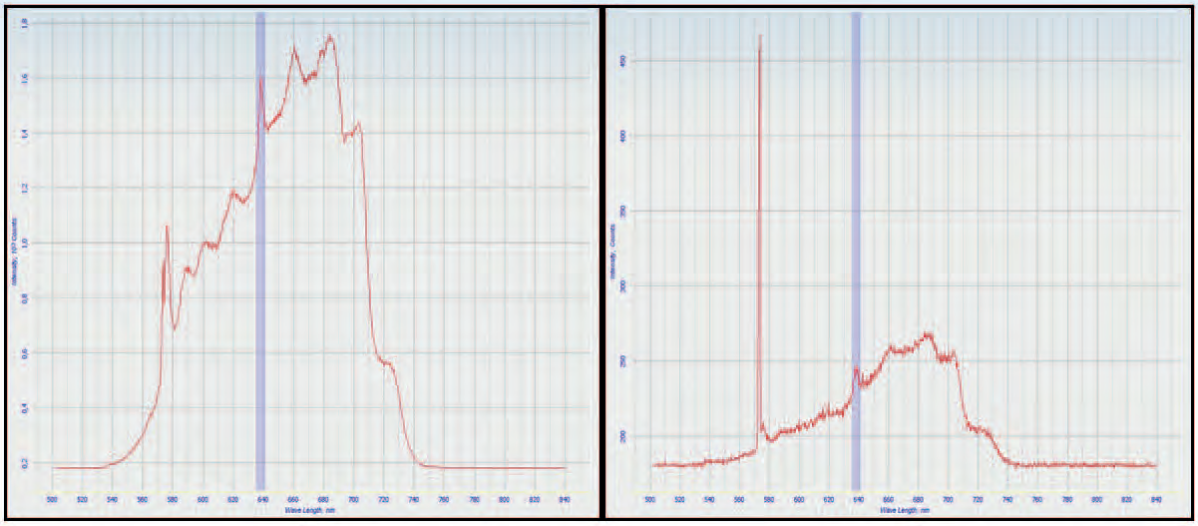


Рис. 5. Спектр флуоресценции в алмазе с большим числом *NV*–центров. Наблюдаются узкий высокий пик Рамана и маленькие пики нуль-фононных линий для NV^0 575 нм (2,156 эВ) и NV^- – 637 нм (1,945 эВ) центров

пляется на 2,87 ГГц. Каждая орбитальная ветвь является спин триплетом, чьи подуровни оптически связаны с правилами отбора сохранения спина, поэтому при резонансном возбуждении дефект *NV* должен выявить шесть уровней. Тем не менее, только два подуровня E, E_x и E_y, в сочетании с A_1 в основном состоянии, включают переходы, четыре других подуровня состояния ^3E могут распадаться в метастабильном состоянии из-за спин – орбитального взаимодействия с последующим распадом $^1E - A_1$ подуровней основного состояния. Этот механизм лежит в основе оптического процесса инициализации спина.

Заключение

Трудности квантования многоатомных систем в рамках уравнений Шредингера прежде всего связаны с математической проблемой многих тел. Расчеты энергетических спектров таких систем помимо динамики движения электронных облаков должны учитывать колебательные и вращательные движения атомов остовов системы с учетом упругих свойств кристаллической решетки. При решении кулоновских задач $V \sim \frac{1}{r}$ в определении электронных спектров в *NV*–центрах мы сталкиваемся с проблемой определения колебательных спектров в кристаллах, для решения которой приходится рассматривать уравнения Шредингера с осцилляторными потенциалами $V \sim k\, r^2$. Энергетические спектры в этом случае также дискретны, но дают уже линейную зависимость от номера уровня [11, 12] $E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)\hbar\omega$, где $n = 0,1,2,3\ldots$ Фактически, в результате взаимовлияния этих двух динамических процессов мы получаем общую картину энергетических спектров *NV*–центров. Так, в оптических измерениях *NV*–центров в алмазе мы наблюдаем спектральную картину с узкими и интенсивными НФЛ на фоне широкой колебательной полосы [6] (см. *рисунок 5*).

Для более детального спектрального анализа электронной и вибронной структур алмазных *NV*–центров очень важно проследить пути нарушения группы тетраэдральной симметрии T_d в кубической структуре алмаза до тригональной симметрии C_{3v} с подробным анализом всех возможных энергетических уровней и выяснить роль уже известных пространственных как явных $SO(3)$, так и скрытых $SO(4)$-групп симметрий, которые проявились при квантовании атома водорода и квантового осциллятора.

Необходимо отметить, что с одной стороны стремление к точным квантовым вычислениям в рамках обобщенных уравнений Шредингера для многоатомных центров позволяет понять геометрию и динамику движения электронных орбиталей, но с другой стороны – методы теории групп и их представлений на основе непрерывных симметрий пространства – времени и дискретных симметрий многоатомных центров дополняют спектральный анализ исследуемого электронного облака и, как следствие, связывают квантовые свойства атомных объектов микромира с классической динамикой движения планет и звезд. Более того, сравнительный анализ этих двух подходов открывает путь к поиску скрытых симметрий многоатомных центров, которые смогли бы принести новый прогресс в на-

шем осознании многомерного расширения геометрии и, соответственно, пространственно-временной симметрии видимой Вселенной.

Литература

1. Дирак П. Принципы квантовой механики. М.: Наука, 1979.

2. Brandt S., Dahmen H.D. The pictures book of quantummechanics.// Springer – Verlag, New – York, 2001.

3. Ladd T.D., Jelezko F., Laflamme R., Nakamura Y., Monroe C., O'Brien J.L. Quantum computers. // Review, Nature 464, 45 – 53, 2010.

4. 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.

5. Gruber A., Dräbenstedt A., Tietz C., Fleury L., Wrachtrup J. Scanning confocal optical microscopy and magnetic resonance on single defect centers. // Science 276 (5321), 2012 – 2014.

6. Васильев А.Н., Смуров С.В., Семёнов П.А., Кукин Н.С., Бухтияров А.А., Капусткин Д.О. Экспериментальное наблюдение оптически детектируемого магнитного резонанса в кристалле алмаза с примесями азота // Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40). С. 40-44.

7. Fock V.A. Zur Theorie des Wassenstoffatoms // Zs.Phys., 98, 145, 1935.

8. Bargmann V. Zur Theorie des Wassersoffatoms. // Zs.Phys., 99, 576, 1936.

9. Смуров С.В., Волков Г.Г., Глотова И.О., Кукин Н.С., Мурадова А.Р. Математические вопросы расширения основ квантовых теорий // Известия Института инженерной физики, 2015. №4(38). С. 71-84.

10. Barut A.O., Kleinert H., Rumer Yu.B., Fet A.I. SO(4,2) // 1971.

11. Полонский Н.А. Точечные группы симметрии // БГУ Минск, 2003.

12. Dresselhaus M.S. Applications of Group Theory to the Physics of Solids. // 8.510J&6.734J: Spring, 2002.

13. Lenef A., Rand S.C. Electronic structure of the N – *V* center in diamond: Theory and Experiment // Phys. Rev. B 53, 13441, 1996.

14. Manson N.B., Harrison J.P., Sellars M.J. Nitrogen – vacancy center in diamond: Model of the electronic structure and associated dynamics. // Phys.rev. B74, 104303, 2006.

15. Gali A., Fyta M., Kahiras E. Ab initio supercell calculations on nitrogen – vacancy center in diamond: electronic structure and hyperfine tensors. // Phys.Rev. B77, 155206, 2008.

16. Maze J.R. Properties of nitrogen – vacancy centers in diamond: the group properties // New J. of Physics v.13025025, 2011.

17. Koch and Holthausen, A Chemist's Guide to Density Functional Theory, Wiley – VCH, Weinheim, 2000.

УДК 699.852.7:534.22.2

О РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПОРАЖАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ОТ ОБЫЧНЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ

ESTIMATED VALUATION MODELS DAMAGING EFFECTS OF AIR SHOCK WAVES FROM CONVENTIONAL WEAPONS

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, м-н Новогорск
Тел.: +7(498)699-05-59

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, м-н Новогорск
Тел.: +7(498)699-07-28
E-mail: anatoll_rubakov@mail.ru

Руслан Раилевич Вильданов
оператор лаборатории Информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС
Академия гражданской защиты МЧС России.
Адрес: 141435, Московская обл., г.о. Химки, м-н Новогорск
Тел.: +7(985)279-06-61
E-mail: hardorzz@gmail.com

Аннотация
В статье приведено обоснование выбора расчетной модели оценки избыточного давления и времени прихода воздушной ударной волны. Приведена сравнительная оценка отечественных и зарубежных подходов. Теоретически обоснованы формулы по определению избыточного давления на фронте воздушной ударной волны, основой которых является закон сохранения ее механической энергии с учетом происходящих при этом диссипативных потерь энергии. Обоснован выбор расчетной модели.
Ключевые слова: воздушная ударная волна, взрывчатые вещества, поражающие факторы взрыва, обычные средства поражения.

Summary
The article presents the rationale for the choice of the computational model estimating the overpressure and the time of arrival of the air blast. The comparative evaluation of domestic and foreign approaches. Theoretically substantiated formula to determine the overpressure at the front of the air blast, which are based on the law of conservation of mechanical energy it considering dissipative energy losses occur. Selection of the calculation model is justified.
Keywords: air blast, explosives, blast threat, conventional weapons.

В современных условиях обеспечение безопасности потенциально опасных объектов осложняется тем, что предприятия, использующие опасные технологии, вещества и материалы могут рассматриваться как цели наиболее эффективного применения противником средств поражения. В то же время высокий уровень устойчивости и защищенности объектов экономики и территорий является сдерживающим фактором в вооруженных конфликтах. Устойчи-

вая к внешним воздействиям экономика – есть составная часть обороноспособности государства, выражающаяся в устойчивом функционировании предприятий, учреждений, организаций и систем жизнеобеспечения в условиях военного времени [1].

Территориальные органы управления РСЧС и ГО, организации, объекты экономики должны быть готовы к функционированию при воздействии различных дестабилизирующих факторов. Состояние составных частей объекта при воздействии на них обычных средств поражения определяется, в том числе, исходя из возможных параметров воздействующей на них воздушной ударной волны [2].

К поражающим факторам обычных средств поражения относятся: ударное воздействие боеприпаса на преграду за счет его кинетической энергии; взрывная волна, возникающая в защитной толще сооружения или в грунте (волна сжатия); воздушная ударная волна взрыва и токсическое действие продуктов взрыва [2, 3, 4].

Существует большая группа веществ, называемые взрывчатыми веществами, которые при определенных условиях способны взрываться благодаря протекающей при этом в них химической и ядерной реакции. Она сопровождается распространением по взрывчатому веществу детонационной волны, преобразующей его в так называемые продукты детонации. И уже последние, расширяясь под воздействием высокого в них внутреннего давления, генерируют воздушную ударную волну – основной поражающий фактор взрыва [5].

Прогнозирование состояния составных частей объекта, учитывающего одновременное комбинированное воздействие по составным частям объекта обычных средств поражения, должно быть направлено на определение места возможного повреждения, вероятности появления и оценки потенциальной возможности негативных последствий с максимально возможным учетом специфики технологического оборудования, условий протекания взрывоопасных процессов, пространственной организации помещений и оперативного выполнения адекватных прогнозов развития ситуаций [4].

Разработка адекватных прогнозных моделей должна основываться на учете физических принципов протекания взрывных процессов. Главное внимание в настоящий момент уделяется критическому анализу существующих эмпирических формул по определению параметров воздушной ударной волны, как основного поражающего фактора взрывов, с целью замены этих формул их теоретическими аналогами с привлечением как отечественного, так и иностранного материала [5].

Актуальность исследуемого вопроса обусловлена тем, что возникает необходимость пересмотра существующей методической базы в области гражданской обороны. В настоящее время проводится соответствующая работа в этом направлении, так например, за последние годы принят ряд новых документов по вопросам обеспечения гражданской обороны. Одним из наиболее важных документов является ГОСТР 42.2.01-2014 «Гражданская оборона. Оценка состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности в условиях воздействия поражающих факторов обычных средств поражения. Методы расчета». Данный документ предназначен оценки состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности как при угрозе воздействия, так и после воздействия поражающих факторов обычных средств поражения [2].

Однако, в нормативном документе [2] не рассматриваются вопросы оценки значений поражающих факторов, а производятся расчеты возможных последствий, точность и достоверность которых в свою очередь зависит от учета физических свойств протекания негативных воздействий.

Как показывает анализ, проведенный в работе [6], существующие методические рекомендации не позволяют получить достоверные прогнозные значения поражающих факторов обычных средств поражения, не учитывают физические особенности, особенности размещения оборудования, тип пространства и условия распространения волны (наличие волн отражения) и т.д.

В соответствии с этим возникла необходимость в выборе и обосновании математической модели определения избыточного давления на фронте волны. В общем случае давление на фронте воздушной ударной волны, распространяющейся в открытой атмосфере, затухает по мере удаления от центра взрыва по причине увеличивающейся при этом поверхности фронта волны и диссипации ее механической энергии [5]. Если пренебречь последним фактором, то согласно закону сохранения энергии применительно к полусферной форме заряда ВВ и фронта волны можно записать:

$$2\pi \overline{R}_0^2 P_0 = 2\pi \overline{R}_\phi^2 P_\phi, \text{ откуда } P_\phi = \frac{P_0 \overline{R}_0^2}{\overline{R}_\phi^2}, \qquad (1)$$

где $\overline{R}_0$ – приведенный радиус подрываемого заряда ВВ;

P_0 – полное давление на фронте воздушной ударной волны вблизи поверхности заряда (начальное давление);

$P_ф$ – полное давление на фронте воздушной ударной волны на приведенном расстоянии $\overline{R}_ф$ от центра взрыва.

Учитывая, что $\Delta P_ф = \left(P_ф - P_a\right)$, запишем согласно (1)

$$\left(\overline{\Delta P}+1\right) = \frac{\overline{P}_0\ \overline{R}_0^2}{\overline{R}_ф^2} = \frac{\overline{A}_0^2}{\overline{R}_ф^2}\ ;\ \text{откуда}\ \overline{\Delta P_ф} = \left[\frac{\overline{A}_0^2}{\overline{R}_ф^2} - 1\right];\quad (2)$$

$$\overline{P}_0 = \frac{P_0}{P_a}\ ;\ \overline{\Delta P}_ф = \frac{\Delta P_ф}{P_a}\ ,$$

где P_a – нормальное атмосферное давление.

Теперь для того, чтобы учесть влияние на величину $\Delta P_ф$ диссипации энергии взрыва, введем в формулу (2) так называемый коэффициент диссипации, записав

$$\overline{\Delta P_ф} = \left[d\left(\overline{R}_ф\right)\frac{\overline{A}_0^2}{\overline{R}_ф^2} - 1\right],$$

$$\text{откуда}\ \overline{A}_0\sqrt{d\left(\overline{R}_ф\right)} = \overline{R}_ф\ \sqrt{\left(1+\overline{\Delta P}_ф\right)}\ ,\quad (3)$$

где $d\left(\overline{R}_ф\right)$ – коэффициент диссипации.

Эмпирическая формула М.А. Садовского [7] в области, где она достоверна, учитывает для практики с достаточной точностью влияние на величину $\Delta P_ф$ оба отмеченных выше фактора. Поэтому для определения коэффициента диссипации в формуле (3) воспользуемся соотношением М.А. Садовского, согласно которому

$$\overline{\Delta P}_ф = \left(\frac{1{,}03}{\overline{R}_ф} + \frac{4{,}16}{\overline{R}_ф^2} + \frac{13{,}60}{\overline{R}_ф^3}\right);\ \text{при}\ P_0 \approx 103\ кПА\ .\quad (4)$$

В *таблице 1* приведены результаты расчетов по формулам (4) и (3), а на *рисунке 1* по этим данным построен график в координатах

$$\overline{A}_0\sqrt{d\left(\overline{R}_ф\right)} - \overline{R}_ф\ .$$

Поскольку диссипация энергии взрыва уменьшается по мере удаления от центра взрыва, т.е. по мере уменьшения давления $\Delta P_ф$ коэффициент диссипации при этом должен увеличиваться, что и наблюдается на графике *рисунка 1* в области $\overline{R}_ф > 4\,м/кг^{1/3}$.

Увеличение же параметра $\overline{A}_0\sqrt{d\left(\overline{R}_ф\right)}$ в ближней зоне взрыва противоречит физической сущности коэффициента диссипации и, следовательно, это обусловлено только погрешностью эмпирической формулы, которую, как уже отмечалось, нельзя экстраполировать ни в ближнюю, ни в дальнюю зоны взрыва. Вместе с тем, как следует из графика на *рис. 1* в диапазоне $\left(4 < \overline{R}_ф < 15\right)$ наблюдается линейная зависимость параметра от приведенного расстояния $\overline{R}_ф$. Статистическое обобщение методом наименьших квадратов результатов расчета по формулам (3) и (4), приведенных в *таблице 1*, позволило аппроксимировать параметр $\overline{A}_0\sqrt{d\left(\overline{R}_ф\right)}$ на участке $\left(4 < \overline{R}_ф < 15\right)$ линейной зависимостью следующего вида

$$\overline{A}_0\sqrt{d\left(\overline{R}_ф\right)} = \left(1{,}33 + 0{,}95\ \overline{R}_ф\right).\quad (5)$$

Подставляя в (3) значение параметра

$\overline{A}_i\sqrt{d\left(\overline{R}_ф\right)}$ из (5) получим

$$\overline{\Delta P}_ф = \left[\left(\frac{1{,}33 + 0{,}95\ \overline{R}_ф}{\overline{R}_ф}\right)^2 - 1\right],\quad (6)$$

откуда

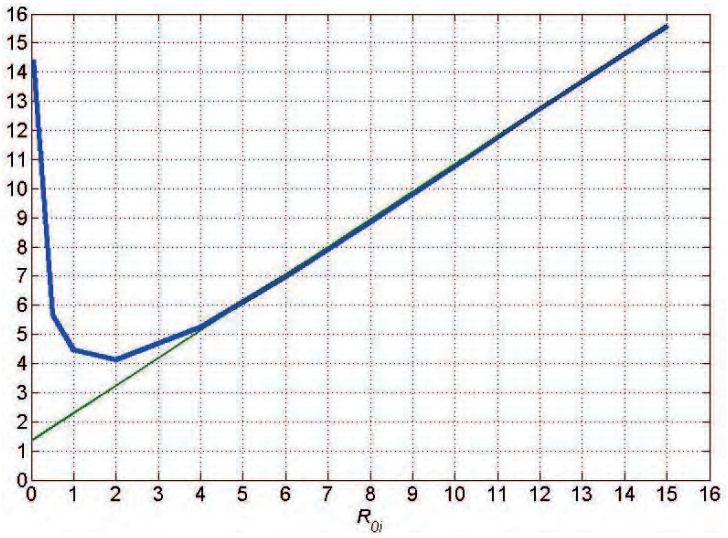


Рис. 1. Зависимость параметра $\overline{A}_i\sqrt{d\left(\overline{R}_ф\right)}$ от приведенного расстояния $\overline{R}_{0i}$

Таблица 1

Значения параметра $\overline{A}_i\sqrt{d\left(\overline{R}_\phi\right)}$ в зависимости от приведенного расстояния $\overline{R}_{0i}$

$\overline{R}_\phi$ м / кг$^{1/3}$	$\overline{R}_0$	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	15,0
$\overline{\Delta P}_\phi$ (4)	$466\cdot10^2$	127,0	18,79	3,25	0,73	0,35	0,22	0,16	0,12	0,09
$\overline{A}_0\ \sqrt{d}$ (5)	14,42	5,66	4,45	4,12	5,26	6,97	8,84	10,77	12,73	15,58
$\overline{A}_0\ \sqrt{d}$ (5)	-	-	-	-	5,13	7,03	8,93	10,83	12,73	15,58
(5)/(4)	-	-	-	-	0,98	1,00	1,01	1,00	1,00	1,00

$$\overline{R}_\phi = \frac{1,33}{\left[\sqrt{\left(1+\overline{\Delta P}_\phi\right)}-0,95\right]}. \qquad (7)$$

Полагая, что зависимость (5) справедлива во всем диапазоне значений приведенного расстояния $\overline{R}_\phi$, формулу (5) можно рекомендовать взамен эмпирической формулы М.А. Садовского, поскольку она, во-первых, в диапазоне $\left(4<\overline{R}_\phi<15\right)$ соответствует экспериментальным данным, во-вторых, при $\overline{R}_\phi=\overline{R}_0=0,0668 м/кг^{1/3}$ = $=\overline{\Delta P}_0=434$, что практически совпадает с теоретически полученным значением этой величины, и, наконец, в-третьих, нулевое значение параметра ΔP_ϕ наступает не при $\overline{R}_\phi\to\infty$, а при $\overline{R}_\phi=26,60 м/кг^{1/3}$.

Для определения параметров воздушной ударной волны, генерируемой взрывами ВВ, отличными от тротила, рекомендуется применять аналогичные, что и для тротила, формулы, подставляя в них эквивалентное тротилу количество подрываемого взрывчатого вещества, равное

$$q_{эк}=\eta q_в, \qquad (8)$$

где $q_в$ – количество подрываемого взрывчатого вещества;

η – коэффициент приведения массы подрываемого ВВ к массе тротила по мощности взрыва.

В связи с этим формулы (6) и (7) приводятся к следующему виду

$$\overline{\Delta P}_\phi = \left[\left(\frac{1,33\sqrt[3]{\eta}+0,95\,\overline{R}_\phi}{\overline{R}_\phi}\right)^2-1\right]; \qquad (9)$$

$$\overline{R}_\phi = \frac{1,33\sqrt[3]{\eta}}{\left[\sqrt{\left(1+\overline{\Delta P}_\phi\right)}-0,95\right]}. \qquad (10)$$

Значение коэффициента η рекомендуется принимать равным отношению удельной теплоты взрыва подрываемого ВВ к удельной теплоте взрыва тротила. Однако при этом формула (9) не удовлетворяет граничному условию: при $\overline{R}_\phi=\overline{R}_0$; $\overline{\Delta P}_\phi=\overline{\Delta P}_0$. Поэтому, чтобы устранить данное противоречие значение коэффициента η следует находить из следующего соотношения

$$\sqrt[3]{\eta}=\frac{\overline{R}_0}{1,33}\left[\sqrt{\left(1+\overline{\Delta P}_0\right)}-0,95\right];\ \overline{R}_0=\frac{1}{\sqrt[3]{\frac{2}{3}\pi\rho_B}}\quad \rho_B=\left[\frac{кг}{м^3}\right]. \qquad (11)$$

Обоснование предложенных моделей продемонстрируем расчетным примером. Рассмотрим давление на фронте ударной волны, возникающей вследствие взрыва подрываемого вещества. В качестве примера рассмотрим взрыв ракеты с разрывным зарядом в 34 кг тротила. Давление фронта ударной волны рассчитывается на расстоянии $R_\phi=10$ м от центра взрыва.

Приведенное расстояние $\overline{R}_\phi$ от центра взрыва (м/кг$^{1/3}$) считается по следующей отечественной формуле

$$\overline{R}_\phi=\frac{R_\phi}{\sqrt[3]{q_{эк}}},$$

где $q_{эк}$ – масса взрывчатого вещества в тротиловом эквиваленте. Для тротила с коэффициентом 1 $q_{эк}=34$ кг. Приведенное расстояние $\overline{R}_\phi=3.09$ м/кг$^{1/3}$.

Для расчета давления во фронте ударной волны обычно используется следующие формулы

$$\overline{P}_\phi=\frac{P_\phi}{P_a},\quad \overline{P}_\phi=\left[\left(\frac{1.05+0.95\cdot\overline{R}_\phi}{\overline{R}_\phi}\right)^2-1\right], \qquad (12)$$

где P_a – нормальное атмосферное давление.

Для рассматриваемого взрыва, с учетом $P_a=101\,325$ Па, значение давления P_ϕ на фронте ударной волны на расстоянии R составляет 91881 Па.

Для нахождения времени прихода фронта волны можно воспользоваться следующими формулами

$$\overline{t_ф} = \frac{t_ф}{\sqrt[3]{q_{эк}}}, \quad \overline{\tau_ф} = \frac{1.33}{D_a} \cdot \left[\overline{R_ф} - 1.03 \ln\left(1 + 0,97\overline{R_ф}\right)\right], \quad (13)$$

где D_a – скорость звука в атмосфере (343,1 м/с при н.у.),

Для текущего случая время прихода фронта волны $t_ф$ составляет 0.021 с.

В литературе зарубежных авторов [5] приведены немного другие формулы для расчета параметров ударной волны. Так, для давления на фронте приведена следующая формула [5]:

$$\overline{P_ф} = \left[\left(\frac{1.0 + 0.94 \cdot \overline{R_ф}}{\overline{R_ф}}\right)^2 - 1\right]. \quad (14)$$

А для времени прихода фронта волны:

$$\overline{\tau_ф} = \frac{1.062}{D_a}\left[\overline{R_ф} - 0,983 \ln\left(1 + \frac{\overline{R_ф}}{0.983}\right)\right]. \quad (15)$$

Для рассматриваемого случая расчеты дают $P_ф$=6.05*10⁴ Па, $t_ф$ = 0.017 с.

Сравним результаты по формулам (12), (13) и (14), (15) для ударных волн на различных расстояниях от центра взрыва. Так, для давления во фронте волны отечественные и зарубежные расчеты дают идентичные результаты (*рисунок 2*). Красной линией отмечены номограммные значения параметра давления фронта волны из зарубежного источника [8].

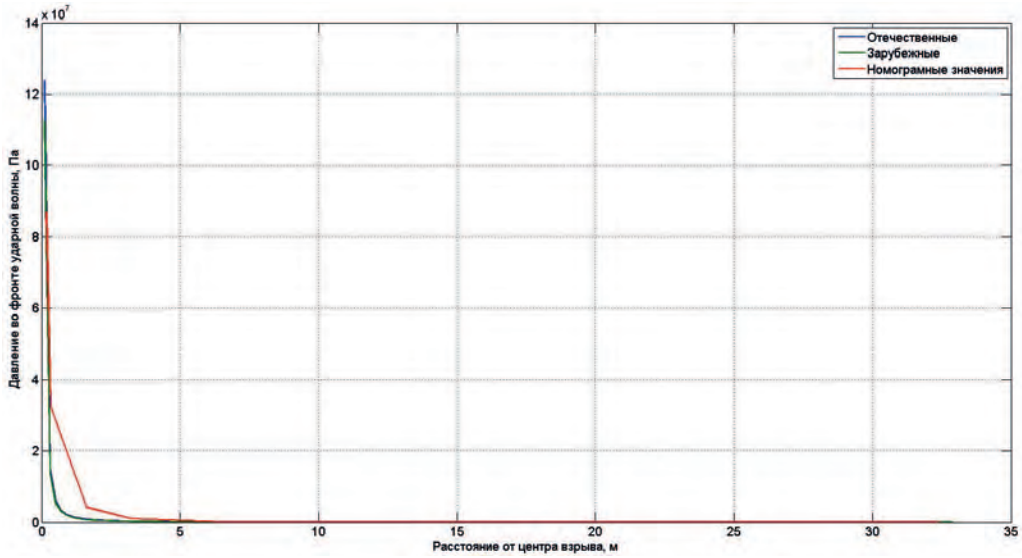


Рис. 2. Давление во фронте ударной волны на разных расстояниях от центра взрыва

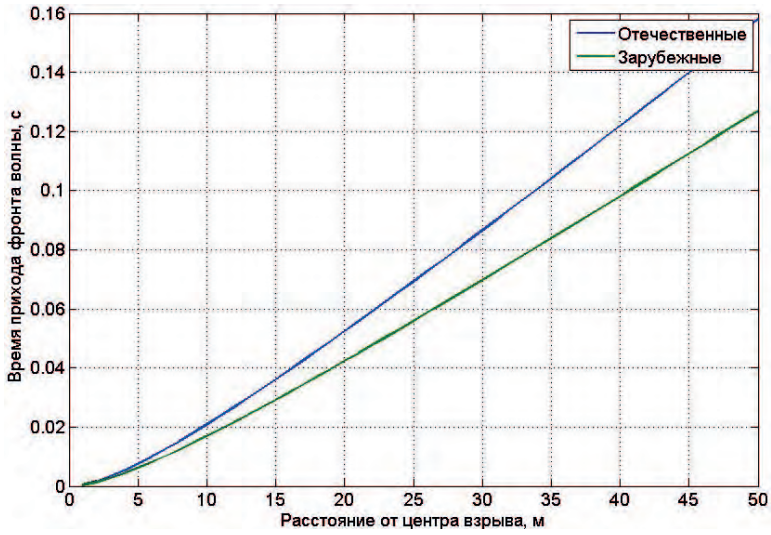


Рис. 3. Время прихода фронта волны на разных расстояниях от центра взрыва

Сравнения результатов для времени прихода фронта волны представлены на *рисунке 3*. Расчеты по (12) и (13) дают более высокий результат на всем рассматриваемом участке.

Таким образом, подход, основанный на (14) и (15) не может быть использован, потому что такие параметры, как время прихода волны и избыточное давления фронта, не корреспондируются между собой, а сами номограммные значения времени прихода фронта волны занижены в 1,5–2 раза по сравнению с расчетными значениями. Результаты же расчетов по (12) и (13) примерно на 20% превосходят результаты расчетов по (14) и (15).

В статье раскрыта структура формул, которые заменяет существующие эмпирические формулы. Это теоретически обоснованные формулы по определению избыточного давления на фронте воздушной ударной волны, основой которых является закон сохранения ее механической энергии с учетом происходящих при этом диссипативных потерь энергии. Раскрыто содержание методического аппарата по оценке мощности различных видов ВВ не удельной теплотой их взрыва, а в зависимости от таких параметров, которые напрямую характеризуют мощность взрывчатого вещества: давление на фронте воздушной ударной волны; скорость фронта этой волны; плотность взрывчатого вещества. Что соответственно позволяет с большей точностью осуществлять прогноз состояния объектов после воздействия воздушной ударной волны генерируемых потенциальным противником обычными средствами поражения.

Литература

1. Гражданская оборона / Под общ. ред. В.А. Пучкова. МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. 377 с.

2. ГОСТР 42.2.01-2014 Гражданская оборона. Оценка состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности в условиях воздействия поражающих факторов обычных средств поражения. Методы расчета. М.: Стандартинформ, 2015. 20 с.

3. Рыбаков А.В., Мухин В.И., Вильданов Р.Р. О методике расчета пространственного распределения энергии осколков вследствие возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера // Известия Института инженерной физики, 2016. №3(41). С. 43-50.

4. Баринов А.В., Казаков В.Ю. Постановка задачи исследования по защите населения от поражающих факторов при применении обычных средств поражения // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты, 2016. №2(29). С.66-71.

5. Морозов В.Н., Шахраманьян М.А. Прогнозирование и ликвидация последствий аварийных взрывов и землетрясений (теория и практика). М.: «УРСС», 1998. 272 с.

6. Рыбаков А.В. Расчет устойчивости конструкций зданий к барическому воздействию при авариях с участием сжатого природного газа. Информационная технология. Монография. Химки: ФГБОУ ВПО «Академия гражданской защиты МЧС России», 2014. 139 с.

7. Садовский М.А. Избранные труды. Геофизика и физика взрыва. М.: Наука, 2004. 440 с.

8. Бейкер У., Уэстайн П., Кулик Дк., Стрелоу Р. Взрывные явления. Оценка и последствия. Перевод на русский язык Я.Б. Зельдович, Б.Е. Гельфанда. М.: Мир, 1986. 384 с.

УДК 004.056

СПОСОБЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОДА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СИГНАТУР

METHODS OF IDENTIFYING THE PROGRAM CODE BASED ON SIGNATURE ANALYSIS

Владимир Сергеевич Алтухов
аспирант
инженер-программист
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: dkolder@mail.ru

Анатолий Николаевич Сизов
начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: anatolii.sizov@gmail.com

Аннотация

Рассматриваются концептуальные вопросы сигнатурного анализа безопасности программного обеспечения. Приводится общий принцип работы сигнатурного анализатора. Проводится сравнительный анализ методов сигнатурного анализа относительно моделей представления программного кода. Обосновывается применение сигнатурного анализа для идентификации кода и выявления уязвимостей программного обеспечения. Представлены примеры формирования сигнатур и выявления дефектов безопасности методом анализа сигнатур.

Ключевые слова: информационная безопасность, сигнатурный анализ, сигнатура, модели представления кода, идентификация кода.

Summary

Conceptual questions of software security signature analysis are discussed. We provide a general principle of the signature analyzer work process. The article shows a comparative analysis of signature analysis methods in reference to code representation model. We justify the use of signature analysis to identify the program code and detect software vulnerabilities. The article provides examples of signature formation and detection of security flaws using signature analysis method.

Keywords: information security, signature analysis, signature, code representation model, code identification.

Проблема безопасности программного обеспечения (ПО) на сегодняшний день является одной из основных в вопросах обеспечения информационной безопасности (ИБ). Для решения данной проблемы требуется непрерывное совершенствование методов тестирования, испытаний и контроля. В настоящее время основная масса коммерческого программного обеспечения распространяется в виде скомпилированных модулей без предоставления исходных текстов с целью защиты авторских прав. Такой подход обуславливает необходимость проверки с помощью идентификации кода его компонентов, что в большинстве случаев, позволяет обнаружить функции и модули, исполняющие вредоносный код или являющиеся программными закладками.

Для решения задачи идентификации кода применяется антивирусное и специальное программное обеспечение, использующие методы сигнатурного анализа, что позволяет выявить потенциально опасные участки кода.

Сигнатурный анализ – это метод обнаружения кода, основанный на сравнении исследуемого кода с известными образцами конструкций, занесенных в базу сигнатур анализатора [1].

Важнейшим свойством такого подхода является однозначное определение типа вредоносного или потенциально опасного кода. Сигнатура – совокупность свойств, описывающих характерные признаки функционально опасного кода в наиболее удобной для поиска форме и обеспечивающих возможность его идентификации. Важно отметить, что количество сигнатур не равняется количеству функциональных единиц кода, которые возможно идентифицировать с их помощью, так как одна сигнатура может использоваться для обнаружения похожих функций или целого их семейства. Сигнатура позволяет определить не только наличие функционально опасного кода, но и указать его тип, деструктивные функции и возможные способы исправления данного недостатка [2].

Основной проблемой сигнатурного подхода является получение сигнатур и необходимость в постоянном обновлении сигнатурной базы. Для получения сигнатуры необходимо исследование нескольких копий файла, относящегося к одному классу вредоносного кода. В состав сигнатуры должны входить уникальные строки этого файла, достаточно характерные для уменьшения вероятности ложного срабатывания – неверной идентификации безопасного участка кода. Основным стандартом, использующимся для формирования сигнатур, является Common Weaknesses Enumeration (CWE) – формальный список типов программных уязвимостей. Данный стандарт служит общим языком описания уязвимостей программного обеспечения, а также обеспечивает общие положения для их идентификации [3]. В *таблице 1* приведены примеры правил формирования сигнатур для функциональных и нефункциональных ошибок, соответствующих стандарту CWE.

Задачу поиска и анализа сигнатур, составленных по подобным правилам, выполняют сигнатурные анализаторы. Общий принцип работы сигнатурных анализаторов представлен на *рисунке 1*.

Принцип работы сигнатурного анализатора основывается на поиске сигнатур в исходных данных (исследуемом модуле ПО). При обнару-

Таблица 1

Примеры правил формирования сигнатур

Элемент CWE верхнего уровня	Элемент CWE нижнего уровня	Признаки наличия	Порядок формирования сигнатуры
Недостаточная инкапсуляция (Insufficient Encapsulation)	Остаточный отладочный код (Leftover Debug Code)	Наличие отладочного кода	Порядок присутствия вызовов функций из списка отладочных, наличия подозрительных правил в названиях отладочных функций, ключевых слов по debug, в том числе в комментариях
Механизмы безопасности (Security Features)	Использование жестко прописанных паролей (Use of hard-coded password)	Наличие паролей и других данных авторизации непосредственно в коде приложения	Проверка вызовов функций с параметрами авторизации, использующих аргументы со строковыми константами; поиск функций, требующих авторизации вместе с переменными, которым были присвоены константы
Индикатор плохого качества кода (Indicator of Poor Code Quality)	Присваивание вместо сравнения (Assigning instad of Comparing)	Наличие “=” вместо “= =” в блоке if, где сравниваются лишь переменные	Проверка заданного списка регулярных выражений для содержимого заданных типов блоков
Ошибки очистки и инициализации (Initialization and Cleanup Errors)	Неверная инициализация (Improper Initialization)	Отсутствие инициализации значений объектов перед их использованием	Поиск объявлений объектов, которые требуют инициализации перед своим использованием; поиск первого использования объекта в вызовах и операциях; при отсутствии их инициализации

Рис. 1. Общий принцип работы сигнатурного анализатора

жении известной сигнатуры анализатор фиксирует факт обнаружения программной конструкции, соответствующей данной сигнатуре.

Важным аспектом в работе анализатора является тип модели представления кода, от которого зависит и тип накладываемого шаблона поиска. Наиболее распространенными на сегодняшний день моделями представления кода являются [4]:

- исходные тексты ПО. Выполняется контроль зависимостей на уровне компонентов и отдельных файлов проекта. Поиск сигнатур в данной модели происходит по регулярным выражениям;
- абстрактное синтаксическое дерево (Abstract Syntax Tree, AST). В такой модели проводится лексический и синтаксический анализ представления, поиск сигнатур проводится непосредственно по AST;
- абстрактный синтаксический граф (Abstract Syntax Graph, ASG): поток управления. Происходит определение связей объектов в иерархии. Производится поиск сигнатур последовательностей инструкций;
- абстрактный синтаксический граф (ASG): поток данных. Происходит определение зависимостей по данным. Производится поиск внутрипроцедурных сигнатур последовательностей инструкций с учетом передаваемых значений;
- абстрактный синтаксический граф (ASG): межпроцедурный анализ. В данной модели не требуется декомпозиция и анализ структуры программы, производится поиск сигнатур с учетом связей между процедурами;
- абстрактный синтаксический граф (ASG): семантические описания конструкций. В данной модели так же не требуется декомпозиция и анализ структуры программы, поиск сигнатур производится на основе семантической базы конструкций.

Следующим шагом в работе анализатора является непосредственно поиск сигнатур. Существуют следующие сигнатурные методы идентификации кода:

- метод контекстного поиска. В основе метода лежит процедура поиска определенного множества символов в исходных данных, что позволяет эффективно идентифицировать код с помощью точного задания параметров сигнатуры, которую необходимо выявить;
- метод анализа состояний. Данный метод формирует сигнатуры атак в виде последовательности переходов процессов в исследуемом модуле из одного состояния в другое, при этом каждый переход связан с наступлением в исследуемом модуле определенных событий, определяющихся в параметрах сигнатуры;
- методы, базирующиеся на экспертных системах. Подобные методы позволяют описывать программные конструкции на естественном языке с высоким уровнем абстракции. Экспертные системы, на которых основаны методы этого типа, состоят из базы фактов и базы правил. Факты представляют собой исходные данные, правила – методы логического вывода о функциональности кода на основе имеющейся базы фактов.

Наибольшее распространение из данных методов получил метод контекстного поиска в силу его универсальности и более простыми возможностями реализации по сравнению с другими методами.

Итоговым шагом в работе сигнатурного анализатора является представление результатов работы. В общем случае таким представлением является отчет, в котором указываются все идентифицированные фрагменты кода и уровень угрозы обнаруженных объектов и функций (безопасно, небезопасно, требует дополнительной проверки).

В качестве примера использования сигнатурного анализа предлагается рассмотреть фрагмент программы на языке PHP с потенциально реализуемой SQL-инъекцией содержимого cookies клиентского браузера в СУБД PostgreSQL [4] (листинг 1).

Для выявления потенциально опасного фрагмента возможно использование, например, внутрипроцедурным представлением кода. Для выделения потенциально опасного фрагмента используются две проверки:

Листинг 1
Пример использования сигнатурного анализа

```
1. <?php
2. …
3. $id = $_COOKIE["mid»]; //получ   ение данных
4. …
5. $query = "SELECT MessageID FROM messages WHERE
6. MessageID  = '$ id'"; //формирование запроса к БД
7. …
8. $result = pg_query($conn, $query); // выполнение запроса
9. ?>
```

- выявление потенциально опасных операций (в данном случае, pg_query);
- выявление непроверенных источников данных (_COOKIE).

Выполнение внутрипроцедурного анализа составляет 4 шага, представленные в листинге 2.

Листинг 2
Выполнение внутрипроцедурного анализа

```
1. (0, ("_COOKIE"), "$id")
2. (0, "$id", "$query")
3. ("pg_query", "$query", "$result")
4. ("pg_query", "_COOKIE", "$result")
```

После выполнения шага 4 одновременно сработают две сигнатура критичных операций (получение данных из COOKIE и выполнение запроса к СУБД), что сигнализирует о наличии потенциально опасной конструкции: использование данных, введенных пользователем в SQL-запросах без предварительной фильтрации.

Сигнатурный подход выявления уязвимостей и дефектов безопасности в области ИБ остается основным, т.к. практика выявления критических уязвимостей (например: интегрированные ключи, константы парольных переменных, возможность подмены модулей и др.) показывает, что выявлены они были именно сигнатурными подходами. Сигнатурный анализ возможно реализовать на различных уровнях представления кода, выбор которого зависит от эффективности и особенностей используемого анализатора, соответствующего конкретному языку программирования. Достоинствами сигнатурного анализа являются относительная простота реализации анализатора и базы структур, высокая скорость работы, возможность портирования их на различные платформы и легкость модификации сигнатур. В то же время, должна учитываться необходимость постоянного обновления сигнатурных баз для эффективной работы анализатора, а также синтаксическую вариатативность различных языков программирования, сложность реализации качественного межпроцедурного анализа и сложность обработки конструкций, распределенных по модулям ПО. Данные положения означают, что для эффективного проведения проверок безопасности кода необходимо использование комплексного подхода, сочетающего методики как статического анализа, так и других способов идентификации.

Литература

1. Марков А.С., Миронов С.В., Цирилов В.Л. Выявление уязвимостей в программном коде // Открытые системы.СУБД, 2005. №12. С. 64-69.
2. Аветисян А., Белеванцев А., Бородин А., Несов В. Использование статического анализа для поиска уязвимостей и критических ошибок в исходном коде программ // Труды Института системного программирования РАН, 2011. Т.21. С.23-38.
3. CWE Overview [Электронный ресурс] – режим доступа https://cwe.mitre.org/about/
4. Марков А.С., Фадин А.А. Статический сигнатурный анализ безопасности программ // Программная инженерия и информационная безопасность, 2013. №1. С. 50-56.

УДК 004.7

ПОСТРОЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ ЗАЩИТЫ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБМАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

THE CONSTRUCTION OF A MULTI–LEVEL PROTECTION OF CORPORATE INFORMATION SYSTEM USING DECEPTIVE TECHNIQUES

Павел Евгеньевич Стародубцев
начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: starodoubtsev@inbox.ru

Дмитрий Вячеславович Смирнов
доктор технических наук, доцент
Генеральный директор –
Первый Вице-президент
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер, д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: dv_smr@mail.ru

Аннотация
В статье рассмотрены технические аспекты построения многоуровневой защиты корпоративных информационных систем с использованием гибридной ложной информационной системы.

Ключевые слова: корпоративная информационная система, гибридная ложная информационная система, многоуровневая защита.

Summary
In the article describes the technical aspects of building a multi-level protection of corporate information systems using a hybrid false information systems.

Keywords: corporate information system, hybrid false information system, a multi-level protection.

Введение

Тенденции развития компьютерных технологий привели к невозможности ведения эффективного бизнеса без применения корпоративных информационных систем (КИС), которые позволяют повысить эффективность всех сторон деятельности компаний, таких как маркетинг, производство, продажи, платежи, поиск новых сотрудников, анализ и управление бизнес-процессами и другие. Важнейшей составляющей функционирования КИС является информационная безопасность, под которой понимается защищенность корпоративной информации и поддерживающей инфраструктуры от случайных и преднамеренных воздействий, способных нанести ущерб владельцам или пользователям информации [1]. Ущерб от нарушения информационной безопасности может привести к крупным финансовым потерям вплоть до прекращения деятельности в целом. Модель территориально-распределенной КИС представлена на *рисунке 1*.

Специалисты по безопасности решают огромный спектр задач, одна из основных – это сбор сведений, позволяющих обнаружить сетевые атаки, понять, как они действуют и почему. Чаще всего приходится анализировать информацию, оставшуюся во взломанной системе, в основном путем изучения системных журналов, однако такая информация крайне скудна и мало что может сказать об угрозе в целом. Тем более что квалифицированный злоумышленник ставит перед собой не только задачу взлома информационной системы, но и удаления следов.

Множество систем безопасности, применяемых в КИС в настоящее время, являются системами поиска совпадений (используют сигнатурный анализ) и моделей поведения уже известных угроз. Они бессильны против новых атак, для которых еще нет сигнатур и патчей от производителя. Такие атаки называются атаками «нулевого дня». Данный вид атак в свою очередь наносит наибольший ущерб для компаний. В целях повышения защищенности КИС и проти-

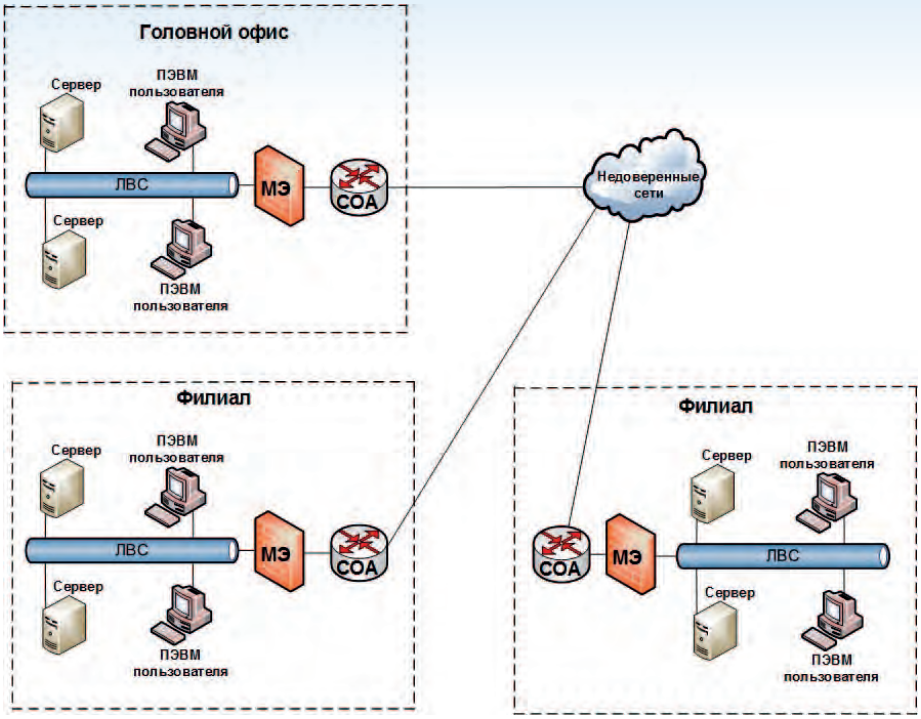


Рис. 1. Модель территориально-распределенной КИС

востояния сетевым атакам «нулевого дня» предлагается разработать модель гибридной ложной информационной системы (ЛИС) в соответствии с концепцией многоуровневой (эшелонированной) защиты информации, согласно которой необходимо защищать следующие элементы КИС: сеть, узел, приложение. Далее рассмотрим технические аспекты создания гибридной ЛИС для каждого из защищаемых элементов КИС.

ЛИС для защиты сети КИС

Для защиты сети КИС необходимо использовать ЛИС в режиме отделения, в котором между защищаемой сетью КИС и внешними недоверенными сетями функционирует дополнительная сеть из эмулируемых узлов. Параметры таких эмулируемых узлов (тип и версия операционной системы, набор функционирующих сервисов и другие) совпадают с параметрами реальных объектов защищаемой сети. Модель ЛИС, применяемая в режиме отделения, представлена на *рисунке 2*.

Эмулируемая сеть разворачивается между двумя сетевыми шлюзами, один из которых отделяет эмулируемую сеть от недоверенных сетей, второй – от реальной защищаемой сети. Таким образом, все пользователи (легитимные и нелегитимные) из недоверенных сетей первона-

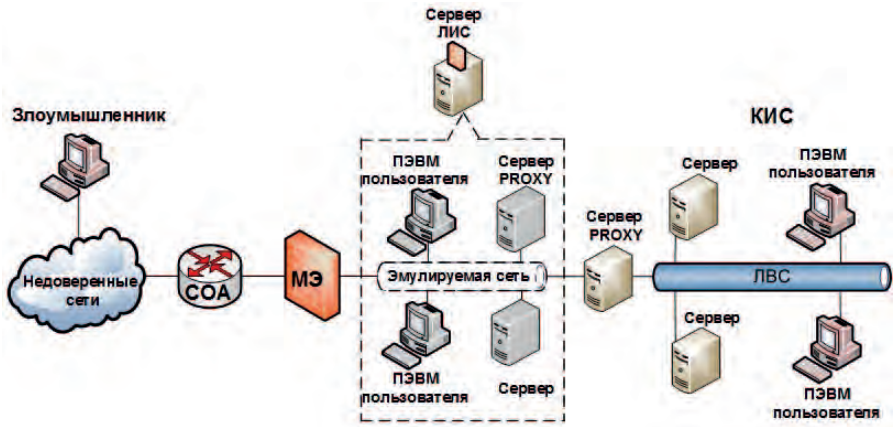


Рис. 2. Модель ЛИС в режиме отделения

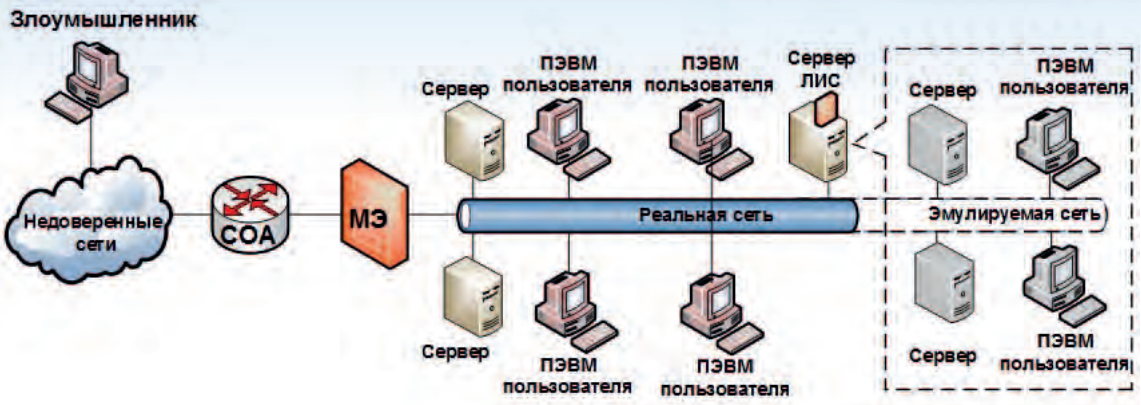


Рис. 3. Модель ЛИС в режиме внедрения

чально попадают в эмулируемую сеть. То есть, все пользователи, находящиеся в недоверенных сетях, могут получить информацию о наличии сети за входным маршрутизатором, ее параметры (например, через протоколы динамической маршрутизации), также имеют возможность взаимодействовать с узлами эмулируемой сети. В частности, возможный злоумышленник может успешно (с его точки зрения) воспользоваться средствами сетевого сканирования.

При этом легитимные пользователи обладают информацией о наличии и параметрах второго сетевого шлюза в эмулируемой сети, через который осуществляется доступ к ресурсам реальной защищаемой сети. Злоумышленнику, в отличие от легитимных пользователей, неизвестен сам факт наличия второго шлюза. Таким образом, приняв эмулируемую сеть за целевую, атакующий направит свои усилия на сканирование этой сети с целью получения информации о топологии, узлах и функционирующих сервисах, что позволит его обнаружить до попытки его доступа в реальную защищаемую сеть. После обнаружения злоумышленник может быть в любой момент заблокирован на сетевом уровне средствами межсетевого экранирования на первом сетевом шлюзе.

ЛИС для защиты сетевых узлов КИС

Для защиты сетевых узлов КИС необходимо использовать ЛИС в режиме внедрения, в котором ЛИС размещается в одной подсети с защищаемыми сетевыми узлами. При этом эмулируемые сетевые узлы располагаются в адресном пространстве защищаемой сети, занимая незанятые IP-адреса, а их параметры (сетевой адрес, имитируемые сетевые сервисы) должны быть максимально схожи с реальными объектами, MAC-адреса эмулируемых узлов не должны совпадать с адресами реальных объектов в сети. Модель ЛИС, применяемая в режиме внедрения, представлена на *рисунке 3*.

Легитимные пользователи обладают информацией о местонахождении реальных узлов в сети и, соответственно, не обращаются к эмулируемым узлам. Злоумышленник, в свою очередь, не обладает информацией о местонахождении эмулируемых узлов. Поэтому вероятность обращения злоумышленника к эмулируемому узлу достаточно велика. Любое обраще-

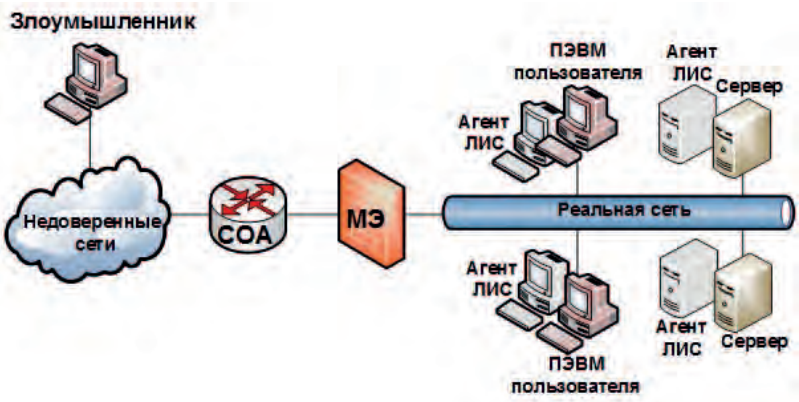


Рис. 4. Модель агента ЛИС

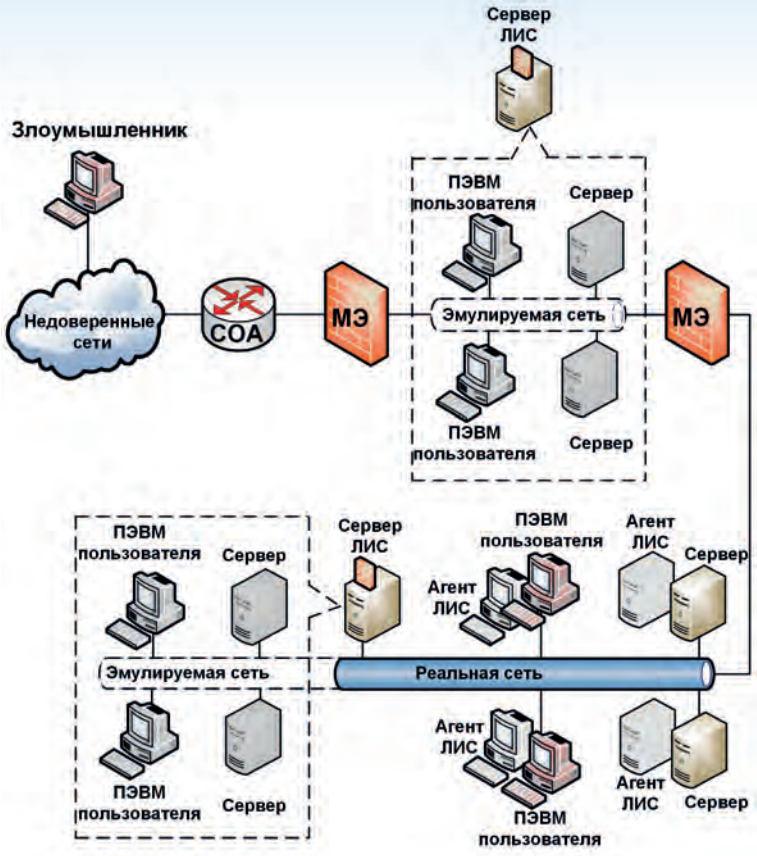


Рис. 5. Функциональная модель гибридной ЛИС

ние к эмулируемому узлу будет зарегистрировано как событие нарушения безопасности с выдачей соответствующего оповещения администратору безопасности.

ЛИС для защиты приложений пользователей КИС

Для защиты приложений пользователей КИС необходимо разработать агента ЛИС, который должен устанавливаться на ПЭВМ пользователей КИС и корректно функционировать под управлением операционных систем пользователей. Модель агента ЛИС представлена на *рисунке 4*.

Агент ЛИС будет вводить злоумышленника в заблуждение путем навязывания ложной информации, имитации функционирования сетевых сервисов, увеличения времени сканирования.

Агент ЛИС должен обеспечить дезинформирование злоумышленника о наличии открытых и закрытых портов на ПЭВМ. Данное дезинформирование предполагает блокировку установленного ряда портов (указанная настройка зависит от конкретных условий эксплуатации ПЭВМ в рамках КИС) на отправку пакетов средствами стандартного брандмауэра хостовой операционной системы. В результате исключаются стандартные ответы предполагаемых «уязвимых» сетевых сервисов, а в качестве реакции на действия злоумышленника, сканируя входящие пакеты на заблокированные порты, средствами агента ЛИС необходимо отправлять стандартные ответы, обеспечивающие достоверную имитацию открытого порта и доступного на нём сервиса. Соответственно обращение к данного вида портам подразумевается по умолчанию нелегитимным.

Комплексное применение описанных подходов для построения гибридной ЛИС

Рассмотренные в статье компоненты ЛИС можно применять и по отдельности, но наибольший эффект даст их совместное применение в рамках гибридной ЛИС в соответствии с концепцией многоуровневой (эшелонированной) защиты информации. Функциональная модель гибридной ЛИС представлена на *рисунке 5*.

Литература

1. Шаньгин В.Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. М.: ДМК Пресс, 2012. 592 с.

УДК 004.056.5

О ВОСПРОИЗВОДИМОМ ИЗВЛЕЧЕНИИ КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО КЛЮЧА ИЗ НЕЧЕТКОГО ОБРАЗА

THE REPRODUCIBILITY OF EXTRACTION OF CRYPTOGRAPHIC KEYS OF FUZZY IMAGE

Вадим Геннадьевич Грибунин
доктор технических наук
главный научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: wavelet2@mail.ru

Дмитрий Вячеславович Смирнов
доктор технических наук, доцент
Генеральный директор –
Первый Вице-президент
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер, д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: dv_smr@mail.ru

Аннотация
В статье рассмотрены два основных подхода к извлечению случайных последовательностей из нечетких образов: нечеткие экстракторы и нейронные сети. Случайные последовательности могут в дальнейшем быть использованы как ключевые данные в алгоритмах защиты информации.

Ключевые слова: экстракторы, физически неклонируемые функции, случайность, энтропия, биометрия.

Summary
The article discusses two main approaches to the extraction of random sequences of fuzzy sources: fuzzy extractors and neural networks. Random sequences may further be used as key data in the security algorithms for protection of information.

Keywords: extractors, physically unclonable functions, randomness, entropy, biometry.

В статье [1] предложен алгоритм извлечения уникальной числовой последовательности из различных изображений объекта в одних и тех же условиях. Так как вопрос о вероятностных распределениях извлекаемых числовых последовательностей предложенным алгоритмом не рассматривался, то возможность использования предложенного подхода в средствах защиты информации остается открытым.

Совокупность различных изображений объекта, полученных в одних и тех же условиях, формируют его нечеткий образ. Аналогичным нечетким образом является биометрический образ (например, снимок радужной оболочки глаза), а также совокупность откликов устройств, использующих технологию физически неклонируемых функций (ФНФ). Описанные в статье [1] эксперименты также относятся к оптическим ФНФ.

Воспроизводимое извлечение уникальной числовой последовательности из нечеткого образа имеет важное значение в системах аутентификации, системах биометрия-код, ФНФ-ключ (шифрования). Вместе с тем, извлеченная последовательность может не отвечать критериям случайности, например, в ней могут быть однородные области, преобладание единиц над нулями. Кроме того, от эксперимента к эксперименту она может несколько изменяться. Ключ, напротив, должен быть неотличим от случайной последовательности с точки зрения различных критериев и быть одним и тем же для всех экспериментов с точностью до бита. Для достижения таких результатов требуется определенная постобработка извлеченной последовательности.

В мире известны два подхода к такой постобработке: использование нечетких экстракторов (в основном, зарубежные авторы [2,3]) и применение нейросетевых технологий (в основном, отечественные авторы [4,5]).

В настоящей статье приведены основные свойства о нечетких экстракторах, а также сведения о применении искусственных нейронных сетей в системах биометрия-код.

Нечеткие экстракторы

Назовем почти случайной последовательностью последовательность, имеющую распределение близкое к равномерному. Можно ли «улучшить» ее случайность, то есть приблизить ее распределение к равномерному? Оказывается, можно. И инструментом, позволяющим сделать это, является математическая конструкция, называемая экстрактором, а сама процедура называется извлечением случайности.

Для введения понятия экстрактора приведем понятие минимальной энтропии. Наиболее общее выражение для энтропии следующее (энтропия Реньи):

$$H_\alpha(X) = \frac{1}{1-\alpha}\log\left(\sum_{i=1}^{n} p_i^\alpha\right),$$

где в зависимости от параметра α мы можем получить энтропию по Хартли (α=0), по Шеннону (α→1) и т.д. При α→∞ существует предел, который как раз и описывает минимальную энтропию (min-энтропию):

$$H_\infty(X) = -\log \sup_{i=1..n} p_i.$$

Min-энтропия названа так потому, что это наименьшее возможное значение функционала $H_\alpha(X)$, что делает ее привлекательной для использования в криптографии (так как рассматривается как бы наихудший случай).

Тогда *(k,ε)*-экстрактор [2] – это функция E:

$$\{0,1\}^n \times \{0,1\}^d \mapsto \{0,1\}^m$$

такая, что для любой случайной переменной X длины n, $E(X,U_d)$ длины $m<n$ имеет статистическое расстояние от равномерного распределения не превосходящее ε.

Здесь U_d – начальное заполнение экстрактора (случайная последовательность) длиной $d<<n$; k – min-энтропия «слабослучайного» источника X.

При проектировании экстракторов стремятся достичь следующих параметров: $d\to min$, $\varepsilon\to 0$, $m\to k$. Оптимальными значениями являются $m=k$, $d=\log(n/\varepsilon^2)$ [2].

Вооружившись понятием экстрактора, перейдем к понятию нечеткого экстрактора. Для этого вначале нам понадобится конструкция, называемая secure scetch (в отечественной литературе иногда встречается дословный перевод этого понятия – эскиз безопасности, который нам кажется неудачным). Обозначим нечеткий образ через w'. Для воспроизводимого извлечения из него случайной последовательности необходимо вначале восстановить «чёткий» образ w, из которого затем извлечь случайную последовательность. Для восстановления чёткого образа применяется вспомогательная конструкция, называемая secure scetch.

Пусть задана функция расстояния dis в некотором метрическом пространстве M, $\mathrm{dis}(w, w') \le t$.

Тогда $(M, m, \widetilde{m}, t)$-secure sketch есть пара рандомизированных процедур SS и Rec со следующими свойствами [3]:

1. $\mathrm{SS}(w \in M)$ есть битовая строка: $s \in \{0,1\}^n$ (она используется для восстановления четкого образа).

2. Если $\mathrm{dis}(w, w') \le t$, то $\mathrm{Rec}(w', \mathrm{SS}(w)) = w$ (свойство корректности, гарантирующее, что если искажения не превышают некоторого порога, то безошибочное восстановление четкого образа всегда возможно).

3. Для распределения W в пространстве M с min-энтропией m, значение W может быть восстановлено нарушителем на основе s с вероятностью не более чем $2^{-\widetilde{m}}$ (свойство безопасности). Т.е. $\widetilde{H}_\infty(W|\mathrm{SS}(W)) \ge \widetilde{m}$, где $\widetilde{m}$ – остаточная min-энтропия. $\lambda = m - \widetilde{m}$ – потери энтропии (длина s). Таким образом, имеет место обмен исправляющей способности и безопасности.

4. SS() и Rec() должны вычисляться в полиномиальное время (свойство эффективности).

Располагая понятиями экстрактора и secure scetch, мы приходим к понятию нечёткого экстрактора.

Нечеткий экстрактор *(M,m,l,t,ε)* есть пара рандомизированных процедур Gen() (генерация) и Rep (восстановление) со следующими свойствами:

1. Результат выполнения процедуры

$$\mathrm{Gen}(w \in M)$$

есть 2 битовые строки:

случайная

$R \in \{0,1\}^l$ и вспомогательная ("хэлпер") $P \in \{0,1\}^*$

2. Если $\mathrm{dis}(w, w') \le t$, то $\mathrm{Rep}(w', P) = R$ (свойство корректности).

3. Для распределения W в пространстве M с min-энтропией m, последовательность R неотличима от равномерной, даже при общеизвестном P (свойство безопасности). Т.е. $\mathbf{SD}((R, P), (U_l, P)) \le \varepsilon$. Потери энтропии в данном случае составляют $m - l$.

4. Gen() и Rep() должны вычисляться в полиномиальное время (свойство эффективности).

На *рисунке 1а* представлены общие конструкции нечеткого экстрактора, а на *рисунке 1б* – конструкция нечеткого экстрактора, получаемого из экстрактора и secure sketch.

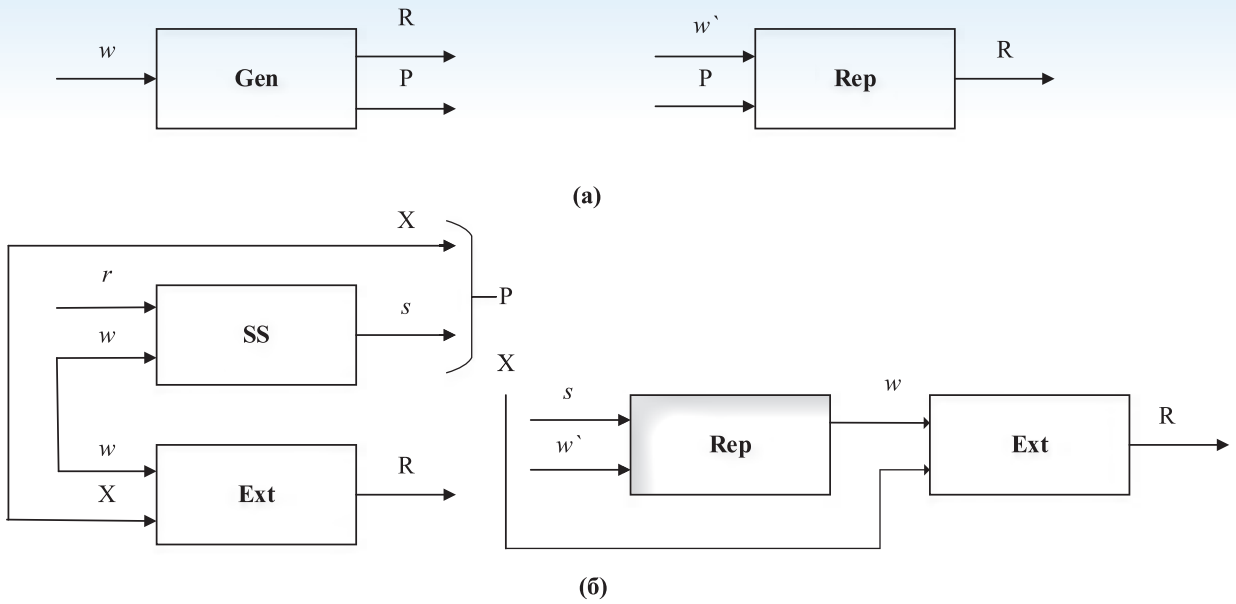


Рис. 1. Конструкции нечеткого экстрактора

На *рисунке 1б* на вход процедуры SS подается, помимо образа *w*, еще и некоторая случайная последовательность *r*. Пара (X, *s*) образует хэлпер, публикуемый открыто. Последовательность *s* используется для получения четкого образа, а начальное заполнение *X* – для извлечения из него случайной последовательности.

Пример практической реализации схемы извлечения случайной последовательности из нечеткого образа на основе нечеткого экстрактора приведен на рисунке 2 [3].

Здесь для исправления ошибок используются БЧХ-коды, а в качестве экстрактора случайности используется хэш-функция SHA (существует доказательство того, что эта хэш-функция является экстрактором).

Использование искусственных нейронных сетей для получения случайных последовательностей из нечетких образов

В нашей стране принята серия национальных стандартов [4], посвященных средствам высоконадежной биометрической аутентификации. В них приведены требования к таким средствам, к тестированию их стойкости, к формированию баз биометрических образов, к алгоритмам обучения нейросетевых преобразователей биометрия-код и другие требования.

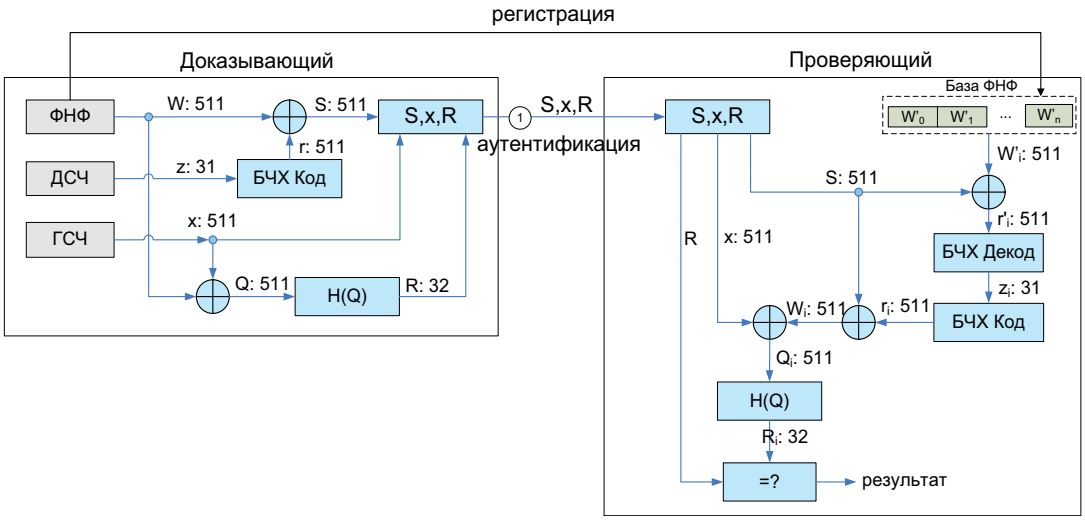


Рис. 2. Пример практической реализации извлечения случайной последовательности из нечеткого образа на основе нечеткого экстрактора [3]

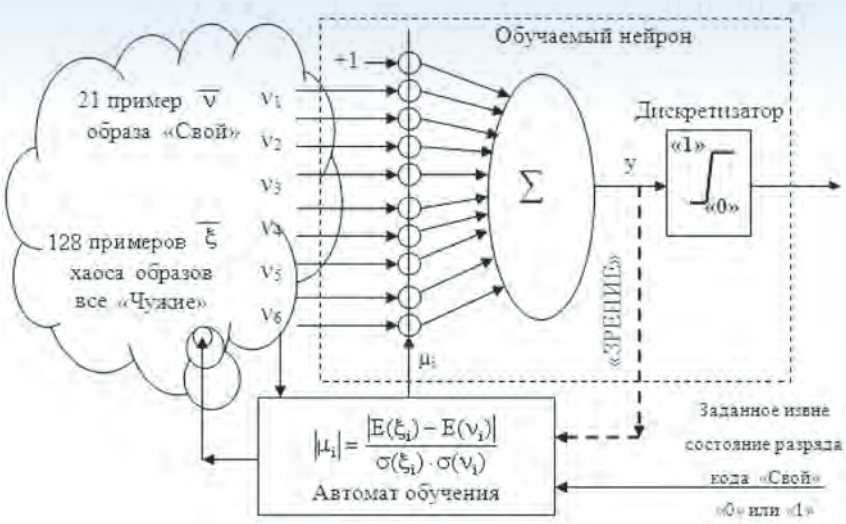


Рис. 3. Блок-схема обучения одного искусственного нейрона [6]

В стандартах описана следующая процедура применения данных средств. Во время своей регистрации пользователь предъявляет несколько примеров биометрического образа «Свой» и свой код доступа. Автомат обучения должен выполнить обучение нейросетевого преобразователя биометрия-код доступа так, чтобы при предъявлении преобразователю примеров образа «Свой» он выдавал на выходе код доступа «Свой», а при предъявлении преобразователю случайного образа «Чужой» преобразователь выдавал на выходе случайный код. Таким образом, задача похожа на рассмотренную выше в настоящей статье и в работе [1] (извлеченный случайный код можно всегда привести к требуемому путем сложения его с кодовым дополнением). Отличие заключается в том, что для нечетких экстракторов не требуется обучение и, тем более, использование в нем кода.

Рекомендуется использовать одно- либо двуслойную сеть [5]. В случае однослойной сети обучение нейронов производить независимо друг от друга (каждый нейрон отвечает за бит выходного ключа) (*рисунок 3*).

Автомат обучения одного нейрона должен решать задачу «выталкивания» распределения откликов нейрона на примеры образа «Свой» на периферию распределения откликов образов «Чужой» (*рисунок 4*).

Подробно технология использования искусственных нейронных сетей для реализации преобразования «биометрия-код» изложена в монографии [6]. В ней показано, что при применении нейросетей достигается значительно большая

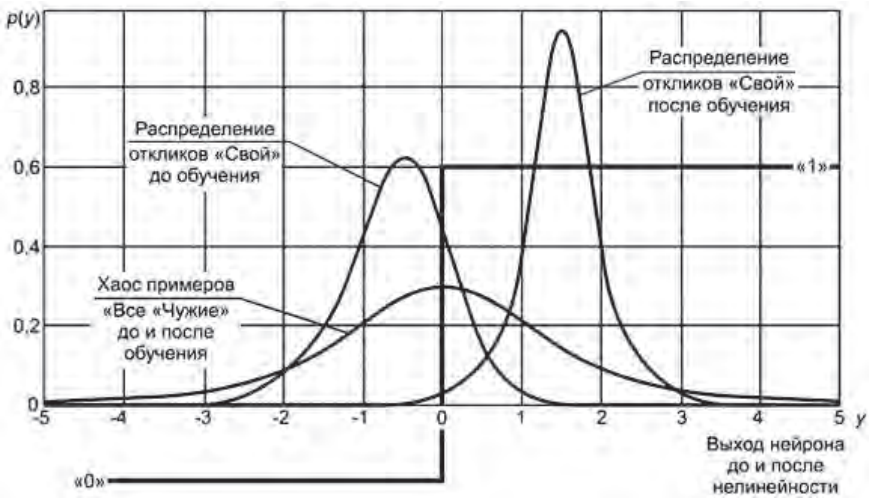


Рис. 4. Пример распределения откликов «Свой» и «Чужой» до и после обучения [5]

энтропия получаемых кодов, чем при использовании нечетких экстракторов. С другой стороны, нечеткие экстракторы имеют ясное теоретико-информационное обоснование, что позволяет гарантировать их специфические для задач защиты информации свойства.

Литература

1. Никитин А.К., Кукин Н.С. Извлечение уникальной информации из различных изображений объекта в одних и тех же условиях / Известия Института инженерной физики, 2016. №4(42). С. 32-35.

2. Dodis Y., Reyzin L., Smith A. Fuzzy Extractors: How to Generate Strong Keys from Biometrics and Other Noisy Data / In: Cachin C., Camenisch J.L. (eds) Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2004. Lecture Notes in Computer Science, vol 3027. Springer, Berlin, pp. 523-540.

3. Hyunho Kang, Yohei Hori, Toshihiro Katashita, Manabu Hagiwara, Keiichi Iwamura. Cryptographic Key Generation from PUF Data Using Efficient Fuzzy Extractors / Proc. of the 16th International Conference on Advanced Communications Technology, 2014, Phoenix Park, PyeonhChang, pp.23-26.

4. ГОСТ Р 52633.0-2006. Защита информации. Техника защиты информации. Требования к средствам высоконадежной биометрической аутентификации.

5. ГОСТ Р 52633.5-2011. Защита информации. Техника защиты информации. Автоматическое обучение нейросетевых преобразователей биометрия-код доступа.

6. Ахметов Б.С., Иванов А.И., Фунтиков В.А., Безяев А.В., Малыгина Е.А. Технология использования больших нейронных сетей для преобразования нечетких биометрических данных в код ключа доступа. Монография. Алматы: ТОО «Издательство LEM», 2014. 144 с.

УДК 519.6:004.93

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ТОЧКАМИ ОБЪЕКТА, ПРЕДСТАВЛЕННОГО НА ИЗОБРАЖЕНИИ

A METHOD FOR ESTIMATION OF THE CONNECTION TYPE BETWEEN POINTS OBJECT OF THE IMAGE

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

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

Аннотация

Рассматривается оценка взаимосвязи между двумя точками на изображении. Приведена математическая модель траекторий движения пар различным образом связанных точек под действием случайных возмущений. Предложен алгоритм определения характера связи по данным о траекториях движения точек.

Ключевые слова: обработка изображений, траектории точек, модель связей.

Summary

The paper considers estimation of the connection type between two points of the image. A mathematical model trajectories of pairs connected points in different ways under the influence of random disturbances. An algorithm for determining the character of the connection by data about the trajectories of points.

Keywords: image processing, track points, contacts model.

Введение

В настоящее время обработка изображений является важным направлением применения современной вычислительной техники. Известны такие задачи обработки изображений, как фильтрация, восстановление изображений, сегментация, сжатие информации [2]. Все это необходимо для того, что получить из изображения как можно больше информации.

Дополнительной информацией для решения задач идентификации [4] могут служить характерные особенности внутренних механических связей между отдельными точками объекта. В этом случае становятся различимыми внешне схожие объекты, имеющие существенные отличия во внутреннем строении (материале, составе и др.). Данная работа просвещена оценке механических связей между точками объекта на изображении для построения математической модели, позволяющей исследовать реакцию этого объекта на любые внешние воздействия, приводящие к изменению положения по горизонтальной оси.

Математическая модель связи между двумя точками

Было рассмотрено три варианта связей двух точек, имеющих массы m_1 и m_2:

Вариант 1. Связь между точками отсутствует, то есть они либо принадлежать разным телам, либо являются свободными.

Вариант 2. Точки имеют жесткую связь, например, привязаны к двум концам недеформируемого стержня.

Вариант 3. Точки имеют упругую связь, например, привязаны к двум концам пружины.

В рамках исследования были заданы случайные возмущения F_1 и F_2, распределенные по нормальному закону, а для координат точек x_1 и x_2 приняты некоторые начальные условия.

Для того, чтобы установить тип связи между двумя точками, было проведено моделирование их движения в соответствии с формулами

1) в случае отсутствия связи между точками:

$$\ddot{x}_1 = \frac{F_1}{m_1}, \qquad \ddot{x}_2 = \frac{F_2}{m_2}; \tag{1}$$

2) в случае жесткой связи между точками:

$$\ddot{x}_1 = \ddot{x}_2 = \frac{F_1}{m_1} + \frac{F_2}{m_2}; \tag{2}$$

3) в случае упругой связи между точками:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 &= -\frac{k\Delta x}{m_1} + \frac{F_1}{m_1}; \\ \ddot{x}_2 &= \frac{k\Delta x}{m_2} + \frac{F_2}{m_2}, \end{aligned} \tag{3}$$

где k – коэффициент жесткости пружины;
Δx – деформация пружины.

В реальных колебательных системах [1] присутствует демпфирующее сопротивление. С учетом этого формулы (3) будут иметь вид

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 &= -\frac{r}{m_1}\dot{x}_1 - \frac{k\Delta x}{m_1} + \frac{F_1}{m_1}; \\ \ddot{x}_2 &= -\frac{r}{m_2}\dot{x}_2 - \frac{k\Delta x}{m_2} + \frac{F_2}{m_2}. \end{aligned} \tag{4}$$

Алгоритм определения типа связи между точками

Для определения типа связи между точками необходимо:

1) провести моделирование движения точек;

2) оценить коэффициент жесткости связи k.

Для определения значения коэффициента k использовано быстрое преобразование Фурье (БПФ) [3] разницы координат точек x_1 и x_2 без учета постоянной составляющей:

$$f(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-\frac{j2\pi}{N}mn}, \qquad m = 0, \ldots, N-1, \tag{5}$$

где N – количество компонент разложения;
$x(n)$ – разница измеренных значений в дискретных временных точках n;
$f(m)$ – значение амплитуды спектра $x(n)$ в точках m.

По графику БПФ было найдено максимальное значение амплитуды спектра и соответствующая ему частота f. Значение коэффициента жесткости связи k было вычислено по формуле

$$k_{\text{расчетное}} = \frac{(2\pi \cdot f_{max})^2 \cdot m_1 m_2}{m_2 + m_1}, \tag{6}$$

где $f_{max} = max\{f(m)\}$;
$m = 0, \ldots, N-1$.

Результаты моделирования определения типа связи

В первом случае точки являются свободными, а их траектории движения не зависят друг от друга. При жесткой связи траектории точек совпадают, то есть можно рассматривать их как единую систему. В случае упругой связи траектории также совпадают, но имеют колебательный характер.

Для оценки эффективности алгоритма определения типа связи был проведен анализ траекторий движения точек по горизонтальной оси с допущениями, что силы трения отсутствуют, а пружина и стержень являются невесомыми.

При оценке коэффициента жесткости связи k было выявлено, что в случае, если точки не связаны, k равно 0. При жесткой связь k равно бесконечности. Другие значения коэффициента жесткости соответствуют упругой связи.

Среднеквадратические отклонения (СКО) ошибки определения коэффициента жесткости связи между двумя точками по результатам моделирования представлены на *рисунке 1*.

Из графика, представленного на *рисунке 1*, видно, что при наличии демпфирующего сопротивления связи, значение ошибки определения коэффициента жесткости связи увеличивается.

График зависимости СКО ошибки определения коэффициента жесткости связи от количества зарегистрированных координат точек представлен на *рисунке 2*.

В соответствии с *рисунком 2* для повышения точности определения параметров связи необходимо учитывать большее количество измерений координат.

Заключение

В данной работе рассмотрен алгоритм оценки механических связей между точками объекта для трех вариантов их связей между собой: отсутствие связи, жесткая и упругая связь.

Построена математическая модель связи между двумя точками, проведена оценка коэффициентов жесткости связей и вычислены СКО ошибки определения коэффициента жесткости. Из графика, представленном на *рисунке 1*, видно, что предложенный способ определения коэффициента жесткости связи k обладает высокой

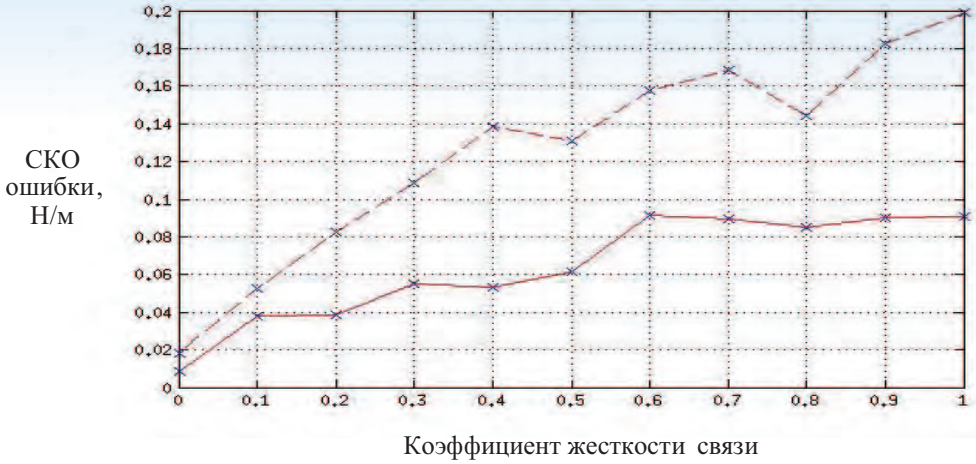


Рис. 1. График СКО ошибки определения коэффициента жесткости связи между двумя точками. Пунктирной линией обозначено СКО при наличии демпфирующего сопротивления связи, а сплошной – при его отсутствии.

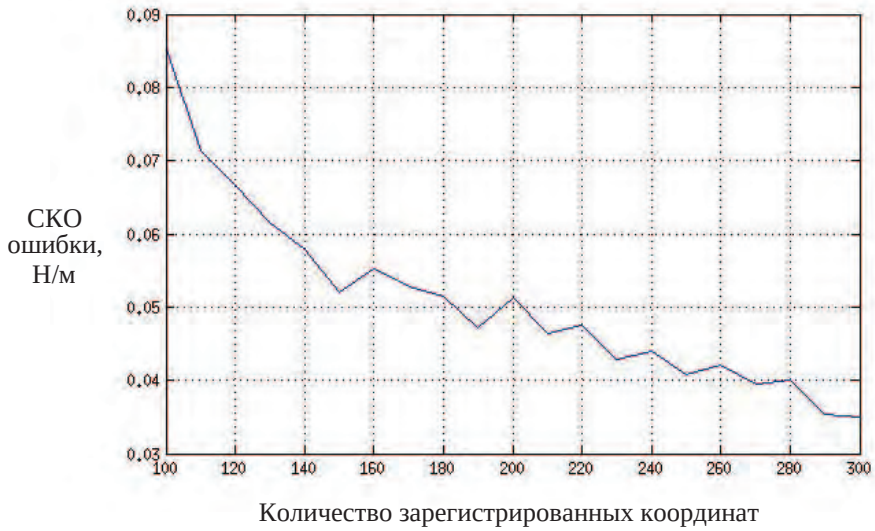


Рис. 2. График зависимости среднеквадратического отклонения ошибки определения коэффициента жесткости связи между двумя точками от количества зарегистрированных координат

точностью. Наличие демпфирующего сопротивления приводит к росту СКО ошибки.

Так как в реальных колебательных системах присутствует демпфирующее сопротивление, его необходимо оценивать для получения лучших результатов и создания методов компенсации потери точности определения типа связи между точками. Также, согласно графику, представленному на *рисунке* 2, для увеличения точности необходимо увеличивать количество измерений координат точек.

В дальнейшем ожидается развитие данной тематики для выявления механических связей между большим числом точек.

Литература

1. Бутиков Е.И. Физика колебаний. Лаборатория компьютерного моделирования. Учебное пособие. СПбГУ.: Санкт-Петербург, 2008. 170 с.

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

3. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. М: ООО «Бином-Пресс», 2006. 140 с.

4. Никитин А.К., Кукин Н.С. Алгоритм блочного выделения морфологических признаков на монохромных изображениях // Известия Института инженерной физики, 2016. №3(41). С. 38-40.

УДК 78.01.85.17.37

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ОТ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

THE TECHNIQUE OF EVALUATION OF THE TIMELINESS OF RECEIPT OF INFORMATION FROM SPACE REMOTE SENSING SYSTEMS

Игорь Владимирович Грудинин
доктор военных наук, профессор
профессор кафедры оперативного искусства и тактики
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7(931)255-30-32
E-mail: giviniv@mail.ru

Алексей Михайлович Зубачёв
кандидат военных наук
заместитель начальника кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7(967)536-33-78 E-mail: alks@mail.ru

Павел Юрьевич Бугайченко
кандидат военных наук
преподаватель кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7(921)408-40-06
E-mail: pavel_bugaichenko@rambler.ru

Аннотация

В статье изложены подходы к оцениванию временных характеристик применения космических систем дистанционного зондирования Земли по заданной области с помощью имитационного моделирования. Представлены результаты вычислительного эксперимента, на основе которых предложены пути повышения оперативности получения информации от космических систем.

Ключевые слова: космическая система, дистанционное зондирование Земли, оперативность получения информации.

Summary

The article describes approaches to the evaluation of temporal characteristics of applying space systems for remote sensing of the Earth by the specified region using simulation. Presents the results of computational experiment on the basis of which the proposed ways of expediting the receipt of information from space systems.

Keywords: space system, remote sensing of the Earth, the speed of obtaining information.

Введение

Одной из основных целей космической политики Российской Федерации является удовлетворение растущих потребностей государственных структур, регионов, а также населения страны в космических средствах и услугах на основе повышения эффективности использования космического пространства для решения задач в экономической, социальной, научной, культурной и других областях деятельности, а также в интересах безопасности страны. При этом федеральной космической программой предусматривается проведение мероприятий по созданию интегрированной космической системы дистанционного зондирования Земли (КС ДЗЗ).

Оперативность получения информации от КС ДЗЗ характеризует интервал времени от начала мониторинга заданной области до предоставления информации об объектах или явлениях потребителю. При этом в современных условиях требования к оперативности получения информации непрерывно возрастают [1], что обуславливает необходимость поиска путей повышения этой характеристики в условиях ограниченности ресурсов.

В качестве основных направлений повышения оперативности получения информации от КС ДЗЗ можно выделить:

- развертывание и наращивание состава орбитальных группировок космических аппаратов (ОГ КА) ДЗЗ;
- совершенствование порядка получения, обработки и обмена информацией наземными пунктами приема космической информации (ППИ);
- повышение тактико-технических характеристик КА ДЗЗ (увеличение полосы обзора, повышение разрешающей способности, совершенствование режимов работы целевой аппаратуры, увеличение количества спектральных диапазонов наблюдения и т.д.).

Для реализации данных направлений актуальной является задача оценивания степени влияния каждого из них на длительность интервала времени от начала мониторинга заданной области до предоставления информации потребителю (далее – время обнаружения), а также обоснование путей повышения оперативности получения информации от КС ДЗЗ по каждому из указанных направлений.

Обоснование исходных данных и средств проведения эксперимента

Решение поставленной задачи предполагает проведение эксперимента по оцениванию влияния на время обнаружения ряда факторов. К таким факторам относятся:

1. *Состав орбитальной группировки ДЗЗ ($N_{КА}$).* Нижней границей изменения фактора являются пять КА ДЗЗ, находящихся на орбите по состоянию на сентябрь 2016 года, а именно «Канопус-В1», «Ресурс-ДК1» «Ресурс-П1», «Ресурс-П2» и «Ресурс-П3». До конца 2017 года планируется вывести на орбиту еще три КА ДЗЗ «Канопус-В», что позволяет принять в качестве верхней границы изменения фактора восемь единиц КА [1].

2. *Интенсивность обработки информации в ППИ (с).* Представляет собой одну из основных характеристик работы ППИ. В настоящее время многие из этих пунктов оборудованы устаревшими приемными станциями и малоразмерными антеннами. Программное обеспечение ППИ позволяет производить первичную обработку информации операторами в течение 30 минут [1, 2]. Поскольку также требуется учесть время на прием информации и доведение ее соответствующему должностному лицу, определим нижнее значение изменения фактора равное 0,0004 1/с, что соответствует 41,6 мин. Верхнюю границу изменения факторов определим в соответствии с перспективами развития инфраструктуры ППИ и сокращения времени на обработку информации [2] в размере 0,0008 1/с, что соответствует 20,8 мин.

3. *Вероятность успешного выполнения разового цикла применения КА ($P_{общ}$).* Главным образом зависит от характеристик целевой аппаратуры КА ДЗЗ. Кроме того, на эту вероятность оказывают существенное влияние гидрометеорологические условия в области, по которой осуществляется ДЗЗ, режимы работы и характеристики надежности бортовой и наземной аппаратуры, а также воздействие иных внешних факторов. Обоснование значений данной вероятности основывается на обработке больших массивов статистических данных по работе различных КА ДЗЗ и представляет собой отдельную научную задачу, не рассматриваемую в рамках данной статьи. Поэтому нижнюю границу изменения факторов зададим директивно в размере 0,7, а верхнюю (для практически идеальных условий применения КА) – в размере 0,99.

Целью эксперимента является построение модели зависимости времени обнаружения от указанных факторов, а также разработка рекомендаций по снижению данного времени.

В качестве средства проведения эксперимента выбрана имитационная модель, предназначенная для оценивания оперативности получения информации от КС ДЗЗ, основу которой со-

ставляет программный модуль, более подробно рассмотренный в работе [3]. Математическую и алгоритмическую основу данного модуля составляют модели, представленные в работах [4, 5].

В качестве исходных данных используются:

а) параметры области, по которой осуществляется применение КС ДЗЗ (географическое положение, а также интервал времени применения КС ДЗЗ);

б) параметры, характеризующие применение КС ДЗЗ:

- параметры движения каждого КА из состава орбитальной группировки (наклонение, относительный эксцентриситет, большая полуось орбиты, аргумент широты перигея, долгота и время выхода на экватор на начальном витке);
- параметры целевой аппаратуры КА (углы отклонения целевой аппаратуры по осям крена и тангажа, угол полураствора бортовой аппаратуры, вероятность разового выполнения цикла применения целевой аппаратуры);

в) параметры, характеризующие появление подвижных объектов в заданной области (начальные широта и долгота, азимут и скорость движения);

г) параметры функционирования пункта приема информации (географическое положение, ограничение на угол места радиотехнических средств приема информации и характеристики обработки полученной информации в ППИ).

Поскольку в состав параметров имитационной модели входят случайные факторы, время обнаружения объекта также является случайным. Следовательно, проведение эксперимента осуществляется в два этапа:

1. Определение закона распределения времени обнаружения.

2. Проведение полного факторного эксперимента и построение математических моделей зависимости параметров распределения времени обнаружения от исследуемых факторов.

Проверка гипотезы о законе распределения времени обнаружения объектов или явлений в заданной области

Гипотеза о виде и параметрах теоретического закона распределения базируется на эмпирических данных, полученных по результатам 500 прогонов имитационной модели. В соответствии с полученными оценками параметров распределения, сделанным по выборке и гистограммой эмпирического распределения (*рисунок 1*), была сформулирована гипотеза: H_0 – время обнаружения объектов или явлений в заданной области имеет распределение Пирсона типа *V*.

Плотность теоретического распределения Пирсона типа *V* рассчитывается по формуле [1]:

$$f(t)=\begin{cases}\dfrac{t^{-(\alpha+1)}e^{-\frac{\beta}{t}}}{\beta^{-\alpha}\Gamma(\alpha)}, & t>0\\ 0, & t\le 0\end{cases}=\begin{cases}\dfrac{t^{-5,95}e^{-\frac{83,91}{t}}}{6,67\cdot 10^{-9}}, & t>0\\ 0, & t\le 0\end{cases}, \qquad (1)$$

где α, β – параметры распределения Пирсона типа *V;* Γ(α) – гамма-функция.

Параметры распределения (1) рассчитаны исходя из соотношений:

$$M_E=\frac{\beta}{\alpha-1}=21,21; \qquad (2)$$

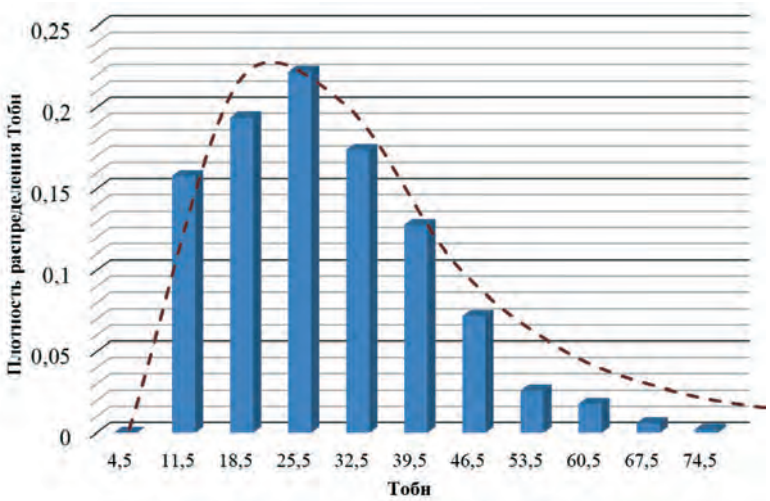


Рис. 1. Гистограмма плотности эмпирического распределения и плотность распределения предполагаемого теоретического закона

$$D_E = \frac{\beta^2}{(\alpha-1)^2(\alpha-2)} = 152{,}24; \qquad (3)$$

где M_E, D_E – выборочные математическое ожидание и дисперсия.

С целью проверки статистической гипотезы используем c^2-критерий Пирсона, в качестве меры расхождения которого используется величина c^2

$$R = \chi^2 = \sum_{i=1}^{m} \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 2{,}61, \qquad (4)$$

где R – обобщенный показатель, имеющий c^2 распределение с k=7 степенями свободы;
ni – число значений эмпирического распределения в i-м интервале;
n – общее количество элементов вариационного ряда;
m – число интервалов гистограммы;
p_i – ожидаемая доля величин, которые попадают в i-й интервал (α_{i-1}; α_i),

$$p_i = \int_{\alpha_{i-1}}^{\alpha_i} \frac{t^{-5{,}95} e^{-\frac{83{,}91}{t}}}{6{,}67 \cdot 10^{-9}} dt.$$

Для доверительной вероятности γ=0,9 критическое значение статистического критерия определяется как $Rкр$=2,83.

Поскольку $Rкр>R$, гипотеза H_0 принимается.

Таким образом, с доверительной вероятностью 0,9 распределение времени обнаружения объектов или явлений в заданной области имеет закон Пирсона типа V.

План эксперимента и обработка результатов

Для построения модели зависимости времени обнаружения от исследуемых факторов проведем полный факторный эксперимент типа 2^k.

Сущность эксперимента заключается в выборе двух уровней (как правило, минимального и максимального значения) каждого фактора и проведении прогонов имитационной модели для каждой из 2^k возможных комбинаций. Исходные данные для проведения эксперимента и кодированные значения факторов приведены в *таблице 1*.

План эксперимента и его результаты приведены в *таблице 2*.

Таблица 1
Исходные данные для эксперимента

Фактор	Минимальное значение фактора (x_i^{min})	Минимальное значение фактора (x_i^{min})	Максимальное значение фактора (x_i^{min})	Максимальное значение фактора (x_i^{min})
$N_{КА}$	5	–1	8	+1
$P_{обн}$	0,7	–1	0,99	+1
$\lambda_{цпи}$	0,0004	–1	0,0008	+1

Таблица 2
План и результаты эксперимента

№ п/п	Факторы			$M(T_{обн})$	Параметры распределения Пирсона типа V	
	$N_{КА}$	$P_{обн}$	$\lambda_{цпи}$		α	β
1	–1	–1	–1	10,55817	5,14017	43,71261
2	–1	–1	1	13,46010	3,64176	35,55831
3	–1	1	–1	13,10994	4,78164	49,57711
4	–1	1	1	4,87173	3,53360	12,343
5	1	–1	–1	21,21652	4,95679	83,9493
6	1	–1	1	5,07471	3,69995	13,70149
7	1	1	–1	27,26757	8,77720	212,0653
8	1	1	1	6,02463	4,17530	19,13

Для обработки результатов эксперимента типа 2^k применяются линейные модели [6], в которых функция отклика имеет вид

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i, \quad (5)$$

где i – номер фактора $i = \overline{1,k}$;
b_0 – свободный член (центр эксперимента);
b_i – главный эффект фактора x_i.

Коэффициенты уравнения (5) определяются по формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^{n} y_i}{n}; \quad (6)$$

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij} y_i}{n}, \quad (7)$$

где y_j – результат j-го эксперимента.

Главные эффекты факторов в модели показывают половину средней величины изменения в отклике при изменении фактора с минимального уровня на максимальный. Знак главного эффекта фактора отражает направление влияния соответствующего фактора на отклик, а его абсолютная величина – степень влияния фактора на отклик. Несмотря на то, что линейные модели имеют существенные погрешности, их применение вполне оправдано для определения направления влияния фактора на отклик и ранжирования факторов по степени влияния на отклик в области, ограниченной минимальным и максимальным значениями факторов. Следовательно, рассмотренная модель может быть использована для достижения цели эксперимента.

Используя соотношения (5)–(7) и результаты эксперимента, приведенные в *таблице 2*, получены следующие модели для параметров распределения времени обнаружения:

$$M(T_{обн}) = 12{,}698 + 2{,}198 \cdot N_{КА} + 0{,}121 \cdot P_{обн} - 5{,}34 \cdot \lambda_{цпи}; \quad (8)$$

$$\alpha = 4{,}838 + 0{,}564009 \cdot N_{КА} + 0{,}479 \cdot P_{обн} - 1{,}0756 \cdot \lambda_{цпи}; \quad (9)$$

$$\beta = 58{,}754 + 23{,}457 \cdot N_{КА} + 14{,}524 \cdot P_{обн} - 38{,}571 \cdot \lambda_{цпи}. \quad (10)$$

Проведенный анализ полученной модели показывает, что единственным фактором, уменьшающим время обнаружения, является интенсивность обработки информации на ППИ. Поскольку главный эффект фактора $\lambda_{цпи}$ максимален по абсолютному значению, то можно сделать вывод о том, что он оказывает наибольшее влияние на исследуемый показатель.

Кроме того, обращают на себя внимание положительные знаки главных эффектов факторов $N_{КА}$ и $P_{обн}$, которые говорят об увеличении времени обнаружения при увеличении количества КА ДЗЗ, входящих в КС, и вероятности успешного выполнения разового цикла применения КА. Анализ функционирования модели показал, что полученные результаты объясняются увеличением потока информации, поступающей на ЦПИ от орбитальной группировки. Для более детального исследования влияния факторов $N_{КА}$ и $P_{обн}$ были построены частные модели экспериментов для фиксированных значений $\lambda_{цпи}$:

$$M(T_{обн}) = 18{,}038 + 6{,}204 \cdot N_{КА} + 2{,}151 \cdot P_{обн} \big|_{\lambda_{цпи}=0{,}0004}; \quad (11)$$

$$M(T_{обн}) = 7{,}36 + 1{,}81 \cdot N_{КА} + 1{,}71 \cdot P_{обн} \big|_{\lambda_{цпи}=0{,}0008}. \quad (12)$$

Анализ моделей (10) и (11) позволяет сделать вывод о том, что увеличение состава орбитальной группировки КА ДЗЗ и вероятности успешного выполнения разового цикла применения КА уменьшает время обнаружения только при высокой интенсивности обработки информации на ППИ.

Таким образом, повышение оперативности применения КС ДЗЗ целесообразно проводить в следующей последовательности:

1. Совершенствование порядка получения, обработки и обмена информацией наземными ППИ;
2. Развертывание и наращивание состава ОГ КА ДЗЗ;
3. Улучшение тактико-технических характеристик КА ДЗЗ (увеличение полосы обзора, повышение разрешающей способности, совершенствование режимов работы целевой аппаратуры, увеличение количества спектральных диапазонов наблюдения и т.д.).

Выполнение первого шага позволяет для текущей модельной ситуации снизить математическое ожидание времени обнаружения на 5,34 ч (42%). Последующее наращивание орбитальной группировки космических аппаратов (ОГ КА) позволит снизить математическое ожидание еще на 1,81 ч (24,6%), а улучшение тактико-технических характеристик КА ДЗЗ – еще на 1,71 ч (23,2%). При этом наращивание ОГ КА и улучшение тактико-технических характеристик дают положительный эффект только в случае совершенствования порядка получения и обмена информацией наземными ППИ.

Заключение

Рассмотренный в статье эксперимент по моделированию применения средств ДЗЗ в заданной области показал, что время обнаружения объектов и явлений в заданной области имеет

распределение Пирсона типа *V*. По результатам эксперимента были построены линейные модели зависимости параметров распределения времени обнаружения от изменения состава КС, порядка приема и обработки информации в ППИ, а также изменения тактико-технических характеристик КА, которые могут быть использованы для аналитического расчета вероятности обнаружения объектов и явлений в заданной области. Результаты эксперимента позволили обосновать пути повышения оперативности применения КС ДЗЗ.

Литература

1. Заичко В.А. Проблемные вопросы целевого применения космических средств ДЗЗ, приема, обработки, хранения и распространения данных ДЗЗ из космоса // XIII Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 года – Москва, ИКИ РАН. – URL http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/files/presentation/2015/ plenar/Zaichko.pdf (дата обращения: 30.12.2015).

2. Носенко Ю.И., Лошкарев П.А. Единая территориально-распределенная информационная система дистанционного зондирования Земли – проблемы, решения, перспективы. Ч. 1 // Геоматика, 2010. №3(8). С. 35-43.

3. Минаков Е.П., Бугайченко П.Ю., Привалов А.Е., Никитин А.А. Программный модуль оценивания эффективности применения средств дистанционного зондирования Земли в заданной области // Материалы конференции военно-научного общества Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского / под общ. ред. Ю. В. Кулешова. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015. С 238-242.

4. Минаков Е.П., Бугайченко П.Ю., Тюрин Р.М. Показатели эффективности и подходы к визуализации результатов комплексного применения авиационных и орбитальных средств дистанционного зондирования // Академические Жуковские чтения. Безопасность полетов. Актуальные вопросы подготовки и ведения операций (боевых действий) в войнах и вооруженных конфликтах: сб. науч. ст. по материалам Всероссийской НПК (20–21 ноября 2013 г.). Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. С.170-176.

5. Минаков Е.П., Бугайченко П.Ю. Модели оценивания эффективности комплексного применения средств информационного обеспечения по вероятностной мере // Перспективы развития РЛС дальнего обнаружения и интегрированных систем и комплексов информационного обеспечения Воздушно-космической обороны: РТИ Системы ВКО-2014: II Всероссийская научно-техн. конф.: сб. материалов. М.: Радиотехника, 2014. С 253–265.

6. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. 3-е изд. СПб.: Питер, 2004. 847 с.

УДК 541.64:621.793.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОМЕДНЕНИЯ ВОЛОКОН ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

PROCESS OF COPPER DEPOSITION ON LAVSAN FIBERS BY CHEMICAL METHODS

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

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

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

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

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

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

Аннотация

Разработан химический метод нанесения тонкого медного покрытия на нити из лавсана, основанный на реакции восстановления солей меди в щелочной среде в присутствии комплексообразователей. В качестве восстановителя использовали борогидрид натрия. Найден недеструктирующий метод предварительной модификации лавсанового волокна путем создания на поверхности нитей полярных групп. Исследовано влияние природы аниона солей меди на процесс металлизации волокна. Выявлено, что наиболее эффективно использование ацетата меди. Методами РФА и РСМА найдено, что образующееся покрытие состоит из чистой меди без примеси окислов или других элементов. Морфологию поверхности омедненных нитей изучали методом РЭМ. Показано, что полученное плотное покрытие состоит из агломератов кристаллов меди размером порядка 500 нм. Металлизированные лавсановые нити имеют высокую электрическую проводимость.

Ключевые слова: лавсановое волокно, химическое меднение, морфология поверхности, растровая электронная микроскопия.

Summary

The chemical method of deposition of copper coating on Lavsan (Dacron) fibers based on the reaction of the copper salts reduction in alkaline media in the presence of complex formation compounds has been developed. Sodium bohrohydride was used as a reducing agent. A non-destructive method of preliminary modification of Lavsan fibers by creation of polar groups on the fila-

ment surface was used. The influence of the nature of copper salts anions on the process of fiber metallization was studied. Processes, where copper acetate was used, were shown to be the most effective ones. With the use of X-Ray diffraction method and microprobe analysis, it was found that coatings obtained consist of pure copper without admixtures of copper oxides or other elements. The morphology of the metallized surface was studied by the method of scanning electron microscopy. The dense copper coating obtained consisted of copper agglomerates about 500 nm in size and had high electrical conductivity.

Keywords: Lavsan (Dacron) fiber, chemical copper plating, surface morphology, scanning electron microscopy.

Введение

Металлизация диэлектриков гальваническими и химическими методами стала применяться в промышленности с середины прошлого века в производстве радиоэлектронных приборов и для декоративного покрытия различных изделий. Имеется целый ряд монографий, посвященных этой теме [1-4]. Были разработаны методы омеднения ряда текстильных материалов [5, 6] и волокон, таких как стекловолокно [7], углеродное волокно [8], хлопковые нити [9] и волокно из базальта [10].

Очевидна потенциальная привлекательность металлизированных изделий из лавсана (полиэтилентерефталат, ПЭТФ) в связи с его прочностью, химической стойкостью и высокой температурой плавления. Электропроводящие материалы на его основе, отличающиеся гибкостью и малым весом, могут уже в ближайшем будущем стать основой для создания электронных приборов следующих поколений. Уже сейчас коммерчески доступна гибкая растягивающаяся пленка из ПЭТФ с покрытиями из меди, серебра и золота, нанесенных напылением. Как сообщается [11], такая пленка с медным покрытием имеет сопротивление порядка 10^{-9} Ом и выдерживает 1000 циклов растяжения без потери проводимости. Высокая светопроницаемость металлизированных тонких пленок из ПЭТФ позволит создавать прозрачные электроды и диоды, излучающие свет. Медь обладает противобактериальным и противовирусным действием, при этом она не имеет свойств, наносящих вред коже. В связи этим, методом напыления производят самостерилизующиеся материалы, убивающие бактерии устойчивые к антибиотикам. Из таких тканей производят антивирусные перчатки и носки, а также фильтры для очистки воды [12].

Тонкие и легкие проводники на основе металлизированных нитей из ПЭТФ могут быть использованы для создания нагревательных элементов для скафандров и водолазных костюмов, а также экранов для поглощения вредных излучений. Отмечается также, что аналогичные материалы могут быть использованы при создании миниатюрных электроприборов для операций на сердце и сосудах [11]. Металлизированные нити с покрытием из серебра производятся в небольших количествах в США. Замена серебра на медь дала бы существенную экономию по стоимости продукта без потери электропроводности.

Экспериментальная часть

В работе использованы нити ПЭТФ (лавсан) производства ОАО Могилевхимволокно (Беларусь), состоящие из большого числа очень тонких нескрученных нитей, марок Текс 93,5, тип 980 (нить А) и Текс 220, тип М980 (нить Б).

Нанесение медного покрытия на короткие отрезки нитей (5–100 см) производили путем восстановления водных растворов солей меди $Cu(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ марки “чда” в присутствии аммиака (аммиак водный марки “осч” и Трилона Б (“хч”). В качестве воссановителя использовали растворы борогидрида натрия и NaOH марки “чда” в дистиллированной воде.

Электрическое сопротивление образцов омедненных нитей измеряли с помощью омметра М57Д.

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили с использованием CuK_α-излучения на дифрактометре ДРОН-3М. Дифрактограммы получали в режиме пошагового сканирования в интервале углов $2q=10^o–80^o$. Морфологию исходных и обработанных волокон исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ). С этой целью использовали сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения с автоэмиссионным катодом JSM 7500F фирмы JEOL (Япония). Исследования проводили в режиме низкоэнергетических истинно-вторичных электронов, так как этот режим обеспечивал наилучшее разрешение. При ускоряющем напряжении 5 кВ, разрешение составляло 1 нм.

Исследования элементного состава поверхности волокон образцов проводили методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА). С этой целью использовали аналитическую приставку к растровому электронному микроско-

пу: энергодисперсионный микроанализатор INCA Penta FET-x3, (OXFORD INSTRUMENTS). Анализатор был оборудован кремний-литиевым детектором с азотным охлаждением, разрешение по углероду составляло 129 эВ. Калибровку детектора проводили, используя металлический кобальт. Методом магнетронного распыления на поверхность нитей наносили тонкий слой платины (порядка 10 нм). Размер зерен платины составлял 5-10 нм. Напыление тонкой пленки платины проводили с двумя целями: исключить разрушение полимерных волокон под действием электронного зонда, а также их зарядку, возникающую в диэлектрике под действием потока первичных электронов.

Препарированные образцы, наклеенные двухсторонним проводящим скотчем на поверхность столика электронного микроскопа, помещали в камеру прибора.

Результаты и их обсуждение

Модификация поверхности лавсановых нитей

Как известно, при металлизации диэлектриков большое значение имеет их предварительная обработка для получения прочного устойчивого покрытия. С этой целью принимают меры для повышения шероховатости материала [12] и увеличения количества полярных групп на его поверхности. При чрезвычайной инертности ПЭТФ по отношению к химическим реагентам активизация поверхности этого полимерного материала является непростой задачей. Для этой цели обычно применяют обработку щелочами при высоких температурах [13], сильными кислотами или окислителями, например, растворами бихромата натрия или перманганата калия [14, 15], а также гидроксилирование перекисью водорода [16], аминирование [17] или обработку ферментами в автоклавах [18]. Во всех перечисленных случаях появление полярных групп на поверхности изделий из лавсана обусловлено деструкцией полимера с образованием по концам цепей групп -OH и -COOH. В наименьшей степени связанное с этим уменьшение молекулярного веса и прочности волокна наблюдается при использовании ферментов, таких как липозим и эстераза. Однако в этом случае требуется удаление непрореагировавшего фермента. В связи с этими недостатками предпринимались попытки модификации поверхности лавсана путем введения полярных групп без разрушения цепи, например, путем введения в полимер монослоев 3-аминопропилтриметоксисилана под действием УФ-излучения [19]. В работе китайских авторов [20] модификацию лавсана осуществляли путем введения слоев хитозана и хондроитинсульфата для получения групп совместимых с клетками эндотелия человека.

В настоящей работе использован недеструктирующий метод введения полярных групп в лавсановое волокно, основанный на реакции альдегидов с ароматическим кольцом ПЭТФ в растворах органических кислот (уксусной, муравьиной, щавелевой) с образованием в цепи полимера химически присоединенных групп -OH [21]. Реакцию проводили в водной среде при комнатной температуре.

Следующей стадией предварительной обработки диэлектриков перед металлизацией обычно является активирование этого процесса путем введения солей драгоценных металлов (в основном $PdCl_2$ совместно со $SnCl_2$ [1], реже $AgNO_3$ [22]. В настоящей работе активирование процесса не проводили.

Омеднение модифицированных лавсановых нитей

Омеднение модифицированных нитей проводили по вышеописанной методике восстановления ацетата меди борогидридаом натрия $NaBH_4$ в щелочной среде при комнатной температуре. После длительного индукционного периода (более 1 ч) голубая окраска Cu^{++} переходит в зелёную и начинается омеднение нити. К концу реакции раствор снова становится голубым, затем бесцветным. Природа этого явления мало изучена. Можно предположить, что изменение окраски раствора связано с образованием комплексов меди различной валентности. В патенте [23] описано несколько методов получения такого раствора зеленого цвета по реакции медной пыли или медных пластин с галогенидами меди в кислой среде в присутствии некоторых ПАВ. Раствор использовали для активации поверхности, помещая в него деталь на короткое время перед омеднением с использованием сульфата меди и формалина в качестве восстановителя.

В случае применения сульфата меди для инициирования реакции восстановления раствор необходимо нагревать до 50°С, а при использовании хлорида меди реакция начинается быстро и протекает полностью за полчаса. При этом обе реакции также проходят через стадию появления зеленой окраски раствора. Однако, в отличие от вышеописанной реакции восстановления ацетата меди на последней стадии реакции образуется коричневая дисперсия меди, вероятно, в виде наночастиц. Описан метод получения наночастиц меди путем восстановления борогидридом натрия комплекса ацетата меди с бипиридином [24].

Качество покрытия оказывается выше при

более медленной реакции восстановления соли в случае применения ацетата меди, что, вероятно, связано с разницей в скоростях между реакцией восстановления и осаждения меди на поверхность нити. При медленной химической реакции осажденная медь образует более крупные и связанные между собой кристаллы, что способствует получению более устойчивого покрытия. Для получения более равномерного покрытия и увеличения толщины слоя нанесенной меди проводили повторное омеднение, которое протекало быстро и без индукционного периода при комнатной температуре. Путем взвешивания удлиненных образцов исходных и омедненных нитей было показано, что осажденная медь составляет около 20% от веса омедненной нити после первого и около 30% после повторного омеднения.

Электрическое сопротивление полученных таким способом отрезков омедненных лавсановых нитей составляло 0,3–1 Ом/см.

Исследование поверхности омедненных волокон ПЭТФ

Методом РФА показано, что полученные покрытия содержат только кристаллы меди без примеси окислов меди или других элементов (*рисунок 1*). Примечательно, что наночастицы синтезированные в аналогичной системе путем восстановления борогидридом натрия комплекса ацетата меди с бипиридином содержат значительное количество CuO [24]. Авторы считают, что окисление наночастиц происходит в процессе их отмывания водой.

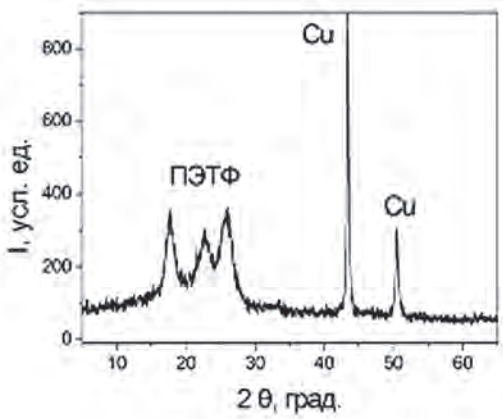


Рис. 1. Дифрактограмма образца металлизированной нити А

Методом РСМА был также определен элементный состав медного покрытия. Было найдено, что поверхность обработанных волокон покрыта пленкой меди толщиной порядка 3-4 мкм.

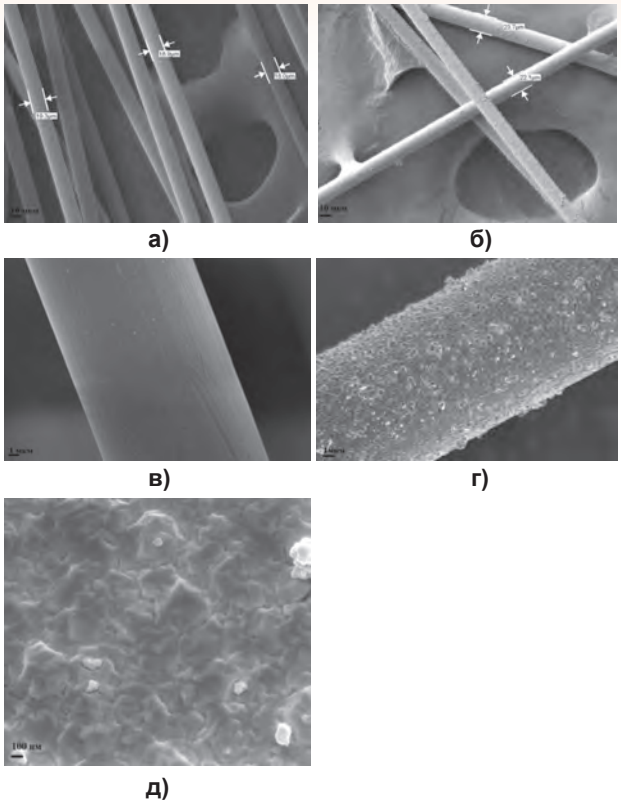
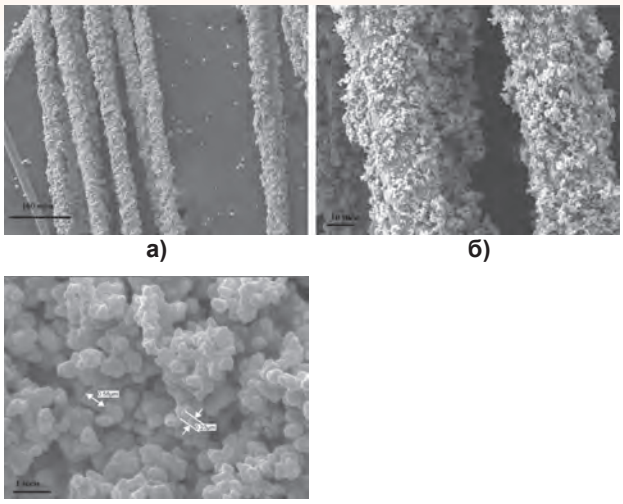


Рис. 2. РЭМ изображения поверхности волокон А. Исходные волокна (а, в), металлизированные путем восстановления ацетата меди (б, г, д).

Результат находится в соответствии с данными РФА, приведенными выше.

На *рисунке 2* представлены РЭМ изображения волокон, формирующих нити ПЭТФ, при малых увеличениях. Видно, что размер поперечного сечения волокон после обработки меняется. Так, для исходного волокна диаметр в среднем составляет 18-20 мкм (*рисунок 2а*), в то время как для волокна покрытого медью – 22-24 мкм (*рисунок 2б*).

Большие увеличения выявляют морфологию покрытия, которая кардинально отличается от таковой для исходных волокон. Если исходные волокна имеют относительно однородную, гладкую поверхность (*рисунок 2в*), то поверхность обработанных волокон является чешуйчатой, волокна как бы окутаны “шубой” (*рисунок 2г*). Чешуйки плотно примыкают друг к другу (*рисунок 2д*). Из полученных микрофотографий следует, что покрытие является равномерным и бездефектным по всей длине волокна (*рисунки 2б, 2г*). При этом на нано-масштабе обнаруживается, что чешуйки представляют собой зерна размером порядка 500 нм, которые плотно срастаются друг с другом, образуя сплошное однородное покрытие (*рисунок 2 д*).



а) б) в)

Рис. 3. РЭМ изображения поверхности волокон А, металлизированных с использованием хлорида меди при различных увеличениях: ×200 (а), ×3000 (б), ×15000 (в)

В отличие от вышеописанного случая омеднения с использованием ацетата меди, при использовании хлорида меди морфология поверхности носит иной характер (*рисунок 3*). Видно, что нанесенная медь представляет собой рыхлый слой (*рисунки 3а, 3б*) состоящий из отдельных кристаллов со средним размером 0.2-0.6 мкм.

Как было отмечено выше, реакция восстановления хлорида меди борогидридом натрия протекает с гораздо большей скоростью, чем в случае использования ацетата меди. Вероятно, к моменту окончания этой реакции кристаллы меди не успевают образовать гладкое прочное покрытие. На необходимость проведения омеднения с малой скоростью было указано ранее [1] при использовании и других восстановителей, таких как формалин или гидразин сульфат.

Таким образом, в работе показана возможность получения тонкого медного покрытия на нитях из лавсанового волокна химическими методами в мягких условиях без применения деструктирующего травления сильными кислотами или щелочами. Исследовано влияние природы исходных солей меди для образования устойчивого электропроводящего покрытия. Методами сканирующей микроскопии показано образование плотного покрытия в виде агломератов кристаллической меди на поверхности исследованных нитей. Разработанный метод может найти применение для получения гибких и легких электрических проводников.

Литература

1. Шалаускас М, Вашкялис А. Химическая металлизация пластмасс. Изд. 3-е. Л.: Химия, 1985.
2. Liepins R. Conductive coatings. Coatings Technology Handbook ed. by Trackton A.A.: CRS Press. 2005.
3. Mittal K.L. Ed. Metallized plastics 7: Fundamental and Applied Aspects. Utrecht, Boston, Tokio: VSP, 2001.
4. Corc C.R. Conducting fibers for electronic textiles from Electronic textiles, Part 1, Ed. By Dias T. Amsterdam: Woodhead Publishing 2015.
5. Petrova M., Georgieva M., Dobreva Ek., Avdeev G. // Bulgarian Chem. Commun. 2012. V. 44. № 1. P. 92.
6. Shuang-Yan Zhang, Guijian Guan, Shan Jiang, Hongchen Guo, Jing Xia, Regulatio M.D., Mingda Wu, Kwok Wei Shah, Zhili Dong, Jie Zhang, Ming-Yang Han // ACS Appl. Mater. Interfaces 2015. V. 7. №38. P. 21545.
7. Jiandong Zuo, Shaojun Chen, Shaojun Luo, Dazhu Chen. // Appl. Surface Sci. 2015. V. 349. P. 319.
8. Yang L., Ye Y., Guo T.L., Huang X.J. // Mater. Sci. Forum 2011. V. 663-665. P. 183-186.
9. Gabbay J. Pat. 5981066 A USA. 1999.
10. Ezhil Vannan S. // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering 2015. V. 3. P. 289.
11. Drack M.,Graz I., Sekitani T., Kaltenbrunner M., Bauer S. // Adv. Mater. 2015. V. 27. № 1. P. 34.
12. Borkow, G., Gabbay J. // The FASEB Journal express article. 2004. Doi: 10.1096/fj.04-2029fje.
13. Tho S.Y., Ibrahim K. // Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering) 2012.V. 59, Suppl. 3, P. 5.
14. Шалаускас М, Вашкялис А. Химическая металлизация пластмасс. Изд. 3-е. Л.: Химия. 1985 С. 34.
15. Favaro S.L., Rubira A.F., Muniz E.C., Radovanovich E. // Polymer Degradation and Stability 2007. V. 92. № 7. P. 1219.
16. Bureau C., Pinson J. Pat. 20080269423 A1 USA. 2008.
17. Drobota M., Gradinaru L.M., Ciobanu C., Vasilescu D.S. // U.P.B. Sci. Bull., Series B 2015. V. 77. №3.
18. Kardas I., Lipp-Symonowicz B., Sztajnovski S. Wojciechovska D. // Autex Research J. 2014. V. 14. №3. P. 179.
19. Howarter J.A., Youngblood J.P. // Macromolecules 2007. V. 40. №4. P. 1128.
20. Liu Y., He T., Gao C. // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 2005. V.46. P. 117.
21. Ma Z. Kotaki M., Yong T., He W., Ramakrishna S. // Biomaterials 2005. V. 26. № 15. P. 2527.
22. Guo R.H., Jiang S.Q., Yuen C.W., Ng M.C.F. // Mater. Electron. 2009. V. 20. P. 33.
23. Nuzzi F.J., Liech E.J., Charm R.W., Polichette J. Pat. 4199623 A USA. 1980.
24. Lastovina T.A., Budnyk A.P., Khaishbashev G.A., Kudryavtsev E.A., Soldatov A.V. // J. Serb. Chem. Soc. 2016. V. 81. №7. P. 751.

УДК 378.6

ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЕ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ КУРСАНТОВ ФВА РВСН

HEALTH CARE COMPETENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS CADETS IN THE BRANCH OF THE MILITARY ACADEMY OF THE STRATEGIC MISSILE FORCES

Денис Викторович Шугалей
преподаватель
начальник медицинской службы
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(929)681-81-36
E-mail: denmsi@mail.ru

Никита Витальевич Паков
курсант
филиал ВА им. Петра Великого
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(999)804-96-11
E-mail: pakov.nikita@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена актуальной проблеме формирования культуры здоровьесбережения курсантов. В ней анализируется влияние здоровьесберегающей культуры на образовательный процесс курсанта. Отражены показатели рациональной организации учебного процесса, психолого-педагогические факторы и культура здоровьесбережения курсантов. Приведен мониторинг состояния здоровья курсантов ФВА РВСН. Выявлены главные задачи для достижения формирования здоровьесберегающей культуры в образовательном процессе. Предложены рекомендации по формированию здоровьесберегающей культуры в системе военного образования и практике воспитательной работы курсантов.

Ключевые слова: здоровьесбережение, охрана здоровья, формирование качеств.

Summary

The article deal with the problem of cadets health saving and forming the proper attitude to physical culture. The authors analyze factors which influence the developing health saving culture of cadets. The article contains the criteria of cadets' competence in the sphere of health saving, the influence of weather conditions upon the increase in morbidity rates, development of health saving competence and ways of sickness prevention. The article gives comparative analysis of health saving competence of conscripts and contracted cadets. The main aim of implementation of principles of health saving competence is outlined here. The authors suggest some recommendations on forming health saving competence in the process of military education.

Keywords: health care competence, health care, developing skills.

Состояние здоровья человека – это его естественный капитал, часть которого является наследственной, а другая – приобретенной в результате усилий самого человека и общества. Поэтому формирование здорового образа жизни – новое направление политики Российской Федерации. В связи с этим система образования не может стоять в стороне от задач, стоящих перед страной и обществом по сохранению здоровья каждого гражданина, а тем более молодого. Образование будет выполнять функцию укрепления здоровья подрастающего поколения в том случае, если здоровью будут не только учить, но здоровье станет образом жизни.

Приобщение курсанта к проблеме сохранения своего здоровья это, прежде всего, процесс

социализации – воспитание. Это создание высокого уровня душевного комфорта, который закладывается с детства на всю жизнь. Для формирования душевного комфорта необходимы знания о законах развития своего организма, его взаимодействии с социальными факторами. Существующая система образования при всей ее научности не учитывает главного: конкретного человека, индивидуальных законов его развития.

Курсанты ВА РВСН всегда востребованы в специальных службах, и очень важно, чтобы в Вооруженные силы приходило духовно и физически здоровое поколение специалистов, ведущих здоровый образ жизни.

Поэтому состояние здоровья курсантов, обучающихся в государственных образовательных учреждениях военного образования, представляет практический интерес для организаторов образовательного процесса.

Задачи для достижения поставленной цели:

- дать гигиеническую характеристику условий обучения — уровня санитарно-эпидемиологического благополучия учреждения и организации образовательно воспитательного процесса ФВА РВСН;
- обосновать содержание профилактических и оздоровительных мероприятий (здоровьесберегающих технологий) в образовательно-воспитательном пространстве филиала, включая совершенствование системы формирования компетентности «здоровьесбережения».

Здоровьесберегающие образовательные технологии. Главный их отличительный признак – не место, где они реализуются, а использование психолого-педагогических приемов, методов, технологий подходов к решению возникающих проблем. Наиболее обобщенной из множества классификаций является выделение 2-х типов здоровьесберегающих технологий организационных – технологии, создающие условия безопасного для здоровья обучения; педагогических – включают все аспекты воздействия педагога на здоровье ученика (воспитанника) – на всех уровнях (информационном, психологическом, биоэнергетическом и т.д.). Системообразующим принципом здоровьесберегающей педагогики выступает приоритет заботы о здоровье учащихся, в рамках которого необходимо выделить такие обязательные условия, как научно-методическую обеспеченность работы, подбор и подготовку педагогических кадров и достаточное финансирование всего проекта

Критерии здоровьесберегающих технологий:

1. Обеспечение мотивации обучения.
2. Построение обучения в соответствии с закономерностями становления психических функций.
3. Обучение с учетом принципов природосообразности, здоровья, целостности, уникальности их личности, безусловной любви и др.
4. Обеспечение прочного запоминания.
5. Обеспечение адекватного восстановления сил.
6. Осознание успешности обучения.

Рассмотрим показатели рациональной организации учебного процесса, использующиеся в образовательном пространстве ФВА РВСН.

1. Рациональное расписание учебных занятий.

При составлении расписания учебная часть филиала учитывает то, что работоспособность во время учебной деятельности курсантов меняется. Вначале она повышается (период врабатывания), затем устанавливается на высоком уровне (период снижения работоспособности и развития утомления). В период снижения работоспособности выделяют 3 зоны: неполной компенсации, конечного порыва, прогрессирующего утомления. Исходя из этого, начало занятия, учебной недели, полугодия, года облегченное, так как продуктивность в это время снижена. По завершении периода врабатывания к курсантам предъявляются уже более высокие требования. В это время проводится изложение нового учебного материала, даются контрольные и проверочные работы. В середине учебной недели (вторник, среда), в середине учебного года планируется наибольший объем учебной нагрузки, в том числе и внеаудиторных занятий.

2. Рациональная организация учебного занятия.

Психолого-педагогические факторы (зависящие в большей степени от преподавателя):

- психологический климат в классах, на занятиях, наличие эмоциональных разрядок;
- стиль педагогического общения преподавателя с курсантами;
- степень владения современными образовательными технологиями и возможности инновационной деятельности преподавателя;
- профессиональная подготовленность преподавателя по вопросам здоровьесберегающих образовательных технологий;
- характер проведения опросов и экзаменов, проблема оценок;
- соответствие используемых образовательных методик и технологий обучения возрастным и функциональным возможностям курсантов;
- степень ограничений в свободе естествен-

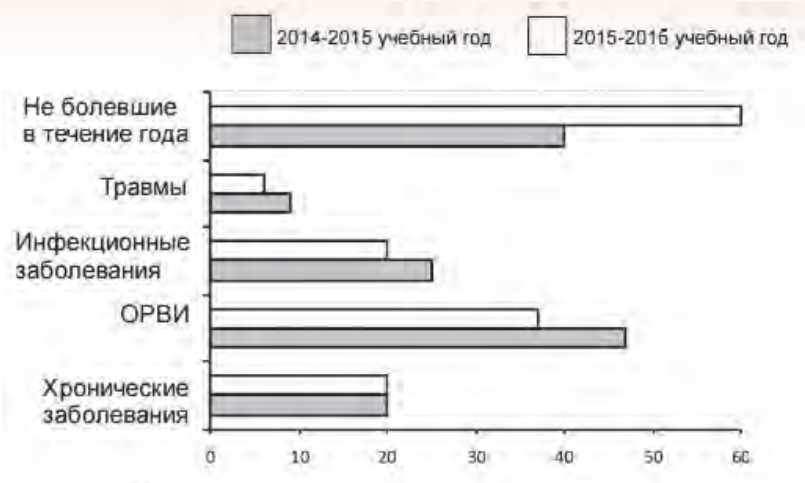


Рис. 1. Мониторинг состояния здоровья курсантов ФВА РВСН

ных телесных, эмоциональных и мыслительных проявлений курсантов на занятиях;

- личностные, психологические особенности преподавателя, его характера, эмоциональных проявлений;
- состояние здоровья преподавателя, его образ жизни и отношение к своему здоровью;
- обремененность преподавателя собственными проблемами.

Подтверждением того, что активное использование здоровьесберегающих технологий снижает утомляемость, перегрузки курсантов, сокращает количество простудных заболеваний и долю хронических заболеваний, является ежегодный мониторинг состояния здоровья курсантов, который отражен в представленной диаграмме (*рисунок 1*):

Преподаватели филиала придерживаются определенных критериев рациональной организации учебного занятия, так как от правильной его организации, уровня гигиенической рациональности во многом зависит функциональное состояние курсанта в процессе учебной деятельности, возможность длительно поддерживать умственную работоспособность на высоком уровне и предупреждать преждевременное наступление утомления, что, в конечном счете, будет способствовать сохранению здоровья обучающихся и профилактике различных заболеваний.

В заключение хочется отметить, что практика использования в обучении здоровьесберегающих технологий ведет к улучшению психологического климата в детских и педагогических коллективах, активно приобщает родителей школьников к работе по укреплению их здоровья. Учебный процесс в филиале способствует формированию здорового образа жизни курсантов. В процессе обучения формируется личность будущего специалиста, обладающая такими развиваемыми качествами как стремление к заботе о своем здоровье, появляется возможность раскрытия оздоровительных возможностей человека, развивается валеологическая активность, то есть курсант овладевает опытом практической деятельности, направленной на оздоровление организма, развитие умения вести здоровый образ жизни, т.к. успешная профессиональная деятельность будущих офицеров зависит, в том числе, от наличия крепкого здоровья. Такой опыт приобретает особую важность с учетом профилактической направленности современной армии.

Литература

1. Директива МО РФ Д-10 от 12 июля 1997 года «О совершенствовании работы по обеспечению безопасности военной службы в ВС РФ».

2. Белкин А.С. Основы возрастной педагогики: учеб. пособие для студентов высш. пед. учеб. заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2000. 192 с.

3. Гершунский Б.С. Философия образования для 21 века М.: АПО, 1998. 543 с.

4. Чепурных Е.Е. Национальная концепция охраны здоровья в системе образования // Магистр, 1999. №3. С. 3-13.

5. Руководство по медицинскому обеспечению ВСРФ.

6. Шугалей Д.В., Паков Н.В. Формирование культуры здоровьесбережения курсантов военных вузов, факторы влияющие на сохранение их культуры здоровьесбережения // Известия Института инженерной физики, 2016. №4(42). С. 95-99.

УДК 378.1

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА

FORMATION OF COMPETENCIES OF MANAGERIAL STAFF

Александр Владимирович Смирнов
кандидат военных наук
доцент кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(926)810-97-23
E-mail: verhovoy11@rambler.ru

Аннотация
В статье рассматриваются теоретические и практические положения компетентностного подхода в области подготовки специалистов-управленцев.
Ключевые слова: компетентность, компетенция, знания, умения, навыки, специалист-управленец.

Summary
The article deals with theoretical and practical position the competency approach in training-managers.
Keywords: competence, competence, knowledge, skills, specialist manager.

Тема формирования компетенций и уровня компетентности в любой деятельности - образовательной, научной, профессионально-технической или бытовой, не является новой, хотя понятия «компетенция» и «компетентность» устойчиво закрепились в системе образования относительно недавно. Проблематика этого явления возникает периодически на разных уровнях. Интерес к исследованию компетентностного подхода вызван, прежде всего, реформой системы образования. Очевидно, что сущность компетентностного подхода должна ориентироваться на конкретные условия и деловую практику, образующие в итоге систему устойчивых знаний. Знания всегда были результатом и целью любого образовательного процесса. Никто не будет оспаривать тот факт, что знания без умений и навыков бессмысленны, умения без знаний невозможны, также как и навыки. Зачем же тогда противопоставлять «знаниевую парадигму» компетентностному подходу, как это просматривается в работах некоторых отечественных и зарубежных исследователей? Очевидно, что в этом нет никакого смысла. Компетентность нельзя приобрести без знаний, без умений и навыков, потому что это и есть ее составляющие.

Компетентный специалист-управленец может сформироваться исключительно на основе знаний полученных им в разных сферах жизни и деятельности. Нет знаний – нет компетентностного специалиста.

Компетентность, как уровень постижения компетенций можно выразить следующим образом:

$$К = f\ (З, У, Н), \qquad (1)$$

где К – компетентность специалиста- управленца, как результирующая функция зависящая от следующих переменных:
З – знания;
У – умения;
Н – навыки.

Каждая из переменных этой функции в свою очередь тоже является функцией. Например, функцию «знания» можно выразить как:

$$З = f\ (К, С/К, И/Т), \qquad (2)$$

где З – знания;
К – когнитивные способности личности;

С/К – социально-коммуникативная предрасположенность личности;
И/Т – информационно-технологические возможности внешней среды.

Часть составляющих данной функции является природными возможностями индивидума, как, например, способность воспринимать, оценивать окружающее и формировать представления о нем, развивающие социальные знания и оценки. Нельзя «вложить» кому-то знания или «навязать» их без имеющихся к этому предрасположенностей и желаний.

Функция умений:

$$У = f\ (С/К, СО, О, К, З), \qquad (3)$$

где У – умения;
С/К – социально-коммуникативная предрасположенность личности;
СО – социальный опыт, т.е. профессиональные и жизненные установки, ценности и традиции;
О – обучаемость и восприимчивость;
К – креативность;
З – знания.

Знания есть функция умений постигать, познавать и накапливать, а умения есть функция накопленной информации, возможной к управленческому использованию. Важно то, что без знаний невозможны умения. Умение проектировать организационную структуру управления современных организаций может быть основано только лишь на знании этих структур, их отличий, технологий создания и возможных последствий их функционирования. Следовательно, знания определяют и упреждают результаты *умений. Знания – залог успешной реализации применения умений*.

Следующий функциональный сегмент управленческих компетентностей – навыки. Стоит отметить, что это не менее сложная функция, чем предыдущие и ее факторные признаки взаимосвязаны со многими из тех, которые приведены выше. Наряду с этим, навыки управленческой компетентности еще зависят и от двух других переменных.

Они могут быть формализованы в виде следующей функции:

$$Н = f(З, У, СО, ПС, СУ), \qquad (4)$$

где Н – навыки;
З – знания;
У – умения;
СО – социальный опыт, т.е. профессиональные и жизненные установки, ценности и традиции;
ПС – профессиональная стабильность;
СУ – социальная устойчивость.

Профессиональная стабильность может быть охарактеризована как устойчивое во времени и пространстве подтверждение работником своих профессиональных умений. Эта переменная величина прямым образом влияет на качество навыков в современных динамичных средах, выдвигающих новые требования к управленцам. Устойчивость умений работника в области избранной профессии и сферы деятельности - свидетельство реального профессионализма и, следовательно, успешной деятельности.

Компетентностные навыки, кроме перечисленных факторов, определяются и социальной устойчивостью, т.е. умением профессионала-управленца адекватно реагировать на внешние негативные воздействия, способные повлиять на качество профессиональных навыков и эффективность управленческих решений.

Практика компетентностного подхода определяет необходимость выделения следующих проблемных вопросов в этом направлении:

1. Есть ли разница в формировании и реализации компетентностного подхода при подготовке и переподготовки управленческих кадров?

2. Второй вопрос следует из первого - что нужно понимать под подготовкой и переподготовкой специалистов в сфере управления?

3. Можно ли в настоящий момент говорить о готовности преподавательского корпуса к тому, чтобы в полной мере формировать практические управленческие компетенции нового качества у специалистов, являющихся объектами переподготовки и подготовки?

4. Должны ли быть унифицированными или дифференцированными планы переподготовки в области управления для различного рода специалистов.

5. Насколько унифицированными или дифференцированными должны быть требования (квалификационные характеристики) к преподавателям и их управленческие компетенции с компетенциями, которые прописаны в стандартах подготовки и переподготовки, а также в учебных программах дисциплин учебных планов?

6. Насколько соответствуют реально существующие формы и методы повышения квалификации профессорско-преподавательского состава задачам реализации компетентностного подхода в подготовке новой управленческой формации?

Современный управленец - это прежде всего специалист с универсальным образованием, получивший соответствующую подготовку в области экономики, управления, права, деловой культуры, лингвистических и компьютерных технологий. Но можно ли квалифицировать мо-

лодого специалиста как нового руководителя, руководителя-экономиста, руководителя-психолога, т.е. вообще, как профессионального руководителя? Видимо, для этого нужны следующие условия, как предваряющие его поступление в вуз, так и сопровождающие его обучение в вузе. Это:

– наличие более совершенной системы отбора потенциальных управленцев в системе общеобразовательных учреждений, а также и среди обучающихся других средних специальных и высших учебных заведений;

– такая система отбора должна быть основана на вполне конкретных формализованных критериях и системах оценки потенциала возможных будущих лидеров-управленцев (начальников);

– нужны максимально сегментированные из всего многообразия учебно-методических и регламентирующих документов, те из них, которые действительно направлены на развитие объективно имеющихся лидерских предрасположенностей, базовых знаний и креативности у людей, которые потенциально могут быть управленцами;

– общество должно располагать условиями для развития имеющихся лидерских навыков у молодых людей пришедших в систему управления, для воспитания у них самостоятельности и ответственности.

Литература

1. Морозевич А.Н., Шрубенко А.Г. Методология компетентностного подхода. Минск: Проблемы управления, 2010. №2.

2. Морозевич А.Н., Петрович М.В. Теория и практика компетентностного подхода в образовательной управленческой деятельности. Минск: Экономика и управление, 2010. №12. С. 109-118.

УДК 614.275: 338.984

О МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ НАПРАВЛЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ В МОУ «ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ»

ABOUT BIOMEDICAL RESEARCH IN THE PRODUCTION DIRECTION AT THE INSTITUTE OF ENGINEERING PHYSICS

Алексей Николаевич Царьков
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
Президент – Председатель Правления Института МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская область, г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: tsarkov@iifmail.ru

Евгений Ильич Маевский
доктор медицинских наук, профессор
начальник управления МОУ «ИИФ»
заместитель директора института – заведующий лабораторией Энергетики биологических систем ФГБУ науки «Институт теоретической и экспериментальной биофизики» РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(916)147-11-10 E-mail: eim11@mail.ru

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

Ирина Владимировна Седова
кандидат педагогических наук
заместитель начальника управления МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: siv-305@iifmail.ru

Аннотация
Статья посвящена обзору основных направлений исследовательской и производственной деятельности МОУ «ИИФ» в области медико-биологических исследований в настоящее время, в среднесрочной перспективе и в ходе дальнейшего их развития.
Ключевые слова: исследования, фармацевтика, медицина, лекарственные препараты, производство, медицинские изделия, продукция, технологии, качество.

Summary
The main directions of research and production activities of «The Institute of Engineering Physics» in the sphere of biomedical research at present, in the medium term and in further are concentrated in this article.
Keywords: research, pharmaceuticals, medicine, drugs, production, medical products, products, technology, quality.

Выделение новой самостоятельной структурной единицы – управления медико-биологических исследований знаменовало собой значительное расширение интересов и поля научно-исследовательской и производственной деятельности МОУ «Институт инженерной физики» (МОУ «ИИФ»). Важнейшая отличительная черта, определившая цель и траекторию развития медико-биологических исследований, заключается в ориентации на отечественные разработки и инновации в области фармацевтики, медицинских изделий и новой медицинской техники. Детальное профессиональное изучение состояния дел в этих областях свидетельствует о том, что насаждаемое СМИ и рядом «ответственных» организаций представления о безнадежной от-

сталости в России научной мысли и наукоемких технологий по всем направлениям во многом не соответствует действительности. Для коллектива нашего Института стало уже привычным опровергать делом подобные представления. Этому способствуют не только уверенность в собственных силах и убежденность в том, что достижения искусства, науки, технологии не являются чей-то государственной или национальной привилегией, а реальное наличие значительного задела и буквально инновационных протуберанцев ни где-то там вдалеке, а здесь, у себя, в собственных руках.

Главным в развитии принятого в Институте целеустремления стало внимательное отношение к отечественным разработкам и опыту, критически оцениваемым с позиций современных мировых достижений. И дело здесь не сводится к пресловутому, хотя и остро необходимому, импортозамещению, а в выявлении наличия действительно достойных поддержки перспективных направлений в медико-биологических научных исследованиях и технологиях. На основе такого подхода удалось понять необходимость, изыскать возможность и главное получить реальные основания для реализации медико-биологического направления в Институте.

Одним из наиболее сложных вопросов проектирования медико-биологического производства стал отбор препаратов и изделий, на которые хватит сил, знаний, материальных и человеческих ресурсов. Упорная работа, не без ошибок и сбоев, предшествовала определению первых практических целей медико-биологических исследований, которые могут быть материализованы в продукции, планируемой для изготовления на создаваемом при Институте новом производственном комплексе. При формировании перечня будущей продукции выбор строился на основе анализа острой и устойчивой потребности здравоохранения в будущей продукции и многократном проведении натурных испытаний реализуемости в производственных условиях принятых к рассмотрению предложений.

Среди лекарственных средств в настоящее время на первый план вышли препараты, обладающие иммунокорректорными свойствами, а также препараты и изделия на основе перфторуглеродных газопереносящих сред. Выбор этих видов препаратов стал возможным благодаря созданию полноценного маломасштабного фармацевтического производства, оснащенного в соответствии с современными требованиями, что обеспечило его успешную государственную регистрацию. На нем уже созданы и апробированы технологии изготовления лиофильных форм двух видов лекарственных средств. Имеющееся на производстве оснащение при доукомплектовании позволит разработать, апробировать и подготовить к масштабированию технологии получения не только лиофилизованных препаратов, но и широкой линейки жидких форм на основе газопереносящих сред.

Остановимся на основных характеристиках и показаниях для этих препаратов.

Очевидно, первенцем будет лекарственное средство в виде лиофилизированной формы производного аминофталгидразида. Этот препарат относится к группе низкомолекулярных иммуномодуляторов, полученных с помощью направленного химического синтеза. Его прямыми предшественниками являются отечественные лекарственные средства «Тамерит» (в настоящее время в России не производится) и «Галавит» (регистрационный номер Р N000088/02 от 02.06.2010).

Препарат предназначен для лечения вторичного иммунодефицита, предотвращения прогрессирования очаговой и общей инфекции. Он способствует мобилизации всех звеньев иммунной системы: моноцитов/макрофагов, нейтрофильных лейкоцитов, Т- и В-лимфоцитов, иммуноглобулинов, интерферона. Одновременно препарат обладает выраженным противовоспалительным действием и обеспечивает активацию процессов регенерации поврежденных тканей. Это достигается, очевидно, за счет подавления киллерной активности гиперактивированных микро- и макрофагов, что приводит к уменьшению размеров раневого очага. Важным компонентом эффекта препарата является уменьшение интенсивности окислительного стресса и его повреждающего действия. Ускорение заживления ран и активация процессов регенерации сопровождаются более ранней нормализацией температуры, уменьшением болевого синдрома, быстрым восстановлением качества жизни: нормализуются аппетит, сон, настроение, общая активность и работоспособность. Ожидается облегчение течения хронических патологических процессов и частичное восстановление эндокринных функций, в частности при сахарном диабете и гипогонадизме.

Кроме того велика вероятность проявления детоксицирующего действия препарата, что позволит приостановить процесс старения, омолаживая клетки организма.

Второй препарат – нейротропный иммуномодулятор, получаемый путем синтеза природного нонапептида, изготавливаемый также в виде лиофилизированной лекарственной формы. Его прямым предшественником является отече-

ственное лекарственное средство «Дельтаран».

Наш препарат предназначен для лечения и профилактики нарушений памяти, нейроаллергических состояний, невротических и связанных со стрессом расстройств, психоэмоционального переутомления, нарушений сна, динамических и органических расстройств кровообращения. Препарат способствует ускорению восстановления при астении (психическом и соматическом истощении), в частности, после острых и хронических заболеваний. Благодаря выраженному адаптогенному действию он увеличивает устойчивость организма к влиянию различных неблагоприятных факторов, характеризуется антидепрессивным действием, нормализует сон, проявляет антитоксические свойства, повышает умственную и физическую работоспособность, способствует нормализации иммунных реакций организма.

Этот нейропептид уменьшает риск развития кардиоваскуляторных нарушений при стенокардии и в постинфарктном состоянии, предотвращает многие виды динамических расстройств мозгового кровообращения. Снижает первичную патологическую тягу к алкоголю и наркотическим веществам, облегчает устранение проявлений абстинентного синдрома. Исходя из фармакокинетики препарата, можно ожидать геропротекторное действие нейропептида, что даст сохранение высокого уровня работоспособности при старении.

Разработана концепция препаратов на основе перфторуглеродов и эмульсий перфторуглеродов (усовершенствованной нами ранее выпускавшейся только в нашей стране так называемой «голубой крови»). Исследования и работы в этом направлении обеспечены устойчивым стратегическим партнерством МОУ «ИИФ» и ФГБУН «Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук» (ИТЭБ РАН). На территории ИТЭБ РАН в рамках сотрудничества по заказу МОУ «ИИФ» создан отдельный производственный участок с «чистой зоной», оснащенной уникальным оборудованием, позволяющим реализовать не имеющую аналогов технологию изготовления наноэмульсий перфторуглеродов.

Препараты, получаемые на этапах этой технологии и в результате полного технологического цикла, имеют самое разнообразное предназначение. От возмещения массивной кровопотери, лечения широкого круга заболеваний сосудов и нарушений кровотока, тяжелой черепно-мозговой травмы и переохлаждения, до ускоренного заживления хронических инфицированных ран, язв, ожогов, отморожений и трофических повреждений ткани. На базе этой технологии разработан совместно с ФГБУН «Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук» (ИНЭОС РАН) и ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ им. М.В. Ломоносова) регламент получения диагностических средств для ЯМР диагностики. Выступая как Индустриальный партнер, МОУ «ИИФ» принял активное участие в разработках с МГУ им. М.В. Ломоносова по теме «Фторуглеродные соединения в биомедицинских исследованиях in vivo с применением мультиядерной МРТ визуализации».

В настоящее время освоена технология изготовления медицинской основы для лекарственной и декоративной «кислородной» косметики. Одним из новых направлений совместных с РАН исследований являются работы по созданию на основе эмульсий перфторуглеродов нового типа матрикса как изделия, которое имеет перспективы использования в биотехнологии и в лечении различных повреждений биологических тканей.

Технологический комплекс, созданный на средства МОУ «ИИФ», в виде «чистой зоны» на базе ИТЭБ РАН и фармацевтического производственного участка собственно в Институте, позволяет приступить в ближайшее время к выпуску первых пробных партий медицинского изделия на основе перфторуглеродов для хирургической офтальмологии. По качеству это изделие существенно превосходит зарубежные аналоги. При том, что стоимость нашего изделия вдвое ниже, чем у импортируемого.

Значительные усилия были предприняты для реализации силами сотрудников МОУ «ИИФ» и ИТЭБ РАН нового актопротектора – средства, повышающего работоспособность и скорость восстановления после экстремальных по интенсивности физических и психо-эмоциональных нагрузок. Одним из замечательных свойств созданного актопротектора является обеспечение мягкой отмены на его фоне различного вида анаболических и иных допингов без существенного падения работоспособности и без развития депрессии. При этом сам актопротектор не может быть причислен к допингам, так как содержит только природные включающиеся в энергетический обмен вещества. Новый актопротектор получил в ноябре 2016 года государственную регистрацию в виде биологически активной добавки, которая изготавливается на производственной базе в Санкт-Петербурге. В настоящее время ведутся исследования по созданию на основе БАД лекарственного средства.

Более двух лет продолжались подготовительные работы по выбору устройства и разработке программного обеспечения для прецизионной медицинской диагностики с помощью высокочувствительной портативной тепловизионной техники. Эти исследования также проводятся совместно с сотрудниками ИТЭБ РАН. В настоящее время исследования вышли на этап НИОКР. Новая разработка предназначена для реализации программ неинвазивной диагностики и оценки эффективности лечения различных поражений сосудов конечностей, для ранней диагностики ряда заболеваний молочной железы, а также для массового сканирования людей с целью выявления острых респираторных заболеваний.

На повестке дня продвижение двух весьма значимых разработок медицинской техники, реализованных нами в действующих макетах и устройствах. Среди них генератор низкотемпературной газовой плазмы, предназначенный для стерилизации, дезинфекции и регуляции процессов регенерации поврежденных тканей, магнитотрон, позволяющий создавать практически когерентные комбинированные магнитные поля с заданными характеристиками, резонансными биологически активным элементам клеток человека, животных и растений.

Существенным, крайне важным звеном в развитии медико-биологических исследований и технологий стало успешное развитие и интенсивная работа в этом году отдела контроля качества.

Перед медико-биологическим управлением стоят многопараметрические задачи в развернутых исследованиях, по совершенствованию и доведению до высоких требований современных ГОСТов системы обеспечения и контроля качества, технологического оснащения существующих производственных участков, по участию в проектных работах создаваемого при Институте производственного комплекса.

Гарантией реализуемости планов является уникальный кадровый состав медико-биологического управления, где каждый сотрудник добросовестно выполняет несколько сопряженных функций, в ряде случаев выходящих далеко за рамки должностных обязанностей, и постоянно участвует в обучении и повышении квалификации. Развитие исследований и производственной базы медико-биологического направления не были бы возможны без постоянного внимания, поддержки и достаточно жесткого контроля со стороны руководства МОУ «ИИФ».

Представленный краткий обзор, естественно, не дает полного описания состояния дел, но позволяет считать ближайшей перспективой начало внедрения новых наукоемких разработок в области медико-биологических исследований в интересах национальной безопасности России.

AUTHORS

Vladimir S. Altukhov. Postgraduate student. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Alexander A. Bambiza. Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Sergey A. Bekreniov. Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Sergey B. Berkovich. Dr.Sci.Tech., professor. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Sergey V. Bespalov. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Head of the Resource support Department. National Research Nuclear University, MEPhI. Moscow, Kashirskoe h., 31.

Pavel Y. Bugaichenko. Candidate of military sciences. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Alexey A. Bukhtiyarov. Software engenieer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Irina O. Glotova. Student. Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow, Bolshaya Semionovskaya st., 38.

Vadim G. Gribunin. Dr.Sci.Tech. Chief researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Igor V. Grudinin. Doctor of military sciences, professor. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Igor A. Ignatenko. Senior Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Denis O. Kapustkin. Software engenieer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Alan K. Karaev. Dr.Sci.Tech., professor. Senior scientist. Financial University under the Government of the Russian Federation. Moscow, Leningradsky prospekt, 49.

Yulia S. Kholina. Software engenieer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Anna N. Khrustaleva. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Nikolay I. Kotov. Cand.Tech.Sci., professor. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Nikolay S. Kukin. Cand.Tech.Sci. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Mikhail A. Lapkin. Head of the laboratory. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Eugeniy I. Maevskiy. Dr.Sci.Tech., professor. Vice-director for research. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Alexander Y. Makhaev. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Gennadiy A. Martyniuk. Cand.Tech.Sci. Senior lecturer. Chief of department. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Vasiliy O. Melikhov. Cand.Tech.Sci., docent. Federal state scientific institution "Gosmetodcentr". Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Yuriy M. Monakhov. Cand.Tech.Sci., associate professor. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Vladimir I. Mukhin. Honoured scientist of Russia, Doctor of military sciences, professor. Civil Defence Academy, EMERCOM of Russia. Moscow reg., Khimki, Novogorsk.

Anna R. Muradova. Student. Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI). Moscow, Bolshaya Semionovskaya st., 38.

Boris I. Nakhmanovich. Candidate of chemical sciences, Senior scientist. Institute of Physical Chemistry of the name L.Y. Karpov. Moscow, Vorontsovo Pole st., 10.

Andrey K. Nikitin. Software engenieer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Igor A. Obynochny. Chief officer courses. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Nikita V. Pakov. Military student. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Natalia I. Pakuro. Candidate of chemical sciences, Senior scientist. Institute of Physical Chemistry of the name L.Y. Karpov. Moscow, Vorontsovo Pole st., 10.

AUTHORS

Anatoly V. Rybakov. Dr.Sci.Tech., docent. Head of laboratory. Civil Defence Academy, EMERCOM of Russia. Moscow reg., Khimki, Novogorsk.

Lioudmila F. Rybakova. Candidate of chemical sciences, senior scientist. Institute of Physical Chemistry of the name L.Y. Karpov. Moscow, Vorontsovo Pole st., 10.

Irina V. Sedova. Candidate of pedagogical sciences, senior scientist. Institute of Engineering Physics. Bolshoy Udarny l., 1a.

Pavel A. Semionov. Candidate of physical and mathematical sciences, professor. National Research Nuclear University, MEPhI. Moscow, Kashirskoe h., 31.

Denis V. Shugaley. Lecturer. Chief medical officer. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Piotr F. Sitnikov. Dr.Sci.Tech., professor. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Vladimir P. Sitnikov. Lead scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Anatoliy N. Sizov. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Alexander V. Smirnov. Candidate of military sciences, associate professor. The Branch of the military academy of the strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Dmitriy V. Smirnov. Dr.Sci.Tech., associate professor. General director – First Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Sergey V. Smurov. Dr.Sci.Tech., professor. Deputy director general. General designer. Sizov N. Anatoliy

Pavel E. Starodubtsev. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Alexey N. Tzar'kov. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Gennadiy F. Utrobin. Dr.Sci.Tech., professor. Military academy of the strategic missile forces. Moscow reg., Balashikha, Karbysheva st., 8.

Alexander V. Vasilenko. Cand.Tech.Sci. Head of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Alexander N. Vasiliev. Doctor of physical and mathematical sciences, professor. National Research Nuclear University, MEPhI. Moscow, Kashirskoe h., 31.

Ruslan R. Vil'danov. Civil Defence Academy, EMERCOM of Russia. Moscow reg., Khimki, Novogorsk.

Anna M. Vlasova. Master student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Gennadiy G. Volkov. Doctor of physical and mathematical sciences, professor. The Petersburg Nuclear Physics Institute. Leningrad Oblast, Gatchina, Orlova roshcha, 1.

Alexey M. Zubachiov. Candidate of military sciences. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ: ОСНОВНЫЕ ИТОГИ 2016 ГОДА

В МОУ «ИИФ» по основным направлениям деятельности – навигации и геодезическому обеспечению, медицине, АСУ и связи, физико-энергетическим системам, защите информации и другим заметен стабильный рост. Увеличилось количество абонентов мультисервисной сети МОУ «ИИФ». Благодаря плодотворной работе УТКУ постоянно улучшается качество услуг. Увеличивается количество клиентов и расширяется спектр услуг, предоставляемых УТОиСН: это системы видеонаблюдения, охранно-пожарной сигнализации, ГЛОНАСС/GPS-мониторинг и другие.

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

Институт стал активным участником крупных Международных выставок – «Армия», «Комплексная безопасность», «INTERPOLITEX», «День передовых технологий и инноваций в системе МЧС России», «СПЕЦ-экипировка» и многих других, в ходе которых сделаны доклады об инновационных разработках Института министру обороны С.К. Шойгу, заместителю Председателя Правительства РФ Д.О. Рогозину, министру МЧС В.А. Пучкову, заместителям министра обороны, другим руководителям силовых министерств и ведомств. Ученые Института активно участвовали и выступали с докладами на научно-практических конференциях, круглых столах, форумах.

Министр обороны РФ наградил медалями «За достижения в области развития инновационных технологий» Президента Института – Председателя Правления Института А.Н. Царькова и Советника Президента Института В.А. Грачева «За значительный вклад в осуществление инновационной деятельности, технологическое сопровождение прорывных и высокорискованных исследований и разработок в области обороны».

Генеральный директор – Первый Вице-президент Института Д.В. Смирнов стал победителем российского конкурса «Менеджер года». Победу во Всероссийском конкурсе «Инженер года» одержали главный инженер Ю.В. Котов, инженер-программист А.К. Никитин, старший инженер-дефектоскопист В.А. Сторожишин. Лауреатом премии Губернатора Московской области в сфере науки и инноваций для молодых ученых и специалистов стал старший научный сотрудник Р.Н. Садеков, лауреатом премии Губернатора «Наше Подмосковье» – начальник отдела планирования НИОКР А.А. Коробков. Вице-президент Института А.Г. Мурашов был награжден дипломом за активное участие в мероприятиях форума «Армия-2016», начальник отдела информационных проектов А.В. Шестаков – удостоен диплома «За лучшую инновационную разработку». Почетными грамотами «За заслуги в развитии связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, многолетний добросовестный труд» награждены начальник УТКУ А.М. Александров и старший научный сотрудник М.И. Глебова. Благодарственными письмами «За заслуги в развитии связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, многолетний добросовестный труд» награждены начальник монтажно-эксплуатационного отдела Е.В. Достовалов и научный сотрудник Д.А. Кожурякин.

Профессиональный, сплоченный коллектив позволяет МОУ «ИИФ» достигать весомых результатов, успехов в деле укрепления обороноспособности страны. Институту есть чем гордиться, есть к чему стремиться, и коллектив с оптимизмом смотрит в будущее!

РАЗРАБОТКИ МОУ «ИИФ» – ДЛЯ АРКТИКИ

МОУ «ИИФ» выступил одним из инициаторов, организаторов и активных участников рабочего совещания «Вопросы технического оснащения медицинской службы Арктической группировки ВС РФ» под руководством начальника главного военно-медицинского управления МО РФ, которое стало логическим продолжением круглых столов, посвященных медицинскому оснащению ВС РФ, проходивших на Международных форумах «Армия» в 2015 и 2016 годах. Совещание проводилось с целью выработки предложений по плану выполнения и форме проведения НИР и ОКР, направленных на дальнейшее совершенствование технического оснащения медицинской службы Арктической группировки ВС РФ.

Вице-президент МОУ «ИИФ» А.Г. Мурашов выступил с докладом «Разработка систем жизнеобеспечения и оказания медицинской помощи в условиях низких температур окружающей среды». Участники совещания могли ознакомиться с опытными образцами экипировки водолазного и сухопутного снаряжения, эвакуационного термомешка, системы для перелива инфузионных растворов в полевых условиях (капельница), оснащенных системами локального обогрева.

ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются статьи на русском языке. Рекомендуемый объем статьи – 0,2–0,4 п.л. (8000–16000 знаков).

Тексты должны быть представлены:

❍ в электронном виде (Word 2003). Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!

❍ на бумажном носителе формата А4.

Текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

Простые символы и формулы не набирать в математическом редакторе!

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:

❍ рубрика журнала (см. *Приложение 1*);

❍ УДК;

❍ название статьи с переводом на английский язык;

❍ имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (**Литература**) размещается в конце статьи.

После литературы помещаются:

❍ список ключевых слов, краткая аннотация (на русском и английском языках).

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):

❍ ФИО;

❍ ученая степень, ученое звание, должность и место работы с переводом на английский язык;

❍ адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

Обращаем особое внимание на:

❍ точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);

❍ выверенность статьи в компьютерном наборе;

❍ полное соответствие файла на электронном носителе (диске, дискете) и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

Приложение 1

РУБРИКАЦИЯ ЖУРНАЛА «Известия Института инженерной физики»

Постоянные рубрики

- **Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы.**
- **Радиотехника и связь.**
- **Информатика, вычислительная техника и управление.**

Разовые рубрики

- **Техника специального назначения.**
- **Инновационные проекты.**
- **Техническое регулирование.**
- **Профессиональное образование.**
- **Искусственный интеллект и робототехника.**
- **Медицина и фармацевтика.**
- **Диагностические системы.**
- **Научные обзоры. Научные рецензии. Отзывы.**

В соответствии с Решением Межведомственной комиссии РФ по защите государственной тайны №69 от 26 февраля 2001 г., требованиями законов №5485-1 «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г., №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27 июля 2006 г. статьи для публикации принимаются только при наличии экспертного заключения с разрешением на открытое опубликование.

INTERREGIONAL PUBLIC INSTITUTION
"INSTITUTE OF ENGINEERING PHYSICS"
(SCIENTIFIC, EDUCATIONAL AND INDUSTRIAL INSTITUTION)

CONTENTS

INSTRUMENT MAKING, METROLOGY AND INFORMATION–MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

S.B. Berkovich, N.I. Kotov, A.Y. Makhaev, G.A. Martynyuk, M.V. Lapkin, A.N. Khrustaleva. Evaluation of the effectiveness of options for building integrated systems navigation, guidance and targeting in the conditions of interference of a special kind 2

A.Y. Makhaev, A.S. Bambiza. Analysis conditions of high-precision azimuthal orientation of satellite geodetic equipment 15

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATIONS

Y.M. Monakhov, A.M. Vlasova. Experimental study of the performance index of the router in a protected telecommunications network 20

P.A. Semionov, N.S. Kukin, A.N. Vasiliev, S.V. Smurov, A.A. Bukhtiyarov, D.O. Kapustkin, I.O. Glotova, A.R. Muradova, A.K. Nikitin. Rabi oscillations on diamond qubits by using a green laser 25

S.A. Bekreniov. Approaches to solving the problem of finding the optimal parameters of the frame synchronization subsystem of a radio network in the meter range with moving objects in the implementation of time-division multiplexing procedure 31

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

G.F. Utrobin, I.A. Obynochny. Automated diagnostics of quality system implementation of education programs in the Department 34

A.V. Vasilenko, I.A. Ignatenko. UBA-analysts task used to improve the information security of automated system 38

S.V. Bespalov, V.O. Melikhov. Information component of the monitoring system for science–industrial complex of science cities 42

G.G. Volkov, N.S. Kukin, I.O. Glotova, A.R. Muradova, Y.S. Kholina. Geometry and symmetry in the quantization of atomic systems 48

V.I. Mukhin, A.V. Rybakov, R.R. Vil'danov. Estimated valuation models damaging effects of air shock waves from conventional weapons 58

V.S. Altukhov, N.A. Sizov. Methods of identifying the program code based on signature analysis 64

P.E. Starodubtsev, D.V. Smirnov. The construction of a multi-level protection of corporate information system using deceptive techniques 68

V.G. Gribunin, D.V. Smirnov. The reproducibility of extraction of cryptographic keys of fuzzy image 72

N.S. Kukin, I.O. Glotova. A method for estimation of the connection type between points object of the image 77

I.V. Grudinin, A.M. Zubachiov, P.Y. Bugaichenko. The technique of evaluation of the timeliness of receipt of information from space remote sensing systems ..80

INNOVATIVE PROJECTS

V.P. Sitnikov, A.K. Karaev, P.F. Sitnikov, N.I. Pakuro, L.F. Rybakova, B.I. Nakhmanovich. Process of copper deposition on lavsan fibers by chemical methods 86

PROFESSIONAL EDUCATION

D.V. Shugaley, N.V. Pakov. Health care competence in the educational process cadets in The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces 91

A.V. Smirnov. Formation of competencies of managerial staff 94

SCIENTIFIC REVIEWS. SCIENTIFIC CRITIQUE. COMMENTS

A.N. Tzar'kov, S.V. Smurov, E.I. Maevskiy, I.V. Sedova. About biomedical research in the production direction at The Institute of Engineering Physics 97

Authors 101

Events 103

Requirements to authors 104