№ 3 +0
2019 [53]

научно-технический журнал

Известия

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ НА МЕЖДУНАРОДНОМ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОМ ФОРУМЕ "АРМИЯ-2019"

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

В НОМЕРЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО–ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

2 **Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В.**
Наблюдение универсальной системы утраивающихся периодов в экспериментах с генераторами периодических колебаний

8 **Порядин А.Ю., Аксёнов В.Е., Пискулин Е.В.**
Алгоритм оптимизации режима измерений при проведении комплексной предстартовой калибровки акселерометров

12 **Захаров В.Л., Ядренкин А.А.**
К вопросу решения задачи фильтрации помех в информационных оптико-электронных средствах

16 **Захаров В.Л., Сергеев В.А.**
Методика определения плана проведения натурных испытаний автономных систем управления

20 **Коржук Н.Л., Кулешов В.В.**
Математическая модель преобразования аналоговой информации в цифровой код в измерительной системе

22 **Гордеев Г.А., Попов В.В., Пономарёва А.С., Котов Д.Ю.**
Вычислительное моделирование испытаний изделий радиоэлектронной аппаратуры в вакуумной камере

28 **Моисеев К.А.**
Методика поэтапной разработки математических моделей динамической взаимосвязанной оболочечно-балочной системы

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

33 **Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Зеленевский А.В., Шмырин Е.В., Дурнов А.С.**
Методика оценки помехоустойчивости системы передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных при воздействии гауссова шума и импульсных помех

38 **Перунов Ю.М., Дмитриев В.Г., Куприянов А.И.**
Анализ методов и технических решений систем функционального поражения РЭС

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

43 **Крехов Е.В., Крехов В.Е., Крехов И.В., Турбал Р.А.**
Обеспечение целостности унитарного кода компьютера с жёсткой логикой для удовлетворения требованиям унитарного преобразования над кубитами квантового компьютера

48 **Синицын С.В., Пискулин Е.В.**
Упрощенный алгоритм масштабирования акселерометра

52 **Кукин Н.С.**
Построение систем идентификации на базе алгоритма оптимального извлечение информации из оптических физически неклонируемых функций

56 **Кукин Н.С., Корчевая И.О.**
Выявление связей между точками по серии изображений

59 **Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н.**
Методология оценки качества проектов на основе содержательного анализа полученных результатов

66 **Ананьев А.В., Гончаренко В.И., Рыбалко А.Г.**
Рациональное распределение огневого воздействия свободнопадающих неуправляемых контейнеров беспилотных летательных аппаратов на основе теории рисков

73 **Волков Г.Г., Масликов А.А., Смуров С.В., Царьков А.Н.**
От геральдового запутывания к безусловной телепортации

82 **Аляева Ю.В., Артамонов Ю.Н., Беспалов С.В., Карулин В.П.**
Информационно-аналитический инструментарий экспертной оценки критериев стимулирования инновационного развития в сфере образовательной, научной и научно-технической деятельности в субъектах Российской Федерации

89 **Пантелеев А.В.**
Применение методов «роевого» интеллекта в задачах оптимального в среднем управления нелинейными динамическими системами

94 **Майструк А.В., Ногин Р.О., Юлдашев А.Ю.**
Математическая модель оценки эффективности разведывательных и поисково-спасательных операций с применением летательных аппаратов

101 **Никитин А.К., Хижняк Л.Н.**
Термографические гистограммы на основе опорных контуров в медицинских инфракрасных изображениях

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

104 **Рачков Б.М., Курочка В.К.**
Портативная полевая повязка для наложения на рану на поле боя

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

108 **Вахрова Л.Г.**
Подход к адаптивному управлению освоением грамматики иностранного языка студентами технического университета

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

111 **Воронина Е.П.**
Эколого-социо-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации: драйверы экологизации

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ

118 **Емелин Н.М.**
Новый Перечень рецензируемых изданий вышел – что же дальше?

121 **AUTHORS**

123 **ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ**

124 **ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ**

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ Института инженерной физики

№3 (53) 2019

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

ISSN 2073-8110

Включен в «Перечень ВАК» по научным специальностям:
05.11.16. Информационно-измерительные и управляющие системы
05.12.13. Системы, сети и устройства телекоммуникаций
05.13.01. Системный анализ, управление и обработка информации
05.13.19. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

Главный редактор, председатель редакционного совета и редакционной коллегии

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

Редакционный совет

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

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

Николай Михайлович Емелин
главный научный сотрудник ФГБНУ «Госметодцентр», заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор

Валерий Иванович Николаев
научный референт ОАО «Концерн «Созвездие», лауреат Государственной премии СССР, лауреат премии Правительства РФ, доктор технических наук, профессор

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

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

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

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

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

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

научно-технический журнал
Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
№ 3 (53)
2019

Редакционная коллегия

Олег Николаевич Андрух
почетный работник науки и техники РФ, кандидат технических наук, доцент

Борис Фёдорович Безродный
доктор технических наук, профессор

Сергей Борисович Беркович
почетный геодезист РФ
доктор технических наук, профессор

Владимир Эрнестович Бородай
лауреат Государственной премии СССР, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Игорь Александрович Бугаков
заслуженный изобретатель РФ, почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Вадим Геннадьевич Грибунин
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук

Сергей Григорьевич Данилюк
доктор технических наук, профессор

Владимир Владимирович Зеленевский
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Николай Николаевич Казаков
член Союза писателей России
выпускающий редактор

Олег Павлович Кузнецов
кандидат технических наук, доцент

Александр Ильич Куприянов
доктор технических наук, профессор

Анатолий Викторович Мазин
доктор технических наук, доцент

Алексей Сергеевич Марков
доктор технических наук, старший научный сотрудник

Дмитрий Геннадьевич Митрофанов
заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор

Роман Леонидович Мусатов
кандидат технических наук
заместитель главного редактора

Игорь Николаевич Оков
доктор технических наук, профессор

Владимир Петрович Пашинцев
заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор

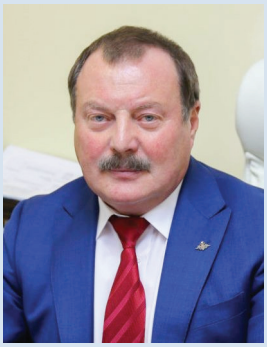
Дмитрий Вячеславович Смирнов
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, доцент

Сергей Владимирович Смуров
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Валерий Николаевич Умников
доктор технических наук, профессор

Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Сергей Николаевич Шиманов
почетный работник высшего профессионального образования РФ, почетный радист РФ, доктор технических наук, профессор



Александр Григорьевич Мурашов

Вице-президент
Межрегионального
общественного учреждения
«Институт инженерной физики»

Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

С 25 по 30 июня 2019 года МОУ «ИИФ» примет участие в V юбилейном Международном военно-техническом форуме «Армия-2019», который традиционно пройдет в Конгрессно-выставочном центре Военно-патриотического парка культуры и отдыха ВС РФ «Патриот».

Начиная с выставки «День инноваций Министерства обороны Российской Федерации», проведенной в августе 2013 года, наш Институт является активным участником и официальным партнером всех важнейших конгрессно-выставочных мероприятий МО РФ, в ходе которых экспонируются инновационные изделия Института и укрепляются связи сотрудничества с органами военного управления.

На предшествующих форумах «Армия» МОУ «ИИФ» был представлен и вызвал большую заинтересованность у специалистов и посетителей ряд разработок специального и двойного назначения, в том числе: системы единого комплекса астрономо-геодезического, навигационного и геоинформационного обеспечения ракетных комплексов стационарного и мобильного базирования; автоматическая система определения астрономического азимута; автономные системы электрообогрева человека в условиях экстремально низких температур окружающей среды, в том числе костюмы электрообогрева личного состава различных специальностей, эвакуационный термомешок и термоодеяло; средства аппаратного сопряжения современных комплексов автоматизации управления с парком унаследованных радиосредств узлов связи; экспериментально-испытательный стенд моделирования радиолиний спутниковой и тропосферной связи; модем помехоустойчивой адаптивной декаметровой связи; автономные устройства пожаротушения «Огнеборец» и «ФортисСенкор», предназначенные для автоматического тушения возгораний в замкнутых объемах; комплексы технических средств охраны территорий и объектов «Ловец»; перспективные полифункциональные лекарственные препараты, биодобавки и инновационные средства личной гигиены. Представленные МОУ «ИИФ» разработки, в том числе навигационные системы, костюмы электрообогрева, эвакуационный термомешок приняты на снабжение ВС РФ.

Впервые в рамках научно-деловой программы Форума под руководством Председателя Комитета Госдумы по обороне В.А.Шаманова и при организующей роли Института будет проведено заседание межведомственной рабочей группы Экспертного совета Комитета по рассмотрению вопросов совершенствования топогеодезического и навигационного обеспечения, в ходе которого планируется выработать основы построения перспективной структуры системы управления обороной и безопасностью государства.

«Армия-2019» – это уникальная возможность продемонстрировать первым лицам государства, представителям МО РФ, отечественным специалистам и зарубежным партнерам образцы продукции Института, инновационные разработки и новые технические решения. Форум – это установление деловых контактов, поиск новых партнеров и заказчиков и, что особенно важно, изучение мнения лиц, принимающих решения по ключевым вопросам разработки, производства и внедрения Институтом перспективных образцов вооружения и военной техники в интересах ВС РФ и повышения обороноспособности России.

УДК: 621.373.13; 004.31; 004.312; 53.023

НАБЛЮДЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УТРАИВАЮЩИХСЯ ПЕРИОДОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ГЕНЕРАТОРАМИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ*

OBSERVATION OF A UNIVERSAL SYSTEM OF TRIPLING PERIODS IN EXPERIMENTS WITH GENERATORS OF PERIODIC OSCILLATIONS

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

Вадим Николаевич Лесных
младший научный сотрудник
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-94-64
E-mail: 1253vadim@mail.ru

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

Аннотация

Работа посвящена исследованию универсальной системы утраивающихся периодов, мультимасштабный дискретный спектр которой уже подробно исследован на большой базе литературных данных. Оказалось, что множество систем самой различной природы показывает доминирование периодов $T_{k;m}=P_0*3^k/2^m$, где $P_0=114{,}6$ лет, а k и m – небольшие целые числа. Результат этого феноменологического обобщения мы подтверждаем экспериментально, тестируя различные генераторы периодических электрических колебаний в окрестности периода 1 сек.

Ключевые слова: утроение периода, универсальная система утраивающихся периодов, генератор периодических колебаний.

Summary

The work is devoted to the study of a universal period-tripling system, the multiscale discrete spectrum of which is studied in detail on a large database of literary data. It turned out that the set of systems of very different nature shows the dominance of periods $T_{k;m}=P_0*3^k/2^m$, where $P_0=114{,}6$ years, and k and m are small integers. We confirm the result of this phenomenological generalization experimentally by testing various generators of periodic electric oscillations in the vicinity of one sec period.

Keywords: tripling periods, universal period-tripling system, the generator of periodic oscillations .

Универсальная система утраивающихся периодов (УСУП) описывается формулой

$$T_{k;m}=P_0*3^k/2^m;$$

где $P_0=114{,}57$ лет;
$k=-51\div 15$;
$m\sim -10\div +10$.

Сначала УСУП была обнаружена по литературным данным в диапазоне периодов от 50 лет до 1,64 млрд. лет в результатах измерений астрономических, геофизических и биологических явлений [1], затем мы на примерах биологических и технических систем показали доми-

* Работа выполнена по госзаданию ИЭТБ РАН, № госрегистрации 01201351298.

нирование периодов этой системы также в области периодов вплоть до 10^{-15} сек [2-6].

Хотя и не совпадает в некоторых моментах, но идейно стоит достаточно близко корпус исследований [7-15], выполненных Х.Мюллером.

Существование УСУП можно подтвердить экспериментально посредством различных технических устройств, функционирующих циклически в самых разных масштабах времени. По сути, все эти устройства являются часами, поэтому описание УСУП есть описание особенностей согласования периодических процессов, происходящих в различных масштабах времени, другими словами, согласования хода часов в разных масштабах времени. Возможность сведения УСУП к традиционной теории колебаний, в том числе к часам как автоколебательным системам [16, 17] остается пока под вопросом. Здесь ощущается нужда в большом массиве собственных экспериментальных данных.

Проведя поначалу ряд опытов с релаксационными генераторами и получив положительные результаты, мы перешли к тестированию более подходящего для наших целей RC-генератора периодических колебаний, построенного на базе микросхемы К531ГГ1 (или ее прообраза SN74S124), см. *рисунок 1*.

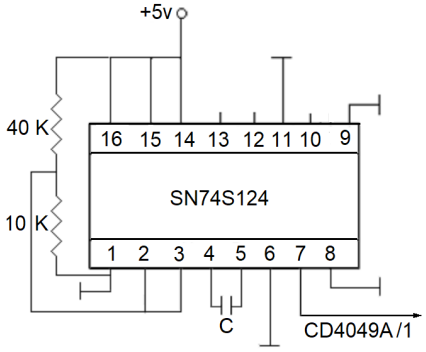


Рис. 1. Ядро принципиальной схемы RC-генератора периодических колебаний. Для того, чтобы начальный период генератора попадал в область околосекундных периодов, емкость C выбиралась из широкой окрестности 1000 μF

При измерениях сигнал подавался в форме коротких импульсов с выхода генератора на звуковую карту компьютера и оцифровывался написанной в среде МАТЛАБ программой, настроенной на обнаружение этих импульсов, на накопление результатов измерений межимпульсных интервалов и на периодическую запись в файл на диск компьютера с указанием в имени файла момента времени этой записи. За основу была выбрана выложенная в Интернет в свободное пользование программа geiger.m [18]; в процессе приспособления к эксперименту она была соответствующим образом модифицирована.

Звуковая карта обеспечивала частоту сэмплинга 44100 Гц; измерения производили с полуминутным интервалом, за этот период времени приходило несколько импульсов.

Перед испытаниями генератора была выполнена проверка стабильности работы всей измерительной системы. С этой целью генератор подменили стабильным кварцевым генератором и поделили его частоту так, что полученный период оказался близким к 3 сек. Применение тестируемой измерительной системы показало, что смоделированный период изменяется не более чем на 10^{-6}. При сканировании же медленно изменяющегося периода некварцованного генератора измеренные значения то стабилизировались на уровне пятой значащей цифры, то колебались в третьей. Это след наводки от электрической сети, проявляющийся при медленном сканировании изучаемого диапазона периодов; в результате в период между двумя последовательными импульсами генератора релаксационных колебаний попадает разное количество волн наводки от сети 50 Гц. Погрешность измерения в третьей значащей цифре не повлияла на выводы нашей статьи; основные результаты получены после усреднения по большому числу измерений.

В качестве фактора, обеспечивающего сканирование периода, мы поначалу использовали медленно изменяющуюся в течение суток температуру воздуха в лаборатории. Затем мы стали демпфировать ее воздействие на период генератора путем размещения генератора в комнате без окон и при необходимости дополнительно помещали его в теплоизолирующий кожух. В дальнейшем мы стали использовать 12-разрядный ЦАП микроконтроллера Ардуино Дуе для подачи на К531ГГ1/2 напряжения, управляющего значением периода.

Наблюдаемый на *рисунках 2-3* многонедельный дрейф периода – это следствие осеннего падения температуры в лаборатории, а периодические волны отражают суточный цикл температуры. Выбросы – следствие своеобразного резонанса генерируемой частоты с частотами УСУП.

На *рисунках 2-3* приведены результаты последовательного мониторинга периода одного и того же RC-генератора. В окрестностях моментов пересечения уровней УСУП наблюдаются аномалии в форме выбросов.

Получается, что, с одной стороны, наблюдается тяготение к уровням УСУП, а с другой очевидно избегание этих уровней в виде выбросов. Эту ситуацию разъясняют *рисунки 4-6*, где в

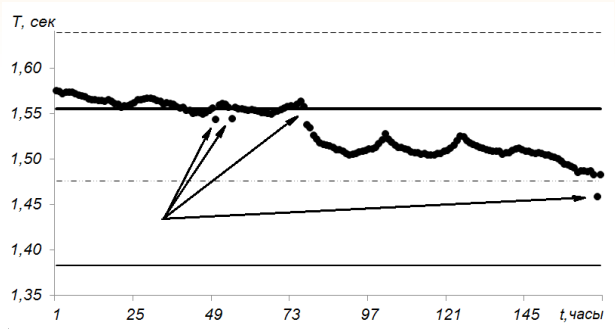


Рис. 2. Серия аномальных выбросов в результатах среднечасовых измерений периода RC-генератора в окрестностях периодов УСУП $T_{-19;1}$ (1,555 сек) и $T_{-14;9}$ (1,477 сек). Моменты возникновения аномалий коррелируют с моментами совпадения дрейфующего периода RC-генератора с уровнями УСУП

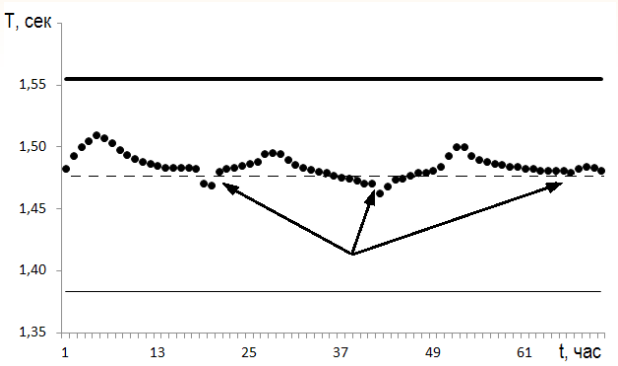


Рис. 3. Продолжение опыта *рисунка 2*. Зона аномальных значений периода (выбросов) сместилась теперь в окрестность уровня $T_{-14;9}$=1,477 сек

несколько усовершенствованном эксперименте (при демпфировании суточного, но не сезонного изменения температуры) показано возникновение долгоживущего состояния в близкой окрестности уровня УСУП, то есть фактически наличие запрета на более тесное приближение к дискретному уровню. При этом в узкой окрестности значения $T_{k;m}$ наблюдается скачкообразное преодоление «запрещенных значений периода».

На *рисунках 5, 6а-6б* иллюстрируются воспроизводимость и высокое разрешение результатов измерений, достигнутые после модификации методики эксперимента – уточненного выбора величины стартового периода RC-генератора посредством 12-разрядного цифро-аналогового преобразователя Arduino Due. При этом на К531ГГ1/2 подавали выходное напряжение ЦАП, и на К531ГГ1/3 – напряжение питания.

Преодоление уровней $T_{k,m}$ может совершаться дискретными скачками, спровоцированными различными внешними обстоятельствами. В частности, в опыте, представленном на *рисунке 5*, скачок от m=0 к m=8 случился в момент возникновения искры при отключении от сети 220 вольт блока питания одного из приборов, расположенных в этой комнате. В отсутствие же подобных внешних возмущений это типичная ситуация возможности долгого и надежного наблюдения уровня УСУП (а на самом деле значения, близкого к этому уровню, но отличающегося от него, судя по *рисунку 6*, на ±0.3%). Мы предполагаем, что многократное повторение аналогичной ситуации в разных астрономических, геофизических и биологических явлениях

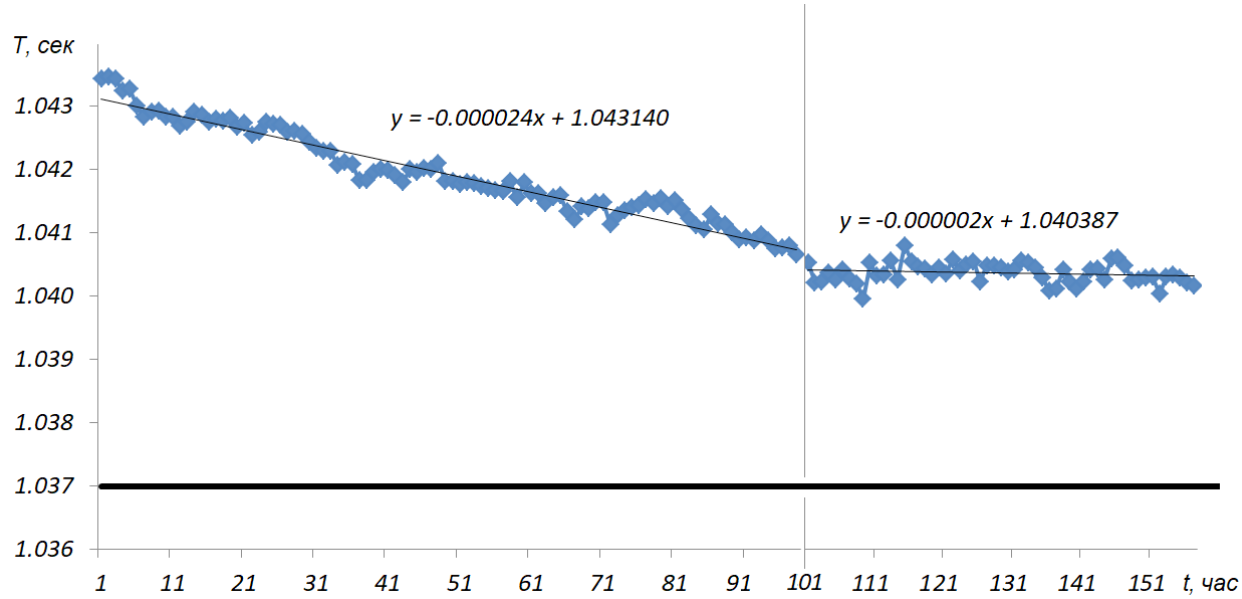


Рис. 4. Результат околонедельного пассивного мониторинга периода RC-генератора в близкой окрестности $T_{-20;0}$=1.037 сек

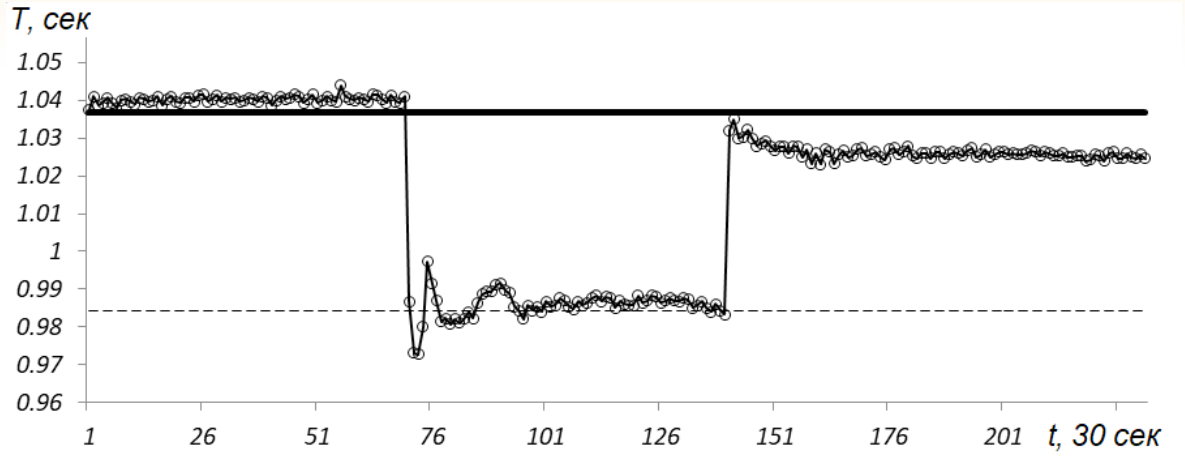


Рис. 5. Одиночный выброс – обратимый дискретный переход между соседними уровнями УСУП в дальнейшем ходе многосуточного мониторинга, представленного на *рисунке 4*

и в разных масштабах времени могло привести к возникновению феномена УСУП.

Первый дискретный переход на *рисунке 5* произошел из окрестности высоковероятного состояния $T_{-20;0}$ (с $m=0$) в близкую окрестность соседнего, несколько менее вероятного состояния $T_{-15;8}$ (с $m=8$), где колебательная система затем пребывала около получаса. В близкой окрестности состояния $T_{-20;0}$ (имея период около 1,040 сек, см. плато на *рисунке 5*) она к моменту скачка находилась уже более двух суток. Обращают на себя внимание затухающие переколебания вокруг нижнего уровня.

При более совершенном демпфировании

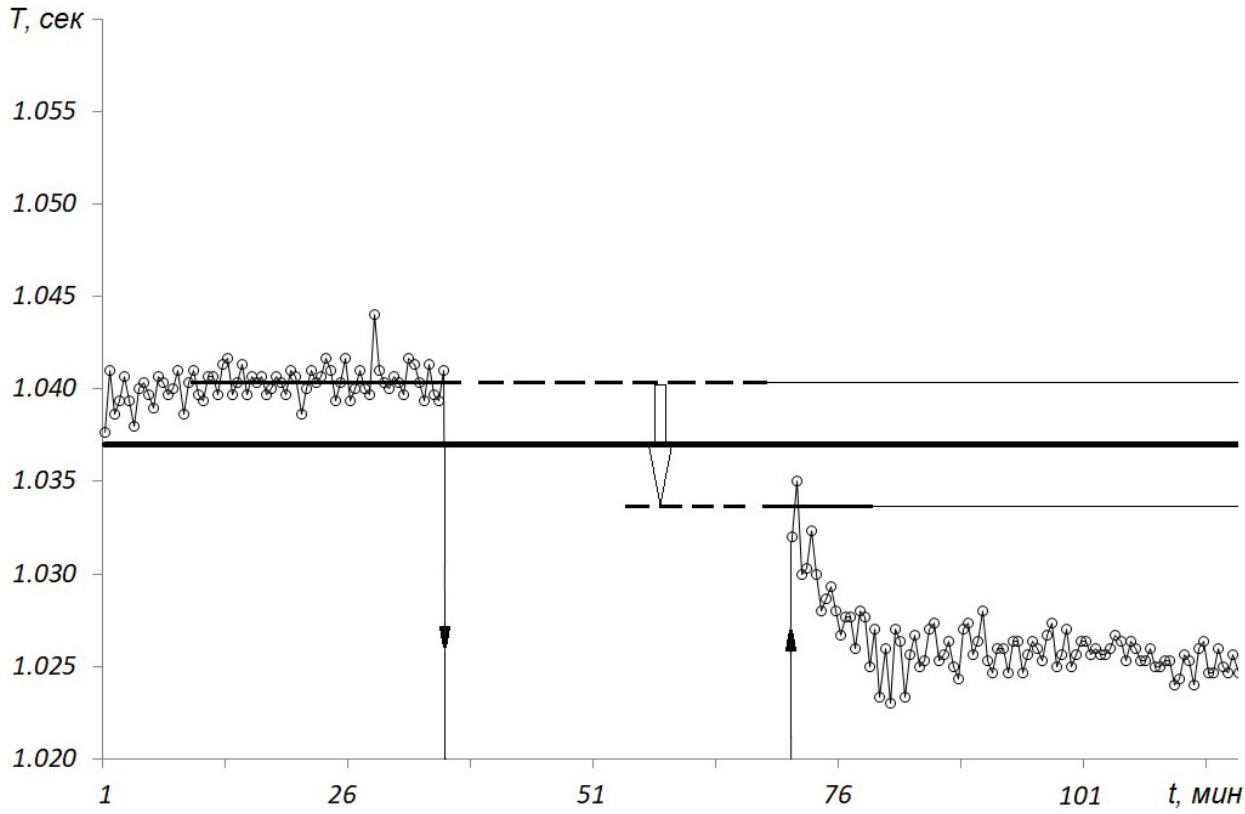


Рис. 6а. Фрагмент *рисунка 5* в окрестности периода 1,037 сек при большем увеличении по вертикали. В узкой окрестности этого периода УСУП расположена симметричная область (±0.3%), выглядящая, как область некоего репеллера, т.е. область «запрещенных значений периода» тестируемого RC-генератора периодических колебаний

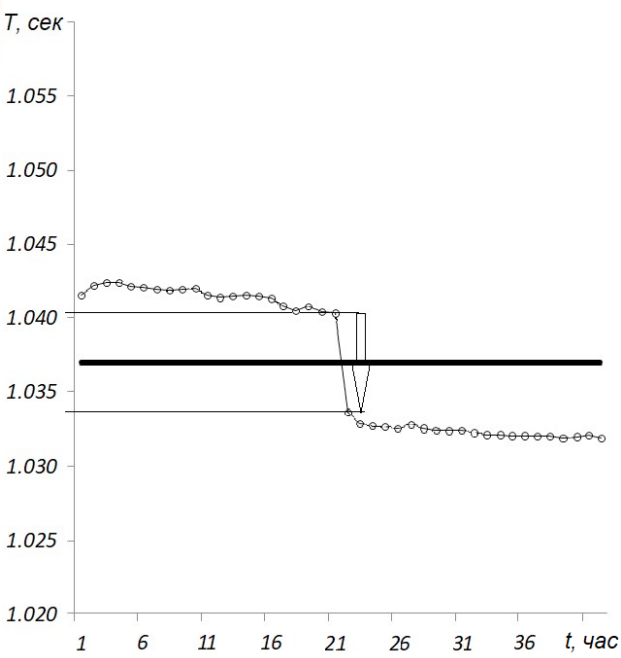


Рис. 6б. Результат аналогичного опыта, выполненного при другой настройке RC-генератора. Симметричная область запрещенных значений периода УСУП (область репеллера), обнаруженная в этом опыте, совпадает с областью запрещенных значений периода УСУП в опыте, представленном на *рисунке 6а*

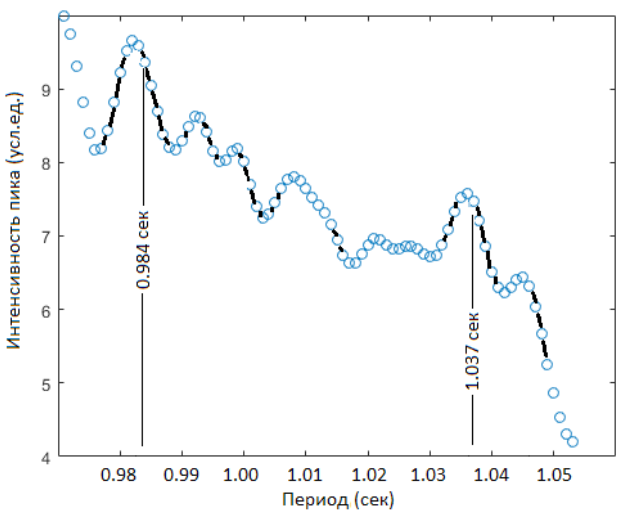


Рис. 7. Соседние уровни УСУП $T_{-20;0}$=1,037 сек и $T_{-15;8}$=0,984 сек найдены в ходе активного мониторинга УСУП – сканирования (посредством 12-разрядного ЦАП) периода хорошо термостабилизированного генератора периодических колебаний

температуры окружающего генератор воздуха в том же изолированном помещении за счет введения пенопластового кожуха частота генератора стала фактически стабильной, и возникла возможность производить ее надежное сканирование последовательными небольшими изменениями величины выходного напряжения ЦАП. Наблюдавшийся на *рисунке 4* плавный дрейф сменился при этом множеством ежечасных дискретных приращений периода по приблизительно 140 μs каждое. (Для сравнения, скорость плавного «сезонного» дрейфа периода на *рисунке 4* составляет около 30 μs в час; т.е. 10^{-8}).

Дополнительное изменение условий этого опыта состояло в уменьшении приблизительно в 30 раз емкости конденсатора с целью существенного удаления частоты генератора от гарантированной нижней граничной частоты используемой микросхемы генератора периодических колебаний (для SN74S124 это составляет около 0.1 Гц, а для ее советского аналога К531ГГ1 около 1 Гц – гарантированной величины, указанной в паспорте микросхемы, но реально работающей приблизительно до 0.2 Гц). Для использования той же измерительной системы мы скомпенсировали это изменение делением частоты генератора на 27 (на три страты), что возвратило измеряемый период в окрестность одной секунды. Высокоточное сканирование интервала, включающего оба уровня УСУП ($T_{-20;0}$ и $T_{-15;8}$), проявившиеся на *рисунке 6*, потребовало 26 суток. Результат изображен на *рисунке 7*: на графике отчетливо проявились ожидаемые уровни УСУП; полученный в эксперименте ряд чисел при этом сглажен 12-кратным применением алгоритма

$$Y_i^{n+1}=(Y_{i-1}^{\ n}+2Y_i^n+Y_{i+1}^{\ n})/4,$$

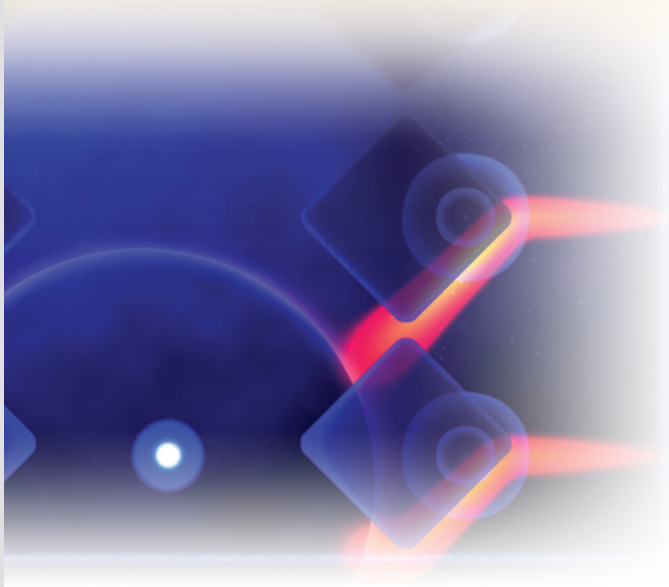
где n – номер сглаживания;
i – номер измерения в экспериментальном ряде измеренных значений периода Y.

Методики этих хорошо воспроизводимых опытов могут быть положены в основу дальнейшего экспериментального изучения феномена УСУП, а также создания широкого спектра его практических приложений.

Литература

1. Puetz S.J., Prokoph A., Borchardt G. et al. Chaos, Solitons & Fractals, 2014. V.62-63. p. 55.
2. Бондарь А.Т., Федоров М.В., Коломбет В.А. Утраивающиеся периоды в мультимасштабных физических и биологических явлениях // Биофизика, 2015. Т.60(6). С.1208-1215.
3. Коломбет В.А. Введение в гипнографический психоанализ. М.: Мэйлер, 2008. 224 с.
4. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В., Федоров М.В. Обнаружение в технических устройствах фрактальной системы утраивающихся периодов, известной по своим физическим, геофизическим, биофизическим и биоло-

гическим манифестациям // Биофизика, 2016. Т.61(3). С.615-624.
5. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. О перспективе применения фундаментальной системы утраивающихся периодов в мультимасштабных технических устройствах // Известия Института инженерной физики, 2016. №1(39). С.8-11.
6. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. Предсказание тактовой частоты процессора будущего поколения компьютеров как пример эффективности использования в технике свойств фрактальной системы утраивающихся периодов. Известия Института инженерной физики. 2016. №2(40). С.55-58.
7. Müller H. Fractal Scaling Models of Resonant Oscillations in Chain Systems of Harmonic Oscillators // Progress in physics, 2009. №5(2). Pp.72-76.
8. Müller H. Emergence of Particle Masses in Fractal Scaling Models of Matter // Progress in Physics, 2012. №8(4). Pp.44-47.
9. Müller H. Scaling of Body Masses and Orbital Periods in the Solar System // Progress in Physics, 2015. №11(2). Pp.133-135.
10. Müller H. Scale-Invariant Models of Natural Oscillations in Chain Systems and Their Cosmological Significance // Progress in Physics, 2017. №13(4). Pp.189-199.
11. Müller H. Global Scaling as Heuristic Model for Search of Additional Planets in the Solar System // Progress in Physics, 2017. №13(4). Pp.206-208.
12. Müller H. Chain Systems of Harmonic Quantum Oscillators as a Fractal Model of Matter and Global Scaling in Biophysics // Progress in Physics, 2017. №13(4). Pp.231-233.
13. Müller H. Astrobiological Aspects of Global Scaling // Progress in Physics, 2018. №14(1). Pp.3-6.
14. Müller H. Gravity as Attractor Effect of Stability Nodes in Chain Systems of Harmonic Quantum Oscillators // Progress in Physics. 2018. №14(1). Pp.19-23.
15. Müller H. Quantum Gravity Aspects of Global Scaling and the Seismic Profile of the Earth // Progress in Physics, 2018. №14(1). Pp.41-45.
16. Андронов А.А. Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Физ-мат литература, 1959. 914 с.
17. Баутин Н.Н. Динамическая теория часов. Стабилизация периода в системах с двумя степенями свободы. М.: Наука, 1986. 190 с.
18. Воронин А. https://github.com/Dreamy1610 1976/GeigerCounter_MATLAB.



УДК 519.6

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПРЕДСТАРТОВОЙ КАЛИБРОВКИ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

THE OPTIMIZATION ALGORITHM OF THE MEASUREMENT MODE DURING A COMPREHENSIVE PRELAUNCH CALIBRATION OF ACCELEROMETERS

Виктор Ефимович Аксёнов
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
филиал ВА РВСН имени Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел. +7 (4967) 78-96-09

Алексей Юрьевич Порядин
кандидат технических наук
преподаватель
филиал ВА РВСН имени Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел. +7 (977) 491-71-23
E-mail: lex48205@mail.ru

Евгений Викторович Пискулин
кандидат технических наук
доцент
филиал ВА РВСН имени Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел. +7 (906) 721-61-08

Аннотация
В статье рассматривается алгоритм последовательной одномерной оптимизации режима измерений для комплексной предстартовой калибровки акселерометров при подвижной точке разложения системы нелинейных функций и без априорной информации об оцениваемых параметрах. Данный алгоритм похож на принцип Беллмана переходом из последнего оптимального технологического положения в следующее, соседнее оптимальное технологическое положение. В этом заключается принцип последовательной (пошаговой) оптимизации.
Ключевые слова: алгоритм оптимизации, калибровка акселерометров, оптимизация режима измерений, оценка параметров акселерометров, подвижная точка разложения.

Summary
The article deals with the algorithm of sequential one-dimensional optimization of the measurement mode for complex pre-start calibration of accelerometers at the mobile point of decomposition of the system of nonlinear functions and without a priori information about the estimated parameters. This algorithm is similar to the Bellman principle by moving from the last optimal technological position to the next, adjacent optimal technological position. This is the principle of sequential (step-by-step) optimization.
Keywords: optimization algorithm, calibration of accelerometers, optimization of measurement mode, the evaluation parameters of the accelerometers, movable point of decomposition.

В последние годы роль Вооруженных сил Российской Федерации в целом, и РВСН в частности, в обеспечении безопасности и укреплении обороноспособности имеет решающее значение. Укрепление обороноспособности России остается важнейшей, ключевой задачей. Для обеспечения высокой боевой готовности современных межконтинентальных баллистических ракет, находящихся на вооружении РВСН, необходимо с достаточно высокой точностью определять значения параметров акселерометров непосредственно перед пуском. Предлагается применять алгоритм комплексной предстартовой калибровки акселерометров с нелинейной оптимальной оценкой их параметров при подвижной точке разложения системы нелинейных функций [3].

При комплексной предстартовой калибровки оси чувствительности акселерометров устанавливаются последовательно в оптимальные технологические положения, определяемые заранее, а затем в рабочее (боевое) положение. В каждом положении производится одновременное определение среднего периода (частоты) следования импульсов на выходе калибруемых акселерометров «α» и «β». По совокупности измерений частоты следования импульсов составляем систему нелинейных уравнений наблюдения (СНУН). В результате решения системы определяем нелинейные оптимальные оценки масштабных коэффициентов и углов ориентации акселерометров.

С целью определения непосредственно перед стартом значений тех параметров акселерометров, которые в наибольшей степени влияют на ошибку наведения ЛА, проводят их предстартовую калибровку. Очевидно, что от точности калибровки зависит и точность наведения ЛА в целом [1,2].

Оптимальным режимом измерений называется такой режим, у которого технологические параметры равны оптимальным значениям.

Для определения оптимального режима измерений необходимо знать функциональную зависимость дисперсии акселерометрической составляющей ошибки наведения по дальности от технологических параметров режима измерений.

При комплексной предстартовой калибровки оси чувствительности акселерометров устанавливаются последовательно в оптимальные технологические положения, определяемые заранее, а затем в рабочее (боевое) положение. В каждом положении производится одновременное определение среднего периода (частоты) следования импульсов на выходе калибруемых акселерометров «α» и «β». По совокупности измерений частоты следования импульсов составляем СНУН. В результате решения системы определяем нелинейные оптимальные оценки масштабных коэффициентов и углов ориентации акселерометров. Совокупность измерений частоты составляет систему нелинейных уравнений наблюдения [4,5]:

$$\begin{cases} f_{\alpha i}^{изм} = \overbrace{K_\alpha \cdot g \cdot \sin \alpha i}^{f_{\alpha i}} + U(0)_\alpha + \delta f_{\alpha i} \\ f_{\beta i}^{изм} = \underbrace{K_\beta \cdot g \cdot \sin(\alpha i + \gamma)}_{f_{\beta i}} + U(0)_\beta + \delta f_{\beta i} \\ i = \overline{1,\chi} \end{cases} \quad (1)$$

или

$$F(K_\alpha, K_\beta, \alpha 1, ..., \alpha\chi, \gamma) + U(0) + \Delta Ó = Ó1$$

где $F(K_\alpha, K_\beta, \alpha 1, ..., \alpha\chi, \gamma) = \begin{bmatrix} f_{\alpha i} \\ f_{\beta i, i=\overline{1,\chi}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_\alpha \cdot g \cdot \sin \alpha i \\ K_\beta \cdot g \cdot \sin(\alpha i + \gamma), i = \overline{1,\chi} \end{bmatrix}$ – математическая модель частоты импульсов на выходе калибруемых акселерометров «α» и «β» во всех заданных положениях относительно Земли;

g – заданное ускорение силы тяжести;

γ – постоянный в процессе калибровки, но неизвестный угол между осями чувствительности, расположенных в одной вертикальной плоскости калибруемых акселерометров;

χ – число заданных положений акселерометров относительно Земли;

$\Delta Ó = \begin{bmatrix} \delta f_{\alpha i} \\ \delta f_{\beta i}, i = \overline{1,\chi} \end{bmatrix}$ – случайная ошибка определения периода импульсов на выходе акселерометров «α» и «β»;

$Ó1 = \begin{bmatrix} f_{\alpha i}^{изм} \\ f_{\beta i}^{изм}, i = \overline{1,\chi} \end{bmatrix}$ – результаты определения (измерения) периода импульсов на выходе калибруемых акселерометров;

$U(0) = \begin{bmatrix} U(0)_\alpha \\ U(0)_\beta \end{bmatrix}$ – смещение нуля акселерометров «α» и «β», определяется заблаговременно.

Вектор действительных значений оцениваемых параметров акселерометров $X1$ представляется в виде

$$X1 = [K_\alpha, K_\beta \alpha 1, \ldots, \alpha i, \gamma]^T,$$

где K_α, K_β – действительные значения масштабных коэффициентов калибруемых акселерометров «α» и «β»;

$\alpha i, i = \overline{1,\chi}$ – действительные значения углов ориентации оси чувствительности акселерометра «α» во всех заданных положениях относительно Земли (относительно плоскости местного горизонта).

Вектор расчетных значений оцениваемых параметров акселерометров $X1^P$ представляется в виде

$$X1^P = [K_\alpha^P, K_\beta^P, \alpha 1^P, ..., \alpha\chi^P, \gamma^P]^T$$

Необходимо отметить, что углы ориентации оси чувствительности акселерометра «α» в технологических положениях должны иметь оптимальные значения. Эти значения определяются путем решения задачи оптимизации режима измерений.

Для решения задачи оптимизации режима измерений требуются расчетные (заданные) значения оцениваемых параметров будут иметь вид

$$X1^P = [K_\alpha^P, K_\beta^P, \alpha 1^{opt}, ..., \alpha(\chi-1)^{opt}, \alpha\chi^P, \gamma^P]^T.$$

К оцениваемым параметрам относят масштабные коэффициенты акселерометров «α» и «β» направлений, углы выставки осей чувствительности акселерометров в технологических положениях и угол между осями чувствительности акселерометров.

В статье рассматривается последовательная одномерная оптимизация. Принцип определения оптимальных технологических параметров

состоит в последовательном решении одномерной оптимизационной задачи полным перебором не нарушая последовательности, то есть последовательно определяются

$$\alpha 1^{opt}, \alpha 2^{opt}, \alpha 3^{opt}, \ldots, \alpha(\chi-1)^{opt}.$$

При этом невозможно найти $\alpha(\chi-1)^{opt}$ не зная $\alpha(\chi-2)^{opt}$. Необходимо знать предыдущее значение оптимального угла. Такой принцип нахождения оптимальных технологических параметров похож на принцип Беллмана переходом из последнего оптимального технологического положения в следующее, соседнее оптимальное технологическое положение. В этом заключается принцип последовательной (пошаговой) оптимизации.

Алгоритм оптимизации режима измерений для комплексной калибровки акселерометров можно разделить на два алгоритма. Первый алгоритм назовем стартовым алгоритмом при с $\chi=2$. Особенностью данного алгоритма является то, что в векторе $X1$ оцениваемых параметров акселерометров нет угла между осями чувствительности - γ в качестве оцениваемого параметра.

В стартовом алгоритме исходными данными являются:

- система нелинейных уравнений $F(X1_2)+\Delta Y_2=Y1_2$, $X1_2=[K_\alpha, K_\beta, \alpha, \alpha 1]^T$ - вектор значений оцениваемых параметров акселерометров, по аналогии с (1);
- $K_{\Delta y2}$ – корреляционная матрица, характеризующая точность вектора измерений $Y1_2$ или случайную составляющую ΔY_2 в векторе измерений $Y1_2$. Элементы матрицы определяются заблаговременно;
- L_2 – заданная матрица-строка коэффициентов влияния оцениваемых параметров на отклонение по дальности точки падения боевого блока. Структура матрицы зависит от вектора оценивания. В полете не учитываются технологические углы $\alpha i, i=\overline{1,\chi-1}$, поэтому их коэффициенты влияния равны нулю;
- g – ускорение силы тяжести в точке старта;
- K_α^P, K_β^P - расчетные значения масштабных коэффициентов акселерометров;
- γ^P – расчетное значение угла между осями чувствительности акселерометров;
- $\alpha 1^{доп}=[\alpha 1^{нд}, \alpha 1^{вд}]$ – заданные допустимые значения угла ориентации оси чувствительности акселерометра «α» в технологическом положении;
- $\alpha 1^{нд}$ – нижнее допустимое значение угла ориентации оси чувствительности акселерометра «α» в технологическом положении;
- $\alpha 1^{вд}$ – верхнее допустимое значение угла ориентации оси чувствительности акселерометра «α» в технологическом положении;

Зная исходные данные, нетрудно вычислить матрицу Якоби C (матрицу частных производных по вектору оцениваемых параметров), размер которой в данном случае равен 4×4.

Оптимальное значение угла αi^{opt} вычисляется по минимуму дисперсии акселерометрической составляющей ошибки наведения по дальности

$$\alpha i^{opt}=minD(\alpha i^{opt})_{\Delta L}.$$

Дисперсия акселерометрической составляющей ошибки наведения по дальности при оптимальной оценке параметров акселерометров по методу наименьших квадратов вычисляется по формуле

$$D(\alpha 1^{\flat})_{\Delta L}=L_2\cdot K(\alpha 1^{\flat})\cdot L^T.$$

Апостериорная корреляционная матрица, характеризующая ошибку оценки параметров за счет ΔY вычисляется по формуле

$$K(\alpha 1^{\flat})=[C(\alpha 1^{\flat})^T\cdot K^{-1}\cdot C(\alpha 1^{\flat})]^{-1}.$$

Во втором алгоритме число заданных положений $C=2$ получаются последующие алгоритмы. У данного алгоритма есть свои недостатки - нельзя назначать углы равные оптимальным углам которые мы получили на предыдущем шаге, так как отсутствует априорная информация и определитель матрицы Якоби может быть равен нулю. При данном условии система не будет иметь решения. Этого недостатка нет при наличии априорной информации. В данном алгоритме размерность матрицы Якоби будет $2\chi\times(\chi+3)$ [7].

На основании вышесказанного алгоритм последовательной одномерной оптимизации режима измерений для комплексной предстартовой калибровки акселерометров без априорной информации об оцениваемых параметрах при $C=2$ будет иметь вид:

1. Ввод исходных данных:

$F(X1_2)+\Delta Y_2=Y1_2$,
$X1_2=[K_\alpha, K_\beta, \alpha, \alpha 1]^T$,
$K_{\Delta y2}$, $L_2, g, \alpha^{\flat}, \gamma^{\flat}$

$K_\alpha^{\Pi}, K_\beta^{\Pi}$,
$\alpha 1^{доп}$,
$\alpha 1^{доп}\in\left[\alpha 1^{нд}, \alpha 1^{вд}\right], \alpha 1^{нд}=65^0, \alpha 1^{вд}=90^0$
ε - заданная допустимая величина ошибки оценки параметров;

2. Вычисление матрицы Якоби:

$\tilde{N}=\left[\frac{\partial F(X1)}{\partial X1}\right]$ – прямоугольная матрица размером 4×4

3. Вычисление $\alpha 1^{opt}$:

$K(\alpha 1^{\flat})=[C(\alpha 1^{\flat})^T\cdot K^{-1}\cdot C(\alpha 1^{\flat})]^{-1}$.
$D(\alpha 1^{\flat})_{\Delta L}=L_2\cdot K(\alpha 1^{\flat})\cdot L^T$.
$\alpha i^{opt}=minD(\alpha i^{opt})_{\Delta L}$.

4. Введем исходные данные при $\chi>2$ с учетом стартового алгоритма:

$F(X1_2)+\Delta Y_2=Y1_2$,
$X1_\chi=[K_\alpha, K_\beta, \gamma, \alpha, \alpha i, i=\overline{1,\chi-1}]^{\grave{O}}$,

$\alpha(i-1)^{opt}, i=\overline{2,\chi-1}$ – ранее вычисленные оптимальные значения углов.

5. Вычисление матрицы Якоби:

$\tilde{N}_\chi = \left[\frac{\partial F(X1_\chi)}{\partial X1_\chi}\right]$ – прямоугольная матрица размером $2\chi\times(\chi+3)$.

6.Вычисление $\alpha i^{opt}, i=\overline{2,\chi-1}$

$K(\alpha 1^{\flat})=[C(\alpha 1^{\flat})^T\cdot K^{-1}\cdot C(\alpha 1^{\flat})]^{-1}$.

$D(\alpha 1^{\flat})_{\Delta L}=L_2\cdot K(\alpha 1^{\flat})\cdot L^T$.

$\alpha i^{opt}=minD(\alpha i^{\flat})_{\Delta L}$.

Таким образом, полученный алгоритм позволяет уменьшить объем вычислений при решении задачи оптимизации режима измерений за счет принципа последовательной одномерной оптимизации. Используя данный алгоритм имеется возможность повысить точность выведения ракет в заданную точку и сократить общее время на подготовку к боевому применению современных межконтинентальных баллистических ракет. Также данный алгоритм довольно прост в реализации и обладает большой наглядностью.

Литература

1. Аксёнов В.Е. Эксплуатационная калибровка КИП автономных систем управления ракет: монография в 3 ч. Ч.3 / В.Е. Аксёнов, Е.В. Пискулин – Серпухов: ВА РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухов), 2014. 180 с.

2. Аксёнов В.Е. Нелинейная оптимальная оценка параметров с подвижной точкой разложения без априорной информации о параметрах // Известия Института инженерной физики, 2011. №.4(22). С.14-20.

3. Аксёнов В.Е. Нелинейная оптимальная оценка параметров с подвижной точкой разложения и с априорной информацией о параметрах // Известия Института инженерной физики, 2012. №.3(25). С.54-62.

4. Аксёнов В.Е., Порядин А.Ю. Математическая модель комплексной предстартовой калибровки акселерометров с нелинейной оптимальной оценкой их параметров при подвижной точке разложения и без априорной информации // Известия Института инженерной физики, 2015. №.3(37). С.44-49.

5. Аксёнов В.Е., Порядин А.Ю. Математическая модель комплексной предстартовой калибровки акселерометров с нелинейной оптимальной оценкой их параметров при подвижной точке разложения с априорной информацией// Известия Института инженерной физики, 2016. №.3(40). С.30-34.

6. Пирумов У.Г. Численные методы: учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2014. 421с.

7. Порядин А.Ю. Методика комплексной предстартовой калибровки акселерометров с нелинейной оптимальной оценкой их параметров при подвижной точке разложения в двух положениях гиростабилизированной платформы с априорной информацией // Известия Института инженерной физики, 2016. №.2(40). С.35-39.

8. Порядин А.Ю., Аксёнов В.Е., Пискулин Е.В. Быстродействующая комплексная предстартовая калибровка акселерометров с нелинейной оптимальной оценкой их параметров при подвижной точке разложения системы нелинейных функций // Известия Института инженерной физики, 2018. №.3(49). С.2-7.

OM MANI PADME HUMM

УДК 629.7

К ВОПРОСУ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ ПОМЕХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ

TO THE QUESTION OF SOLVING THE PROBLEM OF NOISE FILTERING IN INFORMATION OPTOELECTRONIC MEANS

Владимир Леонидович Захаров
доктор военных наук, профессор
действительный член АВН
профессор кафедры
ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: +7 (905) 566-17-94

Андрей Александрович Ядренкин
кандидат технических наук, доцент
начальник кафедры бортовых
информационных и измерительных комплексов
ВКА имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7 (921) 599-68-33
E-mail: andrei_nikita@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрен вопрос подавления помех в информационных оптико-электронных средствах посредством их фильтрации. Предложены способы фильтрации помех путем применения известных передаточных функции фильтра или замкнутой системы. Доказано, что на качество воспроизведения полезного сигнала существенным образом влияют параметры фильтра и системы в целом.

Ключевые слова: информационные оптико-электронные средства, полезный сигнал, помеха, задача фильтрации, параметры фильтра, дисперсия ошибки.

Summary

The article deals with the problem of noise suppression in information optoelectronic means by filtering them. The methods of noise filtering by applying the known transfer functions of the filter or closed system are proposed. It is proved, that the quality of the useful signal reproduction is significantly influenced by the filter parameters and the system as a whole.

Keywords: informational optoelectronic means, the useful signal, the interference, the task of filtration, the filter error variance.

Информационные оптико-электронные средства (ИОЭС) являются сложными техническими системами, в основе функционирования которых лежат различные физические принципы. В настоящее время оптико-электронные средства (ОЭС) широко применяются в различных областях науки и техники. Они используются для получения и обработки информации о параметрах и характеристиках излучения тех или иных физических объектов, а также для управления различными подвижными объектами (например, ракетами-перехватчиками).

Под информацией обычно понимается совокупность сведений, содержащих знания об изучаемом объекте, процессе или явлении. Для передачи сведений об источниках информации используются сигналы.

Под сигналом понимают материальный носитель сообщения. Его физическая природа может быть различная: электрическая, звуковая, оптическая или какая-либо другая.

В наиболее общей формулировке сигнал – это зависимость одной величины от другой (то есть с математической точки зрения сигнал является функцией). Чаще всего рассматриваются зависимости от времени. Однако, например, в системах оптической обработки информации сигналом может являться зависимость интенсивности света от пространственных координат. Физическая природа сигнала может быть различной. Очень часто это напряжение, несколько реже – ток, возможны и многие другие физические величины.

Сигналы могут быть непрерывными или дискретными. Непрерывное сообщение – это непрерывный процесс (речь, музыка и др.).

Дискретное сообщение представляет собой конечную последовательность отдельных импульсов. Оно характерно, например, для телеграфии (точки и тире) и телеметрии. В цифровых системах дискретная последовательность образуется в результате квантования непрерывного (аналогового) сигнала по времени и по уровню, осуществляемого преобразователем АЦП.

В зависимости от того, известен ли сигнал точно, различают детерминированные и случайные сигналы. Детерминированный сигнал полностью известен – его значение в любой момент времени можно определить точно. Случайный же сигнал в любой момент времени представляет собой случайную величину, которая принимает конкретные значения с некоторой вероятностью.

По своей структуре и выполняемым функциям современные оптические приборы являются сложными автоматическими или автоматизированными оптико-электронными системами, имеющими в своем составе оптические, механические, электронные, вычислительные и электромеханические устройства, каждое из которых может выполнять весьма широкий круг задач и являться сложной подсистемой.

Так как области применения таких систем и приборов практически не ограничены, то существующие методики расчета, проектирования и испытаний охватывают отдельные классы систем и лишь отдельные проблемы [1]. В работе [1] предложен единый математический аппарат применительно к линейным непрерывным, импульсным и цифровым оптико-электронным системам трех основных классов: измерительного, следящего и информационного типа. Несмотря на то, что значительное место в данной работе уделено вопросам преобразованию сигналов, оптимизации параметров систем информационного типа и оценке помехоустойчивости, актуальность по разработке методов решения задачи фильтрации не теряет своего значения.

На вход ОЭС приходит излучение, содержащее сигналы в которых наряду с полезной информацией содержатся помехи, генерируемые как излучением объектов, фонов и окружающей среды, так и элементами самой системы. В информационных системах помехи искажают (засоряют) информацию о наблюдаемом объекте и маскируют детали воспроизводимой микроструктуры поля излучения, и в отображении этой микроструктуры на видеоконтрольном или запоминающем устройстве.

Поэтому в таких системах одной из основных задач обработки сигналов является подавление помех путем их фильтрации. В качестве критерия для оптимизации обработки структуры и параметров информационных ОЭС применяется количественная мера потери информации на всех этапах ее обработки и различные методы теории информации. Одним, из которых является метод синтеза оптимальных фильтров по минимуму средней квадратичной ошибки воспроизведения полезного сигнала [1]. Задача фильтрации, или сглаживания состоит в как можно более полном выделении полезного сигнала из смеси его с помехой. Устройства, осуществляющие фильтрацию, называются фильтрами.

В большинстве случаев сигналы, проходящие через элементы ОЭС, описываются случайными функциями, или являются случайными процессами. Случайными процессами являются, например шумы, генерируемые приемниками оптического излучения, углы визирования подвижных маневрирующих целей головками самонаведения.

Для исследования прохождения стационарного случайного сигнала чаще всего используется спектральная плотность. Ее важное состоит в том, что зная спектральную плотность $S_1(\omega)$ случайного сигнала $x_1(t)$ на входе звена с передаточной функцией $W(p)$ можно определить спектральную плотность случайного сигнала $x_2(t)$ на выходе:

$$S_2(\omega) = |W(j\omega)|^2 S_1(\omega). \qquad (1)$$

Например, если $W(p)=1/Tp+1$, а входной сигнал представляет собой белый шум со спектральной плотностью $S_1(\omega)=N$, то

$$S_2(\omega) = N/(T^2\omega^2+1).$$

Пусть теперь сигнал на входе $x_1(t)$ представляет собой некоторую смесь полезного сигнала $s(t)$ и случайной помехи $n(t)$. Будем полагать, что помеха является аддитивной, т.е. она складывается с полезным сигналом:

$$x_1(t) = s(t) + n(t). \qquad (2)$$

В противном случае помеха называется мультипликативной.

Физически фильтр может быть выполнен в виде звена с передаточной функцией $H(p)$. Он осуществляет преобразование

$$y(t) = H\{x_1(t)\} = H\{s(t)+n(t)\}. \qquad (3)$$

При этом ошибка преобразования

$$e(t) = y(t) - s(t) \qquad (4)$$

должна быть минимальной.

Выражениям (3) и (4) соответствует структурная схема, представленная на *рисунке 1а*. Для последующих исследований ее целесообразно представить, так как показано на *рисунке 1б*.

Тогда ошибка преобразования будет вычисляться по формуле

$$e(t) = [H(p)-1]s(t) - H(p)n(t). \qquad (5)$$

Обычно для оценки качества преобразования используется не сама величина $e(t)$, а ее среднеквадратичное отклонение σ_e.

В большинстве случаев полагается, что случайные процессы являются центрированными, т.е. математическое ожидание $\bar{e}=0$. В этих случаях дисперсия ошибки

$$D_e = R_e(0) = \frac{1}{\pi}\int_0^\infty S_e(\omega)d\omega = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} S_e(\omega)d\omega, \qquad (6)$$

а среднеквадратичное отклонение $\sigma_e = \sqrt{D_e}$.

Пусть *s(t)* и *n(t)* представляют собой некоррелированные (взаимонезависимые) стационарные случайные процессы с известными спектральными плотностями $S_s(\omega)$ и $S_n(\omega)$. Тогда согласно выражению (1) и *рисунку 1б* спектральная плотность ошибки

$$S_e(\omega) = \left|H(j\omega) - 1\right|^2 S_s(\omega) + \left|H(j\omega)\right|^2 S_n(\omega), \quad (7)$$

а ее средний квадрат

$$\overline{e^2} = \frac{1}{\pi}\int_0^\infty S_e(\omega)\,d\omega. \quad (8)$$

Если полезный сигнал *s(t)* является детерминированной функцией времени, которая при $t\to\infty$, стремится к установившемуся значению $s_{уст}$. Тогда

$$\sigma_e^s = s_{уст},$$

а дисперсия (6)

$$D_e = D_e^s + D_e^n = (s_{уст})^2 + D_e^n, \quad (9)$$

где дисперсия помехи

$$D_e^n = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \left|H(j\omega)\right|^2 S_n(\omega)\,d\omega, \quad (10)$$

а среднеквадратичное отклонение $\sigma_e = \sqrt{D_e}$.

Возможны два подхода к решению задачи фильтрации.

1. Передаточная функция *H(p)* задана или выбрана исходя из эвристических предположений. Для решения задачи требуется определить такие значения варьируемых параметров, при которых выполняется условие $\sigma_e = \sigma_{min}$. В частности, это может быть сделано путем дифференцирования σ_e и приравниванием к нулю частных производных.

2. Структура и параметры фильтра априори неизвестны. Требуется найти оптимальную структуру и параметры, при которых обеспечивается теоретический минимум среднеквадратичного отклонения.

Эта задача решается на основе теории оптимальных фильтров Винера, Калмана. Однако применение этой теории на практике связано с большими трудностями.

Рассмотрим на примерах решение задачи фильтрации, используя первый подход:

Пример 1. На входе фильтра действует детерминированный ступенчатый полезный сигнал $s(t)=s_0 1(t)$ и помеха в виде белого шума со спектральной плотностью $S_n(\omega)=N$. Учитывая, что помеха является широкополосной, в качестве фильтра используем звено, подавляющее высокие частоты, например звено с передаточной функцией

$$H(p) = \frac{1}{T\,p+1}. \quad (11)$$

Требуется найти такое значение *T*, при котором среднеквадратичное отклонение будет минимальным.

Известно, что реакция звена (11) на детерминированный ступенчатый сигнал имеет вид $y(t) = s_0(1 - e^{-t/T})$.

При $t\to\infty$ выходная величина стремится к значению $y_{уст}=s_0$. Таким образом, согласно (9) и (10), дисперсия отклонения

$$D_e = s_0^2 + D_e^n \quad (11)$$

$$D_e^n = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{N\,d\omega}{\left|T\,j\omega + 1\right|^2}. \quad (12)$$

Для вычисления интеграла (12) удобно использовать таблицу интегралов, приведенную в работе [2]. Например, для данного случая подходящим является интеграл

$$I_1 = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{b_0\,d\omega}{\left|a_0 j\omega + a_1\right|^2} = \frac{b_0}{2\,a_0 a_1}. \quad (13)$$

Тогда дисперсия помехи (12)

$$D_e^n = \frac{N}{2T}, \quad (14)$$

а дисперсия отклонения (11)

$$D_e = s_0^2 + \frac{N}{2T}. \quad (15)$$

Таким образом, при увеличении *T* среднеквадратичное отклонение уменьшается.

Пример 2. Пусть в отличие от примера 1 на входе фильтра с передаточной функцией (11) действует полезный случайный сигнал со спектральной плотностью

$$S_s(\omega) = \frac{2\mu D}{\omega^2 + \mu^2} \quad (16)$$

и помеха в виде белого шума, у которого $S_n(\omega)=N$.

В этом случае спектральная плотность отклонения (ошибки) определяется выражением (7). Выражение для дисперсии помехи имеет вид (14).

Подставив значение выражения (16) в первое слагаемое выражения (7) получим:

$$S_e^s = \left|\frac{T\,j\omega}{T\,j\omega + 1}\right|^2 S_s(\omega) = \frac{2\mu D T^2\omega^2}{\left|T\,j\omega + 1\right|^2\left|j\omega + \mu\right|^2}. \quad (17)$$

Для интегрирования выражения (17) используем табличный интеграл

$$I_2 = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\left\{b_0(j\omega)^2 + b_1\right\}d\omega}{\left|a_0(j\omega)^2 + a_1 j\omega + a_2\right|^2} = \frac{a_0 b_1 - a_2 b_0}{2a_0 a_1 a_2}.$$

В результате получим:

$$D_e^s = \frac{\mu D T}{1+\mu T},\ D_e = D_e^s + D_e^n = \frac{\mu D T}{1+\mu T} + \frac{N}{2T}. \quad (18)$$

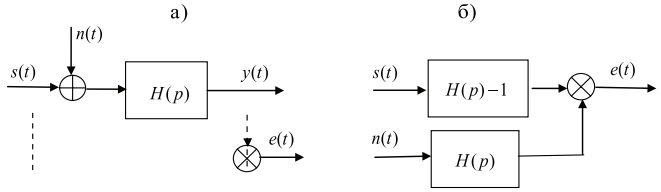


Рис. 1. Структурная схема фильтра: а) исходная; б) видоизмененная

Графики зависимости составляющих дисперсии (18) от значения постоянной времени T представлены на *рисунке 2*. Видно, что при увеличении T дисперсия полезного сигнала увеличивается, а дисперсия помехи уменьшается. Это объясняется тем, что фильтр с передаточной функцией (11) является фильтром низких частот. Он подавляет сигналы с частотами $\omega > 1/T$. При увеличении T полоса пропускания фильтра сужается, что способствует подавлению высокочастотной помехи – белого шума. Но одновременно сужение полосы пропускания приводит к ухудшению качества воспроизведения полезного сигнала.

Таким образом, существует такое оптимальное значение $T=T_{опт}$, при котором полоса пропускания фильтра достаточно широка для воспроизведения полезного сигнала и достаточно узка для подавления помехи. Ее значение

$$T_{опт} = \frac{\mu N + \sqrt{2\mu DN}}{2\mu D - \mu^2 N}$$

можно определить, найдя частную производную

$$\partial D_e / \partial T$$

и приравняв ее нулю.

Фильтром может быть и замкнутая система, т.е. система с обратной связью, показанная на *рисунке 3*. В ней в качестве полезного сигнала $s(t)$ выступает задающее воздействие $g(t)$, а в качестве передаточной функции $H(p)$ – передаточная функция замкнутой системы

$$\Phi(p) = \frac{Y(p)}{G(p)} = \frac{W(p)}{1+W(p)}.$$

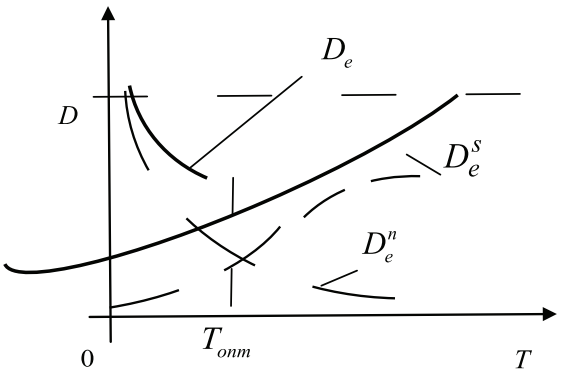


Рис. 2. Графики зависимости составляющих дисперсии от постоянной времени фильтра T

Если помеха действует на входе системы, как показано на *рисунке 3а*, тогда ошибка преобразования (5)

$$e(t) = [1 - \Phi(p)]g(t) - \Phi(p)n(t),$$

а ее спектральная плотность

$$S_e(\omega) = \frac{S_g(\omega)}{|1+W(j\omega)|^2} + \left|\frac{W(j\omega)}{1+W(j\omega)}\right|^2 S_n(\omega). \quad (19)$$

Если же помеха действует не на входе системы (см. *рисунок 3б*), то спектральная плотность ошибки

$$S_e(\omega) = \frac{S_g(\omega)}{|1+W(j\omega)|^2} + \left|\frac{W_n(j\omega)}{1+W(j\omega)}\right|^2 S_n(\omega). \quad (20)$$

В остальном задача фильтрации решается так же, как и в рассмотренных *примерах 1-2*. Однако при этом следует учитывать особенность замкнутых систем. Она состоит в том, что даже детерминированные внешние воздействия могут вызывать в них появление установившейся ошибки.

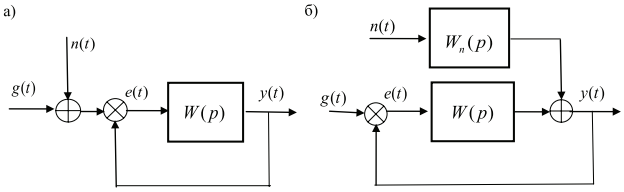


Рис. 3. Структурная схема замкнутой системы: а) помеха действует на входе системы; б) помеха возникает в системе

Пример 3. Пусть передаточная функция разомкнутой системы $W(p)=k/p$Положим, что на входе системы действуют детерминированное задающее воздействие $g(t)=Vt$ и случайная помеха в виде белого шума, спектральная плотность которого $S_n(\omega)=N$.

Известно, что в режиме движения с постоянной скоростью в системе с астатизмом первого порядка возникает установившаяся скоростная ошибка. Величина этой ошибки

$$e_{уст} = e_{ск} = V / k,$$

где k – коэффициент передачи разомкнутой системы. Тогда при одновременном действии полезного сигнала и помехи дисперсия ошибки

$$D_e = \frac{V^2}{k^2} + \frac{Nk}{2} = \frac{2V^2 + Nk^3}{2k^2}. \quad (21)$$

Таким образом, налицо конфликтная ситуация. Она состоит в том, что при увеличении коэффициента передачи разомкнутой системы первое слагаемое в (21) уменьшается, а второе – увеличивается. Следовательно, существует оптимальное значение $k=k_{опт}$. Его значение $k_{опт} = \sqrt[3]{\frac{4V^2}{N}}$ можно найти, приравняв нулю частную производную от (21) по k.

Литература

1. Порфирьев Л.Ф. Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах: учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов. Л.: Машиностроение, 1989. 387 с.

2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е перераб. и доп. СПб.: Профессия, 2004. 752 с.

УДК 629.7

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАНА ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

METHODS FOR DETERMINING THE PLAN FOR CARRYING OUT FIELD TESTS OF AUTONOMOUS CONTROL SYSTEMS

Владимир Леонидович Захаров
доктор военных наук, профессор
действительный член АВН
профессор кафедры
ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: +7 (905) 566-17-94

Виктор Александрович Сергеев
кандидат технических наук
доцент
ВКА имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: 8 (812) 237-12-49

Аннотация
В статье рассмотрены этапы проектирования и изготовления автономных систем управления. Предложена методика повышения точности оценок натурных испытаний за счет изменения схемы испытаний и выбора показателей качества испытываемой системы. Представлены практические рекомендации по планированию натурных испытаний.
Ключевые слова: объект ракетно-космической техники, система управления, результат испытаний.

Summary
The article describes the stages of design and manufacture of autonomous control systems. A technique is proposed for improving the accuracy of assessments of field tests by changing the test pattern and selecting the quality indicators of the system under test. Practical recommendations for the planning of field tests are presented.
Keywords: object of rocket and space technology, control system, test result.

Введение

Процесс проектирования и изготовления объектов ракетно-космической техники (ОРКТ) и их систем управления (СУ) представляет собой сложный процесс, состоящий из ряда последовательных этапов. На каждом этапе одновременно с теоретическими исследованиями и расчетами проводятся различные испытания для получения оценок заданных параметров и проверки их соответствия предъявляемым требованиям. При этом требования к тактико-техническим характеристикам (ТТХ) ОРКТ постоянно повышаются, внедряется новая элементная база, программное обеспечение и т.д. Поэтому роль испытаний становится все более значимой, а стоимость ОРКТ и их испытаний неуклонно возрастает. Задача сокращения сроков разработки и стоимости проектируемых ОРКТ во многом сводится к задаче определения достаточного объема, содержания и последовательности испытаний. Данная задача отличается от задачи оптимального планирования экспериментов и испытаний, так как достоверность получаемых в результате испытаний оценок качества СУ зависит не только от объема, но и от схемы испытаний, то есть процедуры, обеспечивающей при прочих равных условиях наибольшую надежность и достоверность оценок качества СУ. Поэтому существует необходимость в разработке методов планирования испытаний в смысле выбора их наилучшей схемы.

Постановка задачи

Вследствие ограниченности объема натурных испытаний, получаемые на этом этапе оценки заданных параметров обладают низкой точностью. Повысить точность оценок, полученных по результатам натурных испытаний, можно путем изменения схемы испытаний и выбора показателей качества испытываемой

системы. Для оценки качества СУ предлагается использовать показатель эффективности ее функционирования. В качестве показателя эффективности функционирования выбрать вероятность попадания летательного аппарата в заданную область при некритических отказах в его СУ. Такой показатель является наиболее полной и объективной мерой эффективности функционирования СУ, так как характеризует вероятность выполнения задачи. Результаты испытаний могут быть представлены в виде двух событий: выполнена задача, возложенная на СУ, или задача не выполнена. Статистической моделью процесса получения такой информации является биномиальное распределение, на использовании которого основано большинство оценок эффективности функционирования при условии однородности испытаний. Для совместной обработки неоднородной статистической информации, полученной по результатам испытаний опытных и серийных образцов в различных условиях, используются линейные операторы приведения результатов испытаний к единым условиям. Решение задачи приведения результатов испытаний к единым условиям с достаточной точностью для возможности применения биномиального распределения подробно изложено в работе [1]. Классические методы определения числа испытаний обладают рядом существенных недостатков. Поэтому возникает необходимость в разработке нового метода проверки соответствия показателя эффективности функционирования СУ заданным требованиям, позволяющего математически обосновать минимальные планы испытаний с заданными ошибками первого и второго родов. Проверка соответствия СУ предъявляемым к ней требованиям сводится к проверке статистической гипотезы о том, что показатель эффективности ее функционирования p не меньше заданного в техническом задании значения p_T

$$H_0: p \geq p_T. \qquad (1)$$

В предлагаемой методике применено известное положение об использовании критерия значимости для рассматриваемой гипотезы и изначально предполагается, что она верна. Тогда необходимо определить некую меру отклонения исследуемого параметра p эффективности функционирования СУ и определить вероятность γ того, что это отклонение превышает заданное значение. Отклонение параметра выберем таким, чтобы вероятность можно было сделать сколь угодно малой. Таким образом, если в результате испытаний окажется, что событие, обладающее этой малой вероятностью, произошло, то отклонение значимо и нужно сделать вывод об опровержении выдвинутой гипотезы. С другой стороны, если обнаружится, что по результатам испытаний отклонение параметра p не превышает заданного значения, то гипотеза (1) верна. Среди всех критериев уровня γ теперь требуется отыскать такой, при котором вероятность отвергнуть гипотезу (1), когда эта она действительно не верна, будет как можно больше, то есть такой критерий, функция мощности которого принимала бы возможно большие значения. Поскольку в серии из N независимых экспериментов число успешных испытаний $\hat{m}$ имеет биномиальный закон распределения [2], то вероятность того, что число $\hat{m}$ не превышает некоторого заданного значения $m_з$, определяется выражением

$$P(\hat{m} < m_з) = \sum_{i=0}^{m_з - 1} C_N^i p^i (1-p)^{N-i}, \qquad (2)$$

где $C_N^i = \frac{N!}{i!(N-i)!}$.

Тогда, согласно теореме Неймана-Пирсона, при условии, что $p=p_T$, получим следующее уравнение

$$\gamma = \sum_{i=0}^{m_\gamma - 1} C_{N_\gamma}^i p_T^i (1-p_T)^{N_\gamma - i}, \qquad (3)$$

где γ – уровень значимости критерия проверки гипотезы H_0;

m_γ – необходимое число положительных исходов испытаний;

N_γ – необходимое число испытаний.

Уравнение (3) можно использовать для определения необходимого числа испытаний N_γ и числа положительных исходов m_γ, задаваясь значениями γ и p_T. Последовательно увеличивая число N_γ, находим минимальное значение m_γ, при котором ошибка первого рода равна γ.

Таким образом, если в результате проведения N_γ испытаний интересующее нас событие появилось m раз, то гипотеза (1), должна быть принята с вероятностью $(1-\gamma)$ в том случае, когда

$$\frac{m}{N_\gamma} \geq \frac{m_\gamma}{N_\gamma}. \qquad (4)$$

Значение $\frac{m_\gamma}{N_\gamma} = p_\gamma$ называется критической границей принятия гипотезы (1).

Методика определения программы натурных испытаний

Из уравнения (3) можно заметить, что величины N_γ и m_γ зависят не только от требуемого значения вероятности p_T и уровня значимости γ, но и от точности вычисления γ по этой формуле, поскольку зависимость

$$\gamma = f(N_\gamma, m_\gamma)$$

представляет собой, в общем случае, функцию, изменяющуюся скачками.

В качестве показателя точности решения уравнения (3) (определения уровня значимости γ) возьмем величину

$$\delta = \left| \gamma - \sum_{i=0}^{m_\gamma - 1} C_{N_\gamma}^i p_T^i (1-p_T)^{N_\gamma - i} \right|. \qquad (5)$$

Тогда при заданном или выбранном, исходя из требований к вероятности ошибки первого рода, значении уровня значимости γ, последовательно увеличивая число испытаний, найдем минимальные значения числа испытаний N_γ и числа положительных исходов m_γ, при которых выполняется условие

$$\delta \le \delta_{ДОП}, \quad (6)$$

где $\delta_{ДОП}$ – допустимая величина ошибки определения уровня значимости, характеризующая точность решения уравнения (3). От выбора величины $\delta_{ДОП}$ зависят значения m_γ и N_γ.

$$(N_\gamma, m_\gamma) = \arg\min_{N_\gamma \in \Omega} \delta, \text{ где } \Omega = \overline{1, N}. \quad (7)$$

Таким образом, выбором величин γ и $\delta_{ДОП}$ при заданном показателе p_T можно добиться существенного уменьшения объема испытаний при сохранении практически неизменным достоверности принятого решения о соответствии показателя эффективности функционирования СУ заданному требованию.

При проверке статистических гипотез возможны как ошибка первого рода γ, так и второго рода β. Ошибка второго рода, именуемая также риском заказчика, является не менее важным показателем правильности принимаемого решения о качестве СУ, так как это вероятность приемки изделия, не соответствующего предъявляемым к нему требованиям. Как правило, ошибка второго рода определяется только исходя из условия повышения мощности *(1-β)* выбираемого критерия проверки гипотезы. При этом ошибка первого рода должна быть задана, а ее уменьшение будет приводить к росту ошибки второго рода и наоборот. Одновременное уменьшение γ и β будет приводить к обязательному увеличению числа испытаний. Характер зависимости между величинами γ, β и N в ограниченных пределах может меняться в зависимости от вида правила выбора решения при проверке гипотезы. В ряде случаев ошибка β вообще не определяется, а просто считается минимальной [3].

Критерии, построенные на правиле Неймана-Пирсона, имеют наибольшую мощность, а уровень значимости не превышает заданного значения γ. При этом ошибка второго рода минимальна и определяется как наибольшая вероятность принятия гипотезы (1), когда она не верна, по следующей формуле [4]

$$\beta = P(\hat{m} \ge m_\gamma; p_\gamma) = \sum_{i=m_\gamma}^{N_\gamma} C_{N_\gamma}^i p^i (1-p)^{N_\gamma - i}, \quad (8)$$

где $p = 1 - p_\gamma = \frac{N_\gamma - m_\gamma}{N_\gamma}$.

В формуле (8) вероятность получения числа положительных исходов, не меньшего, чем m_γ, находится из условия того, что вероятность положительного исхода каждого испытания равна критической границе p_γ. Поэтому ошибка второго рода зависит только от числа положительных исходов испытаний mγ и их объема N_γ. Число испытаний определяется по формуле (5) при выполнении условий (6) и (7). От выбора величин γ, $\delta_{доп}$ и p_T зависят значения m_γ и N_γ, причем, как видно из *рисунка 1*, план испытаний существенно зависит от незначительных изменений этих величин, особенно γ и $\delta_{доп}$. Графики, изображенные на *рисунке 1* отражают зависимость числа испытаний от точности определения уровня значимости для требуемого значения показателя эффективности функционирования СУ p_T=0,9. Число испытаний может изменяться в разы при несущественных изменениях величин γ и $\delta_{доп}$. Таким образом, можно получить программы с минимальным числом натурных испытаний при варьировании γ и $\delta_{доп}$.

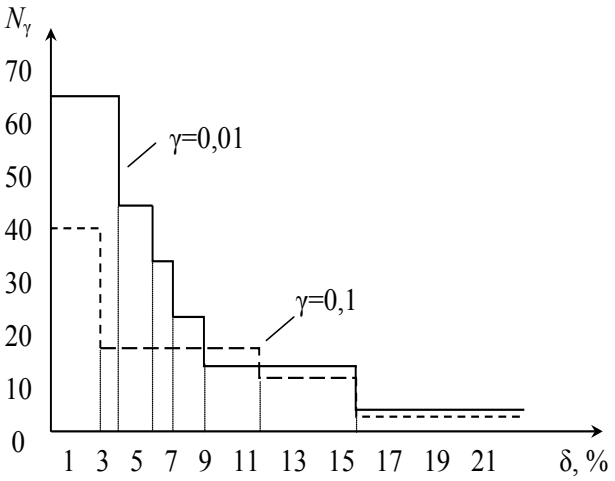


Рис. 1. Зависимость числа необходимых испытаний от точности определения уровня значимости для заданного значения p_T=0,9

Необходимо отметить, что назначение конкретного плана испытаний основывается также и на выборе величины ошибки второго рода, значение которой зависит от числа испытаний N_γ и критической границы p_γ. При увеличении числа испытаний или значения критической границы ошибка второго рода уменьшается. Если величины β, γ и $\delta_{доп}$ выбраны, то для проверки требуемого значения показателя эффективности функционирования p_T устанавливается необходимый объем натурных испытаний N_γ и число положительных исходов m_γ. Результаты определения плана испытаний приведены в *таблице 1*.

Если не устанавливать требования к точности задания уровня значимости $\delta_{доп}$, то можно найти

Таблица 1

Практические рекомендации по планированию натурных испытаний									
Заданное значение γ=0,01									
$P_т$	δ=0,01			δ=0,05			δ=0,1		
	N_γ	m_γ	β	N_γ	m_γ	β	N_γ	m_γ	β
0,80	20	12	5,7	8	4	0,64	8	4	0,64
0,85	63	47	10^{-10}	10	6	0,17	10	6	0,17
0,90	64	52	10^{-10}	31	24	10^{-8}	14	10	0,01
0,95	27	23	10^{-10}	27	23	10^{-10}	18	15	10^{-7}
Заданное значение γ=0,05									
$P_т$	δ=0,01			δ=0,05			δ=0,1		
	N_γ	m_γ	β	N_γ	m_γ	β	N_γ	m_γ	β
0,80	11	7	0,06	11	7	0,06	11	7	0,06
0,85	10	7	0,01	10	7	0,01	6	4	0,1
0,90	87	74	10^{-10}	4	3	0,05	4	3	0,05
0,95	17	15	10^{-10}	17	15	10^{-10}	17	15	10^{-10}
Заданное значение γ=0,1									
$P_т$	δ=0,01			δ=0,05			δ=0,1		
	N_γ	m_γ	β	N_γ	m_γ	β	N_γ	m_γ	β
0,80	13	9	0,05	3	2	0,26	3	2	0,26
0,85	22	17	10^{-5}	17	13	10^{-3}	4	3	0,05
0,90	40	34	10^{-10}	18	15	10^{-7}	18	15	10^{-7}
0,95	64	59	10^{-10}	11	10	10^{-8}	11	10	10^{-8}

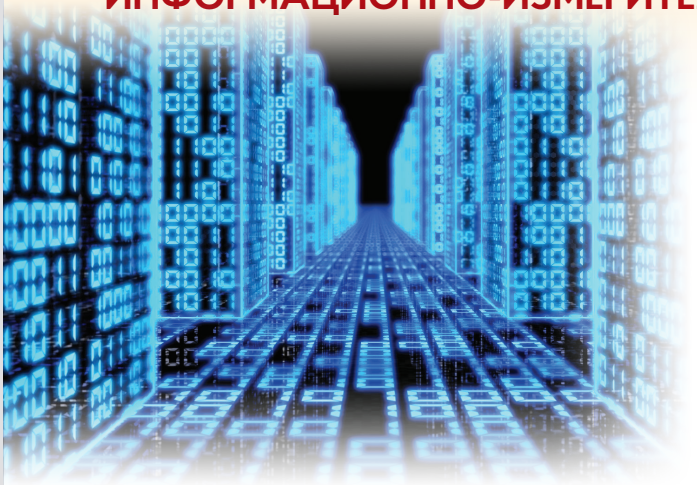
действительно наименьшее число испытаний. При этом γ может изменяться в пределах ±100% и более, причем даже при ужесточении требований к показателю эффективности функционирования СУ. Подобный анализ результатов приводит к получению процедур определения плана испытаний с заданными значениями β, γ и $\delta_{доп}$ или определения β, γ и $\delta_{доп}$ с заданным значением максимального числа испытаний N_γ при проверке статистической гипотезы о соответствии показателя эффективности функционирования СУ требованиям технического задания.

Заключение

Предлагаемая методика определения плана проведения натурных испытаний, основанная на методе проверки соответствия показателя эффективности функционирования СУ заданным требованиям, позволяет принимать решение с заданным значением ошибки первого рода на проведении минимального объема необходимых натурных испытаний. Причем существует возможность варьировать планы проведения испытаний при незначительных изменениях уровня значимости, а также определять значения ошибки второго рода.

Литература

1. Арсеньев В.Н., Миронов В.И. Приведение характеристик рассеивания динамической системы к заданным условиям испытаний / Сб. материалов НТС «Вопросы анализа и синтеза алгоритмического и аппаратного обеспечения систем управления». МО СССР, 1983. Вып.2.
2. Кринецкий Е.И., Александровская Л.Н., Шаронов А.В., Голубков А.С. Летные испытания ракет и космических аппаратов. М: Машиностроение, 1979. 464 с.
3. Городецкий В.И., Дмитриев А.К., Марков В.М., Петухов Г.Б., Юсупов Р.М. Элементы теории испытаний и контроля технических систем // Под ред. Р.М Юсупова. Л.: Энергия, 1978. 192 с.
4. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. М: Советское радио, 1962. 552 с.
5. Арсеньев В.Н, Сергеев В.А. Метод проверки соответствия характеристик объекта требованиям технического задания // Изв. ВУЗов. Приборостроение, 2002. №4. С.6-10.
6. Крамер Г. Математические методы статистики // Под ред. Колмогорова А.Н. Пер. с англ. М.: Мир, 1975. 648 с.



УДК 621.833

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АНАЛОГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВОЙ КОД В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

MATHEMATICAL MODEL FOR CONVERTING ANALOG INFORMATION TO DIGITAL CODE IN A MEASURING SYSTEM

Николай Львович Коржук
кандидат технических наук, доцент
профессор
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Адрес: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92
Тел.: 8 (4872) 35-05-52
E-mail: nikolaikorzhuk@mail.ru

Владимир Вениаминович Кулешов
кандидат технических наук, доцент
доцент
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Адрес: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92
Тел.: 8 (4872) 35-05-52
E-mail: v47kuleshov102a@gmail.com

Аннотация
Получены аналитические зависимости, которые могут быть использованы при разработке и проектировании цифровых каналов в информационных системах управления подвижными объектами.
Ключевые слова: математическая модель, измерительная система, аналоговый сигнал, компаратор, крутизна пилы, апертурная ошибка, цифровой код.

Summary
Analytical dependences are obtained that can be used in the development and design of digital channels in information systems for managing mobile objects.
Keywords: mathematical model, measuring system, analog signal, comparator, the steepness of the saw, aperture error, digital code.

Точность работы измерительных систем определяется точностью работы интегрирующих аналоговых усилителей и порогового элемента. Кроме того, точность зависит от параметров схемы электронного ключа, осуществляющего выборку информации. Основная погрешность таких систем связана с конечностью времени заряда конденсатора интегрирующего усилителя. Эта погрешность приводит к апертурной ошибке, свойственной схеме выборке и обработке информации [1].

Целью данной работы является разработка математической модели преобразования аналоговой информации в длительность в измерительных системах. Процесс преобразования аналогового сигнала в длительность можно осуществить путем сравнения его в компараторе с треугольной пилой [1-3]. В итоге, на выходе компаратора формируется двухуровневый сигнал, имеющий разную длительность. Причем выходной сигнал U_τ с компаратора, осуществляющего преобразование аналоговой информации в длительность, представляется в виде (*рисунок 1*).

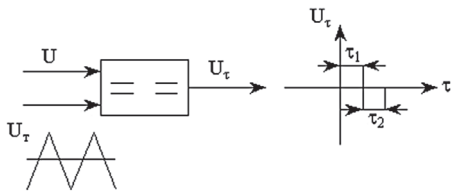


Рис. 1. Преобразование аналогового сигнала в длительность

Выходной сигнал с компаратора, в соответствии с *рисунком 2*, можно описать в виде уравнений:

уравнения треугольной пилы для каждого участка можно представить как:

1 участок

$$0 \le t \le t_n/2 \quad U_T = -A + \kappa \cdot t$$

2 участок

$$t_n/2 \le t \le t_n \quad U_T = A - \kappa \cdot t \quad k = 4 \cdot A/t_n$$

где $k=4 \cdot A/t_n$ – крутизна пилы;

t_n – период пилы.

Длительность времени положительного сигнала τ_1 определяется из соотношения:

$$\tau_1 = \frac{t_n}{2} - t_1 + t_2 = \frac{t_n}{2} - \frac{a+A}{\kappa} + \frac{A - a\cdot(1-\frac{m}{\kappa}) - \frac{m}{\kappa}A}{m+\kappa} = \frac{t_n}{4}\left(1 - n + \frac{1 - n\cdot(1-\frac{m}{\kappa}) - \frac{m}{\kappa}}{1+\frac{m}{\kappa}}\right),$$

где $n=\frac{a}{A}$, $m=\frac{dU}{dt}$, соответственно, относительная величина входного аналогового сигнала в момент первого перемещения пилы через ось абсцисс, и скорость изменения входного аналогового сигнала за время преобразования.

Длительность времени отрицательного значения сигнала τ_2 определяется из соотношения:

$$\tau_2=\frac{t_n}{2}-t_2+t_3=\frac{t_n}{2}-\frac{A-a\cdot(1-\frac{m}{\kappa})-\frac{m}{\kappa}A}{m+\kappa}+\frac{A+a\cdot(1-\frac{m}{\kappa})-\frac{3\cdot m}{\kappa}A}{\kappa-m}=$$

$$=\frac{t_n}{4}\left(2-\frac{1-n(1-\frac{m}{\kappa})-\frac{m}{\kappa}}{1+\frac{m}{\kappa}}+\frac{1+n(1-\frac{m}{\kappa})-\frac{3\cdot m}{\kappa}}{1-\frac{m}{\kappa}}\right)$$

Разностный выходной сигнал длительности будет равен:

$$\tau=\tau_2-\tau_1=\frac{t_n}{4}\left(1+n-2-\frac{1-n(1-\frac{m}{\kappa})-\frac{m}{\kappa}}{1+\frac{m}{\kappa}}+\frac{1+n(1-\frac{m}{\kappa})-\frac{3\cdot m}{\kappa}}{1+\frac{m}{\kappa}}\right)=$$

$$=t_n\left(\frac{\frac{2\cdot m}{\kappa}}{1-\frac{m^2}{\kappa^2}}+\frac{n}{1+\frac{m}{\kappa}}\right)$$

и суммарный выходной сигнал длительности аналогового сигнала запишется как:

$$\tau_\Sigma=\tau_2+\tau_1=\frac{t_n}{4}\left(3-n+\frac{1-n\cdot(1-\frac{m}{\kappa})+\frac{3\cdot m}{\kappa}}{1-\frac{m}{\kappa}}\right)=\frac{t_n}{1-\frac{m}{\kappa}}$$

В общем виде преобразование аналогового сигнала в длительность можно представить в виде (*рисунок 3*), и это преобразование может быть описано следующим образом.

Если $m=0$, то $\tau=n<t_n$, $\tau=t_n$, т.е. если входной сигнал за время преобразования не изменяется, то разностная длительность прямо пропорциональна времени преобразования t_n и относительная величина входного сигнала, и измененная длительность аналогового сигнала будет равна времени преобразования.

Если $n=0$, $m\neq0$, то параметры сигнала запишутся в виде:

$$\tau_-=\frac{2\frac{m}{\kappa}}{1-\frac{m^2}{\kappa^2}},\quad \tau_+=\frac{t_n}{1-\frac{m}{\kappa}}.$$

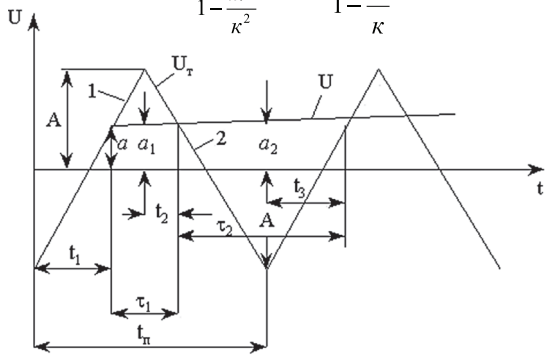


Рис. 2. Расчетная схема преобразования аналоговой величины в длительность (где *A* – амплитуда пилы)

Величину относительной апертурной ошибки, определяющей точность системы, можно определить как:

$$\delta_n=\frac{\tau_-}{t_n}=\frac{2\frac{m}{\kappa}}{1-\left(\frac{m}{\kappa}\right)^2}.$$

Измеряя величины интервалов τ_+ и τ_-, можно определить точные значения аналогового сигнала по следующим соотношениям:

$$\frac{m}{\kappa}=1-\frac{t_n}{\tau_+},\quad n=(1+\frac{m}{\kappa})\left(\frac{\tau_-}{t_n}-\frac{2\cdot m/\kappa}{1-\left(\frac{m}{\kappa}\right)^2}\right).$$

Значения преобразованного аналогового сигнала в длительность определяются по следующим соотношениям [3,4]:

$$N_-=INT(\tau_-<f_m),\quad N_+=INT(\tau_+<f_m),$$
$$N_n=INT(t_n<f_m)$$

$$\frac{m}{\kappa}=1-\frac{N_n}{N_+},\quad n=\left(1+\frac{m}{\kappa}\right)\left(\frac{N_-}{N_n}-\frac{2\frac{m}{\kappa}}{1-\frac{m^2}{\kappa^2}}\right),$$

$$N=INT(n<N_n),$$

где $INT(x)$ – целая часть;

N – точные значения цифрового кода, соответствующего аналоговому сигналу;

f_m – тактовая частота генератора.

Разработанная математическая модель преобразования аналогового сигнала в длительность может быть использована при проектировании высокоточных элементов, применяемых в системах управления подвижными объектами.

Литература

1. Кутуров А.Н., Кирмель А.Э. Гиротахометр. АС №1677642, опубл. 15.09.91. Бюл. № 34.
2. Тосхейм Р. Основы цифровой электроники. М.: Мир, 1988. 246 с.
3. Майоров С.А., Новиков Г.И. Принципы организации цифровых машин. Л.: Машиностроение, 1984. 386 с.
4. Изерман Р. Цифровые системы управления. М.: Мир, 1984. 360 с.

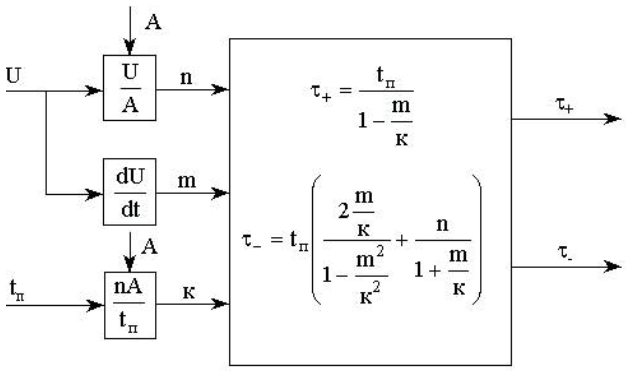


Рис.3. Модель преобразования аналогового сигнала в длительность

УДК 621.396

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В ВАКУУМНОЙ КАМЕРЕ

COMPUTATIONAL SIMULATION OF TESTING ELECTRONIC EQUIPMENT IN A VACUUM CHAMBER

Геннадий Алексеевич Гордеев
начальник управления
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8(4967)35-31-93
E-mail: sng@iifmail.ru

Василий Викторович Попов
начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: sng@iifmail.ru

Алина Сергеевна Пономарёва
кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: sng@iifmail.ru

Дмитрий Юрьевич Котов
начальник испытательной лаборатории
эксперт по промышленной безопасности
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 12-80-04

Аннотация

В статье рассматривается математическое моделирование нестационарного процесса теплопереноса внутри герметичного блока, содержащего элементы радиоэлектронной аппаратуры. Задается предельное тепловыделение основных электронных компонентов внутри блока. Рассчитывается температура внутри электронного блока в нормальных условиях и в вакуумной камере за 1 цикл работы прибора. Результаты теплового расчета в нормальных условиях подтверждаются реальным экспериментом при помощи тепловизора.

Ключевые слова: термограмма, радиоэлектронная аппаратура, тепловая мощность электронных компонентов, распределение температур внутри электронного блока, нестационарный тепловой расчет, вакуумная камера.

Summary

The mathematical modeling of transfering heat nonstationary process inside closed box with electronic components is considered in this article. The heat rating of main electronic components located in the box is given. The temperature inside of the electronic box is calculated for a working cycle in the normal conditions and in a vacuum chamber. Results recieved in the normal conditions are verified with the real experiment with a thermal imager.

Keywords: thermogram, radioelectronic equipment, heat rating of electronic component, temperature profile on electronic module, nonstationary thermal computation, vacuum chamber.

Введение

При конструировании изделий радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) в случае наложения соответствующих требований возникает необходимость проведения испытаний в вакуумной камере. Реальные эксперименты такого типа являются дорогостоящими, длительными по времени с применением сложного оборудования. Данным оборудованием оснащено ограниченное количество предприятий России. Кроме того, даже при наличии оборудования не всегда возможно осуществить эксперимент в силу ряда причин: отсутствие соответствующих лицензий, большая занятость оборудования, отсутствие конструктивных возможностей поместить в камеру работающий прибор при имитации реальных тепловых условий, в которых будет функционировать изделие, и других.

Вычислительное моделирование вакуумных испытаний изделий РЭА в режиме основной работы проводится в 2 этапа. На 1-м этапе осуществляется реальный эксперимент в помещении при нормальных климатических условиях. С помощью тепловизора снимаются термограммы различных частей изделия. Далее происходит численное моделирование работы прибора в нормальных условиях, подбор мощностей работающей РЭА с целью получения распределения температуры в изделии при вычислительном эксперименте, совпадающего количественно и качественно с реальным. Таким образом, решается обратная задача по восстановлению тепловых параметров модели из известных значений температур [1].

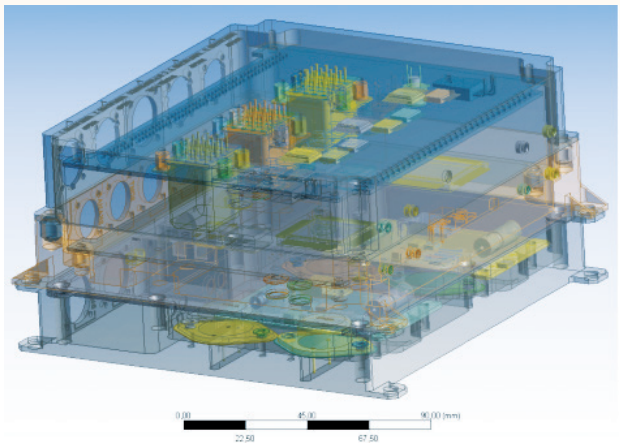
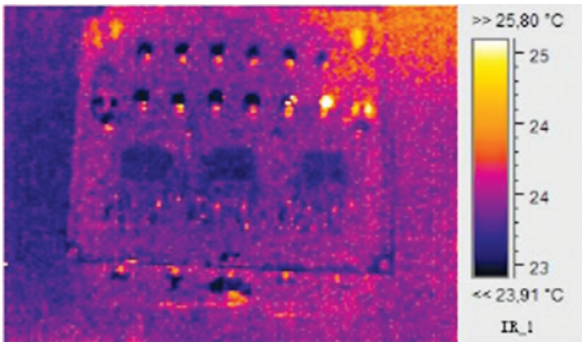
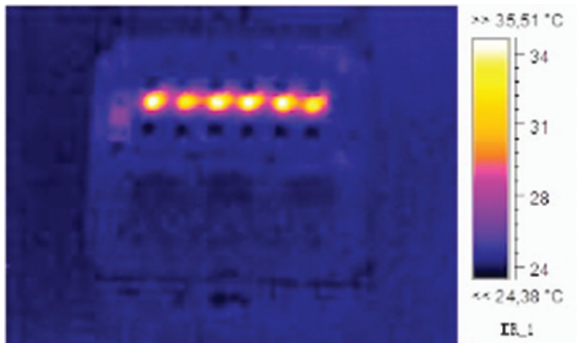


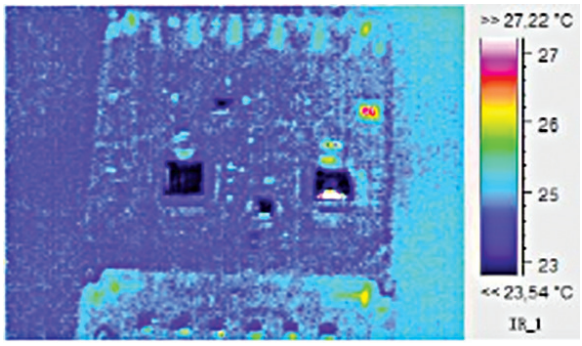
Рис. 1. Модель электронного устройства с полупрозрачным корпусом



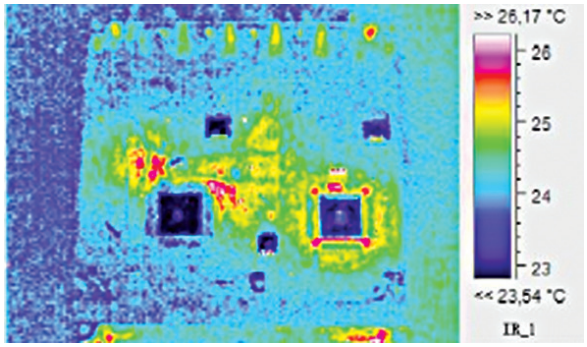
Тепловизионное изображение платы 1 перед подачей электропитания. Наибольшая температура 25,8°С.



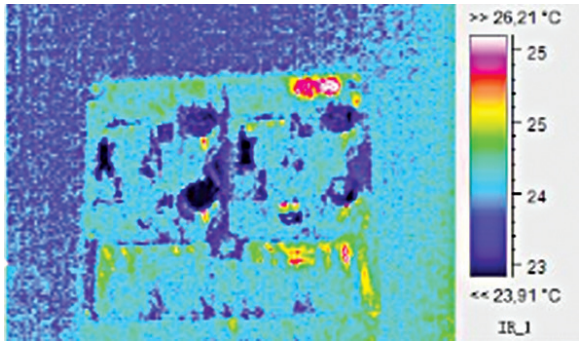
Тепловизионное изображение платы 1 через 60 секунд от момента подачи электропитания. Наибольшая температура 35,5°С.



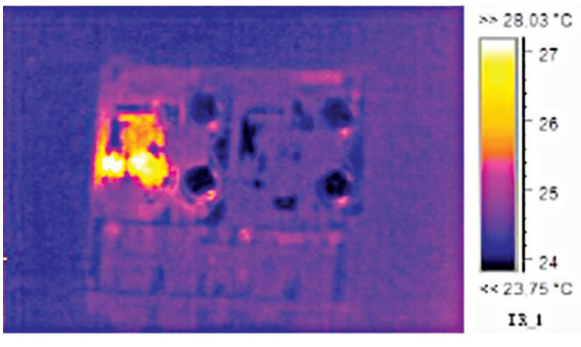
Тепловизионное изображение платы 2 перед подачей электропитания. Наибольшая температура 27,22°С.



Тепловизионное изображение платы 2 через 60 секунд от момента подачи электропитания. Наибольшая температура 26,17°С.



Тепловизионное изображение платы 3 перед подачей электропитания. Наибольшая температура 26,21°С.



Тепловизионное изображение платы 3 через 60 секунд от момента подачи электропитания. Наибольшая температура 28,03°С.

Рис. 2. Термограммы ЭРИ, полученные в результате реального эксперимента

На 2-м этапе вычислительного эксперимента проводится расчет с подобранными тепловыми мощностями изделий РЭА в условиях работы прибора в вакуумной камере. Сформированная на 1-м этапе математическая модель позволяет распространить полученные результаты на тепловые режимы, не воспроизводимые ранее в эксперименте.

Для вычислительного и реального моделирования тепловыделения изделий РЭА использовалось устройство, представляющее собой алюминиевый корпус с электронными печатными платами внутри. Трехмерная модель данного устройства с полупрозрачным корпусом изображена на *рисунке 1*.

Этап 1. Проведение реального эксперимента и соответствующего ему вычислительного эксперимента

Для определения величины теплового нагрева электронного устройства во время работы в помещении при комнатной температуре использовался тепловизор SAT S-180. На *рисунке 2* представлены полученные термограммы электрорадиоизделий (ЭРИ), характеризующие тепловое состояние объекта до включения электронного устройства и после включения.

При построении достоверной тепловой модели для вычислительного моделирования необходимо провести количественную идентификацию, заключающуюся в определении параметров математической модели и обеспечивающую требуемую корреляцию теоретических и экспериментальных результатов [1]. После проведения эксперимента решается обратная задача по восстановлению тепловых граничных условий (тепловых потоков) на электронных платах изделия и свойств материалов с помощью данных измерений температуры.

Таким образом, на основании результатов реального эксперимента подбираются средние рассеиваемые тепловые мощности ЭРИ, которые являются граничными условиями для вычислительного моделирования. Подобно описанным в [2, 3] тепловым расчетам для отдельных плат, проводится тепловой расчет электронного прибора из трех плат, закрепленных внутри алюминиевого корпуса. Вычислительное моделирование осуществляется при помощи профессионального конечно-элементного пакета программ Ansys Workbench, версия Free Ansys Student.

Описание численного расчета работы прибора в помещении при комнатной температуре

Для проведения теплового расчета используются материалы, близкие по своим теплофизическим свойствам к реальным. Материалом элементов корпуса является алюминий, печатных плат – стеклотекстолит, электронных компонентов на платах – нитрид кремния, теплоотводящих прокладок – слюда, втулок реле и транзисторов – тефлон. В *таблице 1* представлены тепловые характеристики использованных в расчете материалов.

Начальными условиями для расчета является температура 24°С.

Граничными условиями расчета являются средние тепловые потоки на поверхностях всех активных ЭРИ. Тепловая мощность задается таким образом, чтобы получаемое распределение температуры в приборе качественно и количественно было близко к экспериментальным данным из термограмм на *рисунке 2*. На внешних поверхностях корпуса электронного прибора применяются условия конвективного теплообмена с коэффициентом теплоотдачи 5,6 Вт/(м²ºС) [4] и температурой окружающей среды 24ºС.

Распределения температуры на платах 1-3 с указанием конкретного значения температуры в отдельных точках, полученные в результате нестационарного теплового расчета на момент времени $t=130$ секунд, представлены на *рисунках 3-5*. Вследствие того, что две платы из трех являются двухканальными, и каналы работают по очереди не более 60 секунд, был выбран момент времени 130 секунд. Каждый канал реализуется

Таблица 1

Тепловые характеристики использованных материалов

Название материала	Плотность, кг/м^3	Изотропная теплопроводность, Вт/(м ºС)	Удельная теплоемкость, Дж/(кг ºС)
Алюминий	2689	237,5	951
Стеклотекстолит	1800	1,55	1,15
Нитрид кремния	2400	16	691
Тефлон	2250	0,25	1400
Слюда	2500	0,34	500

своей группой элементов ЭРИ, переключение между каналами осуществляется через 60 секунд. Оценка точности использованной тепловой модели осуществляется путем сопоставления значений температур в выбранных точках модели и в характерных местах на термограммах изделия. Результаты численного расчета с точностью до 2-5°С совпадают с распределением температуры, полученным в ходе реального эксперимента. Для данного теплового расчета важно, насколько в целом нагреются ЭРИ, а не точная конкретизация по активным элементам РЭА: микросхемам, диодам, транзисторам, сопротивлениям и микросборкам.

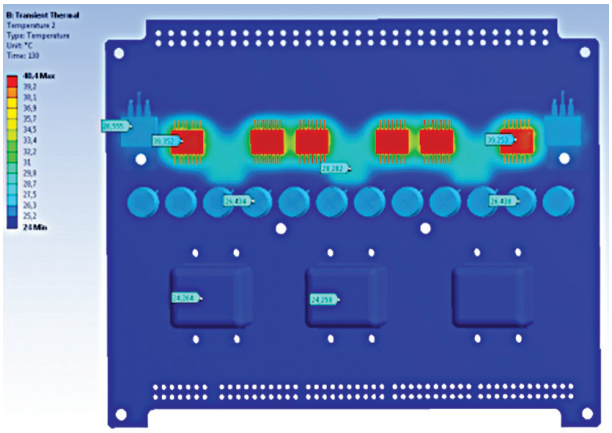


Рис. 3. Распределение температуры на плате 1 после 130 секунд работы

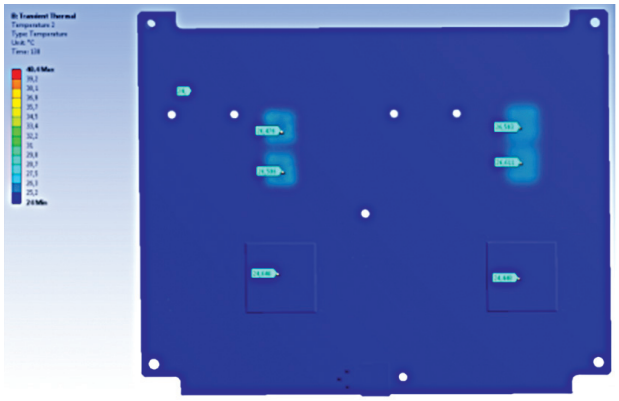


Рис. 4. Распределение температуры на плате 2 после 130 секунд работы

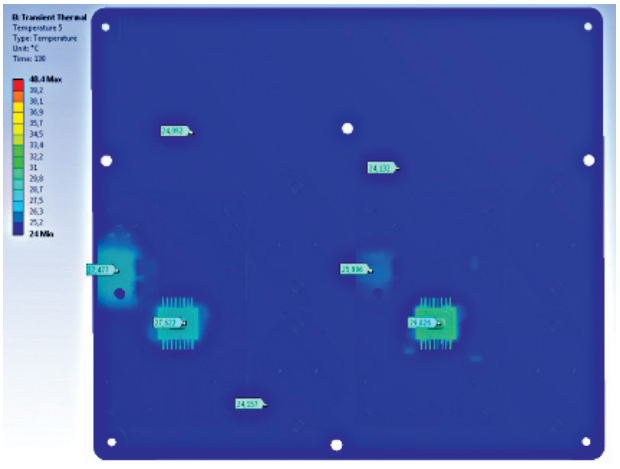


Рис. 5. Распределение температуры на плате 3 после 130 секунд работы

Этап 2. Проведение вычислительного моделирования тепловыделения электронного устройства в вакуумной камере

По условиям эксперимента электронное устройство в вакуумной камере располагается на термостабилизирующей панели с температурой 50ºС. Для имитации вакуумной камеры на поверхностях печатных плат, а также на внутренних и внешних поверхностях корпуса применяются условия излучения. Степень черноты для алюминия (корпус) задается равной 0,25, для стеклотекстолита (печатные платы) – 0,9 [4]. Температура внешней стороны переноса тепла считается равной 50ºС. Выделяемая элементами РЭА тепловая мощность задается такой же, как и в расчете на 1-м этапе вычислительного моделирования. Начальная температура устройства 50ºС.

На *рисунках 6-8* изображено распределение температуры на платах 1-3 с указанием точного

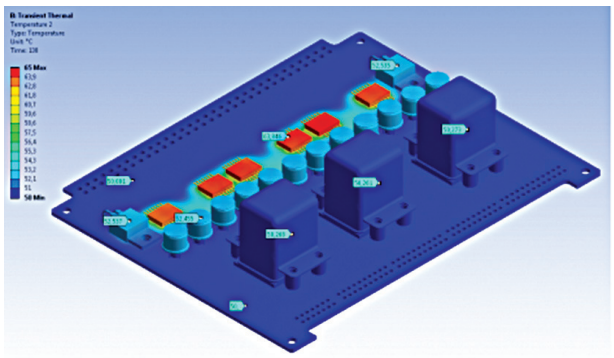


Рис. 6. Распределение температуры на плате 1 при имитации работы устройства в вакуумной камере в момент времени 130 секунд

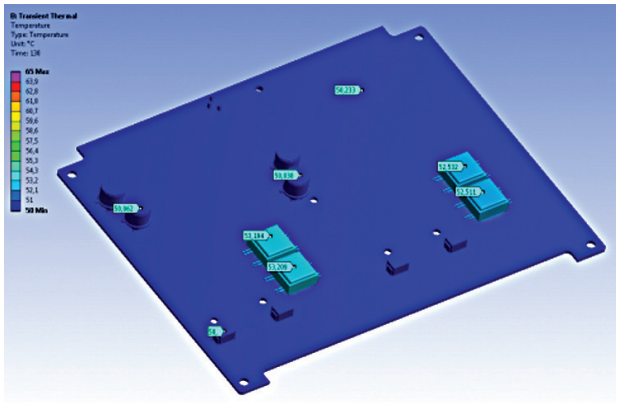


Рис. 7. Распределение температуры на плате 2 при имитации работы устройства в вакуумной камере в момент времени 130 секунд

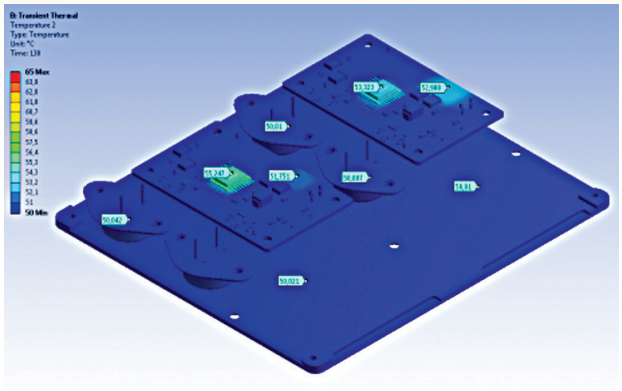


Рис. 8. Распределение температуры на плате 3 при имитации работы устройства в вакуумной камере в момент времени 130 секунд

значения температуры в отдельных точках на момент времени t=130 сек.

Из представленных *рисунков 6-8* видно, что наибольший нагрев наблюдается на плате 1. Элементы РЭА на ней нагрелись за 130 секунд до 65°С. На плате 2 наибольшая температура ЭРИ 53,2°С, на плате 3 – 55,3°С.

На этапе численного расчета оценивается тепловой поток через нижнюю стенку корпуса, закрепленную на термостабилизирующей платформе. В момент времени 130 секунд тепловыделение равно 1,02 Вт.

Оценка точности тепловых расчетов на основе математических моделей теплообмена в вакууме

Тепловые расчеты вакуумных испытаний изделия обычно разделяются на проектные и проверочные.

Целями проектных расчетов при вакуумных испытаниях являются разработка программы и теоретическое обоснование тепловых режимов, по которым выполняется проверка тепловых математических моделей электронного устройства (ЭУ) в вакууме [1].

Цель проверочных тепловых расчетов вакуумных испытаний ЭУ – подтверждение тепловых режимов ЭУ в вакууме на основе математической модели.

Оценка точности проверочных тепловых расчетов при вакуумных испытаниях ЭУ осуществляется путем сопоставления значений температур в местах установки датчиков в реальном эксперименте с показаниями датчиков, полученными в вычислительном эксперименте.

Точность тепловой модели выражается абсолютной и относительной погрешностями температуры, рассчитанными по контрольной выборке результатов [1]. Абсолютная погрешность температуры $|\Delta T_n|$ вычисляется в каждой контрольной точке n по температуре $T_{n,M}$ тепловой модели и показаниям датчика $T_{n,Э}$ в реальном эксперименте:

$$|\Delta T_n| = |T_{n,M} - T_{n,Э}|. \quad (1)$$

Погрешности тепловой модели имеют смысл разностей вычислительных и экспериментальных температур и не включают ошибки измерения температуры в условиях проведения испытаний.

Абсолютная погрешность температуры ЭУ $|\Delta T|$ определяется средним квадратичным для N точек контрольной выборки по формуле:

$$|\Delta T| = \sqrt{\sum_{n=1}^{N} (\Delta T_n)^2 \Big/ N}. \quad (2)$$

Относительная погрешность температуры ЭУ δT, равная частному абсолютной погрешности и допустимого диапазона температуры с границами T_{min}, T_{max}, вычисляется по формуле:

$$\delta T = |\Delta T| / (T_{max} - T_{min}). \quad (3)$$

Оценка расхождения расчетных и экспериментальных данных в нестационарных режимах производится на конечный момент времени вычислительного и реального экспериментов.

Для определения абсолютной и относительной погрешностей температуры ЭУ, найденной в ходе 1-го этапа вычислительного эксперимента, описанного выше, по рисункам 2-5 фиксируются максимальные значения температур на каждой из плат 1-3. Далее по формулам (1), (2) определяется абсолютная погрешность: $|\Delta T|$ =2,5°С. По формуле (3) находится относительная погрешность: δT=0,3. Полученная погрешность тепловой модели в данном случае является приемлемой для использования этой же модели при проведении вычислительного эксперимента в вакуумной камере с термостабилизирующей панелью.

Заключение

Вычислительное моделирование с помощью профессионального конечно-элементного пакета программ Ansys Workbench, версия Free Ansys Student, позволяет без проведения реальных испытаний в вакуумной камере получить на этапе конструирования предполагаемое распределение температур на внешних и внутренних поверхностях ЭУ и оценить тепловыделение прибора в условиях вакуума.

Измерение тепловизором температуры работающих элементов РЭА на 1-м этапе вычислительного моделирования дает возможность через численный расчет оценить рассеиваемые тепловые мощности ЭРИ. При этом абсолютная погрешность вычисления температуры в подобранной тепловой модели не превышает 2,5°С, а

относительная погрешность – 0,3. Проведенная оценка погрешностей вычисления температуры ЭУ в вычислительном эксперименте дает возможность использовать предложенную математическую модель на следующем этапе моделирования.

На 2-м этапе подобранные тепловые мощности участвуют в числовом расчете с имитацией вакуумной камеры и термостабилизирующей платформы. Для этого на боковых и верхней стенках корпуса прибора ставятся условия полной теплоизоляции и условия излучения. На нижней стенке прибора устанавливается условие постоянной температуры 50°С. По результатам нестационарного теплового расчета находится величина тепловыделения электронного устройства за 1 цикл работы (130 секунд) – примерно 1,02 Вт.

Литература

1. Викулов А.Г. Математическое моделирование теплообмена в космических аппаратах // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей», 2017. № 2.
2. Букин А.Г., Смирнов Н.В., Пономарёва А.С., Гордеев Г.А., Попов В.В. Вычислительное моделирование тепловыделения модуля электронного устройства при проведении контрольных испытаний аппаратуры // Известия Института инженерной физики, 2017. №3(45). С.33-36.
3. Гордеев Г.А., Попов В.В., Пономарёва А.С., Павлов А.В., Смирнов Н.В. Расчет теплового режима элементов блока радиоэлектронной аппаратуры на этапе конструирования // Известия Института инженерной физики, 2018. №1(48). С.7-11.
4. Кухлинг Х. Справочник по физике. М.: Мир, 1980. 520 с.

УДК 539.371:534.134

МЕТОДИКА ПОЭТАПНОЙ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЗАИМОСВЯЗАННОЙ ОБОЛОЧЕЧНО-БАЛОЧНОЙ СИСТЕМЫ

METHOD OF STEP-BY-STEP DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF DYNAMIC INTERCONNECTED SHELL-AND-BEAM SYSTEM

Константин Александрович Моисеев
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры «Материаловедения
и ремонта вооружения»
филиал ВА РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (962) 900-77-29
E-mail: moiseev.1946@bk.ru

Аннотация

В статье приводится методика поэтапной разработки математической модели динамической системы цилиндрическая оболочка – балка, когда объекты связаны между собой подвижными упругими связями. Рассматривались два варианта математической модели: первый – при учете влияния динамического поведения кольцевых шпангоутов на динамическое поведение цилиндрической оболочки, а во втором учитывался только подкрепляющий эффект кольцевых шпангоутов. Статья полезна для специалистов занимающихся исследованием составных механических систем.

Ключевые слова: тонкая анизотропная круговая цилиндрическая оболочка, кольцевые шпангоуты, ребра жесткости, однородная балка, математическая модель, система дифференциальных уравнений, подкрепляющий эффект.

Summary

The article presents a method of phased development of a mathematical model of a cylindrical shell – beam dynamic system, when objects are interconnected by moving elastic links. Two variants of the mathematical model were considered: the first version was considered taking into account the influence of the dynamic behavior of the ring frames on the dynamic behavior of the cylindrical shell, and in the second version only the reinforcing effect of the ring frames was taken into account. The article is useful for specialists engaged in the study of composite mechanical systems.

Keywords: thin anisotropic circular cylindrical shell, ring frames, stiffeners, uniform beam, mathematical model, system of differential equations, reinforcing effect.

В современной авиационной, космической и ракетной техники нашли применения расчетные схемы, состоящие из цилиндрической оболочечной конструкции, внутри которой с определенной скоростью движется объект конечных размеров и определенной массы под воздействием сил, возникающих в полой части оболочечной конструкции, и поперечной силы, действующей на ту часть объекта, которая вышла за верхний срез оболочки. Для ограничения радиальных перемещений оболочки может применяться система амортизации, которая включает в себя несколько вязкоупругих поясов определенной ширины и вплотную прилегающих к внешней поверхности оболочки. Для повышения прочностных свойств оболочки обычно применяется неравномерный набор кольцевых шпангоутов. Одна из основных задач, которая возникает перед исследователями на начальных этапах проектирования, является задача по разработке математической модели такой динамической системы, которая бы адекватно описывала протекающие в ней динамические процессы. Ниже приведен один из возможных вариантов

методики поэтапной разработки математических моделей динамической взаимосвязанной оболочечно-балочной системы.

Математическая модель взаимосвязанной оболочечно-балочной системы должна включать в себя взаимосвязанные дифференциальные уравнения, описывающих динамическое поведение отдельных ее элементов: тонкой круговой анизотропной цилиндрической оболочки, подкрепленной неравномерным набором кольцевых шпангоутов, объект конечных размеров и определенной массы, который можно представить в виде однородной балки, к которой прикреплены в определенных значениях продольной координаты упругие связи, движущиеся вдоль внутренней поверхности цилиндрической оболочки, вязкоупругие связи системы амортизации, соединяющие внешнюю поверхность оболочки с неподвижной опорой. Движение балки вдоль продольной координаты оболочки совершается за счет постоянного давления газов, которое распространяется вдоль продольной координаты оболочки с постоянным ускорением, при этом на часть балки, которая вышла за верхний край оболочки действует поперечная сила, прижимающая балку через упругие связи к внутренней поверхности цилиндрической оболочки.

При разработке математической модели описанной выше динамической системы могут быть применены два варианта: первый вариант связан с учетом динамического влияния кольцевых ребер жесткости на динамическое поведение оболочки, а второй вариант связан с неучетом такого влияния при существенном расхождении значений собственных частот оболочки и ребер жесткости.

Согласно вышеизложенному методика разработки математической модели взаимосвязанной оболочечно-балочной системы должна включать следующие этапы:

- разработку математической модели тонкой круговой однослойной анизотропной цилиндрической оболочки;
- разработку математической модели кольцевых анизотропных шпангоутов, подкрепляющих цилиндрическую оболочку;
- математическое описание влияния на динамическое поведение цилиндрической оболочки кольцевых ребер жесткости;
- математическое описание влияния на динамическое поведение цилиндрической оболочки системы амортизации;
- математическое описание влияния внешних сил на цилиндрическую оболочку;
- разработку математической модели объекта определенных размеров и массы, причем на его верхнюю часть, которая вышла за верхний край оболочки ,действует поперечная сила, прижимающая балку через упругие связи к внутренней поверхности цилиндрической оболочки.

Чтобы реализовать второй вариант разработки математической модели исследуемого объекта, необходимо дополнительно разработать метод оценки собственных частот оболочки и кольцевых шпангоутов, а вместо второго этапа включить математическое описание подкрепляющего эффекта неравномерного набора кольцевых шпангоутов. Все остальные этапы разработки первого варианта остаются в силе.

Разработка математической модели тонкой круговой однослойной анизотропной цилиндрической оболочки

Учесть все факторы, влияющие на напряженно-деформированное состояние тонкой круговой анизотропной цилиндрической оболочки при действии различных нагрузок, не представляется возможным [1]. Поэтому при исследовании данного типа задач вводится ряд допущений, позволяющих значительно упростить их решение, но, в то же время, предложенная модель достаточно адекватно отражает деформационное поле оболочки.

Взаимная связь оболочки и ребер жесткости осуществляется промежуточным слоем между оболочкой и кольцевым шпангоутом, имеющим радиальный размер на порядок меньший, чем толщина всех слоев оболочки или высоты шпангоута.

Такая схема удобна тем, что она позволяет сравнить значения собственных частот гладкой цилиндрической оболочки и кольцевых шпангоутов. Дифференциальные уравнения движения гладкой анизотропной цилиндрической оболочки и кольцевых ребер можно составить по общепринятой классической схеме [2] с учетом вязкоупругих свойств промежуточного слоя.

Система дифференциальных уравнений движения анизотропной слоистой оболочки в перемещениях разрабатывается согласно [2] на основе уравнений равновесия, соотношений упругости, выражений, связывающих компоненты деформаций с компонентами перемещений. Разрешающую систему дифференциальных уравнений в перемещениях, где инерционные члены учтены в дифференциальных операторах согласно [2], можно записать таким образом:

$$\begin{cases} L_{11}(C_{ik})u + L_{12}(C_{ik})v + L_{13}(C_{ik})w = -r^2X, \\ L_{21}(C_{ik})u + L_{22}(C_{ik}, D_{ik})v + L_{23}(C_{ik}, D_{ik})w = -r^2Y, \\ L_{31}(C_{ik})u + L_{32}(C_{ik}, D_{ik})v + L_{33}(C_{ik}, D_{ik})w = r^2Z, \end{cases} \quad (1)$$

где L_{ik} – линейные дифференциальные операторы.

В динамических исследованиях механических систем важное значение имеет учет диссипативных свойств материала конструкции. В этом случае форма системы уравнений (1) сохраняется, но дифференциальные операторы будут включать диссипативные характеристики системы.

Разработка математической модели кольцевых анизотропных шпангоутов, подкрепляющих цилиндрическую оболочку

Математическое описание динамического поведения кольцевых шпангоутов подробно описано в работе [1]. С учетом рассеяния энергии в материале шпангоута систему дифференциальных уравнений динамического поведения ненагруженного шпангоута можно записать таким образом:

$$\left(\frac{\mathrm{E_i}S_i}{r_{ш}}+\mathrm{b_i}\frac{\partial}{\partial t}\right)\left(\frac{\partial^3 V_i}{\partial\theta^3}+\frac{\partial V_i}{\partial\theta}+\frac{\partial^2 W_i}{\partial\theta^2}+W_i\right)=-r_{ш}^2\rho\mathrm{h}\frac{\partial^3 V_i}{\partial\theta\partial t^2}; \quad (2)$$

Математическое описание влияния на динамическое поведение цилиндрической оболочки кольцевых ребер жесткости

При учете связи цилиндрической оболочки и кольцевых шпангоутов уравнения кольцевых шпангоутов можно записать таким образом:

$$\left(\frac{\mathrm{E_i}S_i}{r_{ш}}+\mathrm{b_i}\frac{\partial}{\partial t}\right)\left(\frac{\partial^3 V_i}{\partial\theta^3}+\frac{\partial V_i}{\partial\theta}+\frac{\partial^2 W_i}{\partial\theta^2}+W_i\right)=-r_{ш}^2\rho\mathrm{h}\frac{\partial^3 V_i}{\partial\theta\partial t^2}-b_2\left(V_i-v(\xi_i,\theta)\right)\frac{\partial}{\partial t}-$$
$$-c_2\left(V_i-v(\xi_i,\theta)\right); \quad (3)$$

$$-\left(\frac{\mathrm{E_i}I_i}{r_{ш}^2}+\mathrm{E_i}S_i+r_{ш}\mathrm{b_i}\frac{\partial}{\partial t}\right)\frac{d^2V_i}{d\theta^2}+\frac{\mathrm{E_i}I_i}{r_{ш}^2}\frac{d^3W_i}{d\theta^3}-\left(E_iS_i+r_{ш}\mathrm{b_i}\frac{\partial}{\partial t}\right)\frac{dW_i}{d\theta}=$$
$$-r_{ш}^2\rho\mathrm{h}\frac{\partial^3 W_i}{\partial\theta\partial t^2}-b_1\left(W_i-w(\xi_i,\theta)\right)\frac{\partial}{\partial t}-c_1\left(W_i-w(\xi_i,\theta)\right).$$

Система уравнений (3) достаточно полно описывает динамическое поведение кольцевого шпангоута, учитывая его массово-геометрические характеристики, прочностные, диссипативные параметры и вязкоупругие связи между корпусом ТПК и кольцевым шпангоутом.

Тогда система дифференциальных уравнений, учитывающих взаимное влияние динамического поведения цилиндрической оболочки и кольцевых ребер, запишется следующим образом (*формула 4*), где s – количество шпангоутов, подкрепляющих цилиндрическую оболочку.

Математическое описание влияния на динамическое поведение цилиндрической оболочки системы амортизации

В некоторых случаях для того, чтобы ограничить перемещения цилиндрической оболочки в радиальном направлении, могут быть использованы порядка пяти-шести поясов радиальной системы амортизации. Каждый пояс плотно соприкасается с внешней поверхностью цилиндрической оболочки в определенных значениях ее продольной координаты по всей окружности. Для математического описания воздействия каждого пояса радиальной системы амортизации для упрощения исследований и без существенного увеличения методической погрешности в расчетах можно применить дискретный метод, который состоит в следующем: каждый пояс радиальной системы амортизации разбивается на определенное число секторов, которое зависит от допустимой погрешности вычислений, считается, что вязкоупругие связи каждого сектора пояса радиальной амортизации сосредоточены в центре сектора. Методическая ошибка расчетов будет зависеть от числа секторов, она будет тем меньше, чем большее количество секторов применяется при вычислениях.

Для расчетов необходимо знать жесткость c_0 и коэффициент рассеяния энергии b_0 при

$$\begin{cases}
L_{11}(C_{ik})u+L_{12}(C_{ik})v+L_{13}(C_{ik})w=-r^2X,\\
L_{21}(C_{ik})u+L_{22}(C_{ik},D_{ik})v+L_{23}(C_{ik},D_{ik})w=-r^2Y-\sum\limits_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{s}}\Big(\mathrm{b_2}\left(v(\xi_i\theta)-V_i(\theta)\right)\frac{\partial}{\partial t}-\\
-\mathrm{c_2}\left(v(\xi_i\theta)-V_i(\theta)\right)\Big);\\
L_{31}(C_{ik})u+L_{32}(C_{ik},D_{ik})v+L_{33}(C_{ik},D_{ik})w=r^2Z-\sum\limits_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{s}}\Big(\mathrm{b_1}\left(w(\xi_i\theta)-W_i(\theta)\right)\frac{\partial}{\partial t}-\\
-\mathrm{c_1}\left(w(\xi_i\theta)-W_i(\theta)\right)\Big);\\
\sum\limits_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{s}}\begin{cases}
\left(\frac{\mathrm{E_i}S_i}{r_{ш}}+\mathrm{b_i}\frac{\partial}{\partial t}\right)\left(\frac{\partial^3 V_i}{\partial\theta^3}+\frac{\partial V_i}{\partial\theta}+\frac{\partial^2 W_i}{\partial\theta^2}+W_i\right)=-r_{ш}^2\rho\mathrm{h}\frac{\partial^2 V_i}{\partial t^2}-b_2\left(V_i-v(\xi_i,\theta)\right)\frac{\partial}{\partial t}-c_2\left(V_i-v(\xi_i,\theta)\right);\\
-\left(\frac{\mathrm{E_i}I_i}{r_{ш}^2}+\mathrm{E_i}S_i+r_{ш}\mathrm{b_i}\frac{\partial}{\partial t}\right)\frac{d^2V_i}{d\theta^2}+\frac{\mathrm{E_i}I_i}{r_{ш}^2}\frac{d^3W_i}{d\theta^3}-\left(E_iS_i+r_{ш}\mathrm{b_i}\frac{\partial}{\partial t}\right)\frac{dW_i}{d\theta}=\\
-r_{ш}^2\rho\mathrm{h}\frac{\partial^2 W_i}{\partial t^2}-b_1\left(W_i-w(\xi_i,\theta)\right)\frac{\partial}{\partial t}-c_1\left(W_i-w(\xi_i,\theta)\right).
\end{cases}
\end{cases} \quad (4)$$

радиальных перемещениях пояса, приходящихся на единицу площади, которая соприкасается с внешней поверхностью оболочки. Коэффициенты c_0 и b_0 определяются из эксперимента. Длину дуги каждого j-го сектора при их необходимом количестве можно определить из выражения $l_j \approx r\theta_j$, где r – радиус срединной поверхности цилиндрической оболочки, тогда жесткость и коэффициент рассеяния энергии каждого сектора определяться элементарными соотношениями:

$$c_j = c_0 dl_j = c_0 S_j \text{ и } c_j = b_0 dl_j = b_0 S_j.$$

Тогда влияние N числа поясов радиальной системы амортизации и M числа секторов каждого пояса на радиальные перемещения цилиндрической оболочки можно таким выражением:

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\left(\mathrm{b_j}\dot{\mathrm{w}}(\xi_\mathrm{i},\theta_\mathrm{j},\mathrm{t}) + \mathrm{c_j}\mathrm{w}(\xi_\mathrm{i},\theta_\mathrm{j},\mathrm{t})\right),$$

которое необходимо добавить в третье уравнение (4). Тогда математическая модель анизотропной цилиндрической оболочки запишется таким образом:

$$\begin{cases} L_{11}(C_{ik})u + L_{12}(C_{ik})v + L_{13}(C_{ik})w = -r^2 X, \\ L_{21}(C_{ik})u + L_{22}(C_{ik},D_{ik})v + L_{23}(C_{ik},D_{ik})w = -r^2 Y - \sum_{i=1}^{s}\left(\mathrm{b_2}\left(v(\xi_i\theta) - V_i(\theta)\right)\frac{\partial}{\partial t} - \right. \\ \left. -\mathrm{c_2}\left(v(\xi_i\theta) - V_i(\theta)\right)\right); \\ L_{31}(C_{ik})u + L_{32}(C_{ik},D_{ik})v + L_{33}(C_{ik},D_{ik})w = r^2 Z - \sum_{i=1}^{s}\left(\mathrm{b_1}\left(w(\xi_i\theta) - W_i(\theta)\right)\frac{\partial}{\partial t} - \right. \\ \left. -\mathrm{c_1}\left(w(\xi_i\theta) - W_i(\theta)\right)\right) + \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\left(b_j\dot{w}(\xi_i,\theta_j,t) + c_j w(\xi_i,\theta_j,t)\right); \\ \sum_{i=1}^{s}\left\{\left(\frac{\mathrm{E_i}S_i}{r_{ш}} + \mathrm{b_i}\frac{\partial}{\partial t}\right)\left(\frac{\partial^3 V_i}{\partial\theta^3} + \frac{\partial V_i}{\partial\theta} + \frac{\partial^2 W_i}{\partial\theta^2} + W_i\right) = -r_{ш}^2\rho\mathrm{h}\frac{\partial^2 V_i}{\partial t^2} - b_2\left(V_i - v(\xi_i,\theta)\right)\frac{\partial}{\partial t} - \right. \\ -c_2\left(V_i - v(\xi_i,\theta)\right); \\ -\left(\frac{\mathrm{E_i}I_i}{r_{ш}^2} + \mathrm{E_i}S_i + r_{ш}\mathrm{b_i}\frac{\partial}{\partial t}\right)\frac{d^2 V_i}{d\theta^2} + \frac{\mathrm{E_i}I_i}{r_{ш}^2}\frac{d^3 W_i}{d\theta^3} - \left(E_i S_i + r_{ш}\mathrm{b_i}\frac{\partial}{\partial t}\right)\frac{dW_i}{d\theta} = -r_{ш}^2\rho\mathrm{h}\frac{\partial^2 W_i}{\partial t^2} - \\ \left. -b_1\left(W_i - w(\xi_i,\theta)\right)\frac{\partial}{\partial t} - c_1\left(W_i - w(\xi_i,\theta)\right).\right. \end{cases} \quad (5)$$

Математическое описание влияния внешних сил на цилиндрическую оболочку

Внешние воздействия на цилиндрическую оболочку подразделяются на осесимметричные и неосесимметричные, которые, в свою очередь, подразделяются на сосредоточенные и распределенные.

Сосредоточенные силы можно описать с помощью функции Дирака $\delta(x)$ [3].

Отметим, что все виды нагрузки имеют нормальное направление к поверхности оболочки. Тогда грузовые члены в уравнении (5) в продольном, окружном и радиальном направлениях можно записать таким образом:

$$X=0,\ Y=0,$$
$$Z = P(nrat^2 + \delta(\xi - 0{,}5at^2)) + R_{ce}\delta(\xi - 0{,}5at^2)\delta(\theta - \theta_j). \quad (6)$$

Разработка математической модели объекта определенных размеров и массы

При разработке математической модели подвижного объекта, выходящего из оболочки под действием давления, примем допущение, что объект имеет в поперечном сечении форму окружности радиуса R, а длина его $L>>R$. Тогда подвижный объект можно рассматривать как однородную балку. Математическая модель однородной балки при учете энергии рассеяния материала и внешней среды при поперечных перемещениях балки и инерции поворота сечений можно представлена в работе [4].

Внешние усилие, действующее на подвижный объект можно представить таким образом:

$$F(x,t) = Q(t)l(t) + \delta(x - 0{,}5at^2)q(x) + c_{1np}(\mathrm{w}(\xi - \xi_{np},\theta,\mathrm{t}) - y(x_{np},\mathrm{t})) + \\ + c_{2np}(\mathrm{w}(\xi - \xi_{np},\theta,\mathrm{t}) - y(x_{np},\mathrm{t}))^3 - c_{1n}(\mathrm{w}(\xi - \xi_n,\theta,\mathrm{t}) - y(x_n,\mathrm{t})), \quad (7)$$

С учетом (7) математическая модель динамической системы оболочка – балка будет выглядеть таким образом (*формула 8*).

Для определения степени взаимного влияния оболочки и кольцевых ребер можно использовать комбинационный метод, который подробно описан в работе [5]. Варьируя параметры кольцевых шпангоутов, прежде всего ширину шпангоута, его высоту и радиус, можно выбрать при известных параметрах оболочки и ширине шпангоута такую величину его радиуса, при которой собственные частоты кольцевого шпангоута, как минимум в два раза больше собственных частот оболочки. Для этого достаточно проверить и сравнить частоты первых форм колебаний оболочки и кольцевого шпангоута.

Тогда в уравнениях (8) вместо вязкоупругих связей между цилиндрической оболочкой и кольцевыми шпангоутами необходимо учесть контактные усилия взаимодействия оболочки и кольцевых ребер [1].

$$
\begin{cases}
L_{11}(C_{ik})u + L_{12}(C_{ik})v + L_{13}(C_{ik})w = 0, \\
L_{21}(C_{ik})u + L_{22}(C_{ik}, D_{ik})v + L_{23}(C_{ik}, D_{ik})w = \sum\limits_{i=1}^{s}\left(\mathrm{b}_2\left(v(\xi_i\theta) - V_i(\theta)\right)\dfrac{\partial}{\partial t} - \mathrm{c}_2\left(v(\xi_i\theta) - V_i(\theta)\right)\right); \\
L_{31}(C_{ik})u + L_{32}(C_{ik}, D_{ik})v + L_{33}(C_{ik}, D_{ik})w = r^2\left[-\sum\limits_{i=1}^{s}\left(\mathrm{b}_1\left(w(\xi_i\theta) - W_i(\theta)\right)\dfrac{\partial}{\partial t} - \right.\right. \\
\left.\left. - \mathrm{c}_1\left(w(\xi_i\theta) - W_i(\theta)\right)\right) + \sum\limits_{i=1}^{N}\sum\limits_{j=1}^{M}\left(b_j\dot{w}(\xi_i, \theta_j, t) + c_j w(\xi_i, \theta_j, t)\right) + P\left(\pi rat^2 + \delta(\xi - 0{,}5at^2)\right) + \right. \\
+ \mathrm{R}_{\text{св}}\delta(\xi - 0{,}5at^2)\delta(\theta - \theta_{\mathrm{j}}) - c_{1np}(\mathrm{w}(\xi - \xi_{np}, \theta, \mathrm{t}) - y(x_{np}, \mathrm{t})) - c_{2np}(\mathrm{w}(\xi - \xi_{np}, \theta, \mathrm{t}) - y(x_{np}, \mathrm{t}))^3 - \\
\left. + c_{1n}(\mathrm{w}(\xi - \xi_n, \theta, \mathrm{t}) - y(x_n, \mathrm{t}))\right]; \\
\sum\limits_{\mathrm{i}=1}^{s}\left\{\left(\dfrac{\mathrm{E_i}S_i}{r_{ш}} + \mathrm{b_i}\dfrac{\partial}{\partial t}\right)\left(\dfrac{\partial^3 V_i}{\partial\theta^3} + \dfrac{\partial V_i}{\partial\theta} + \dfrac{\partial^2 W_i}{\partial\theta^2} + W_i\right) = -r_{ш}^2\rho\mathrm{h}\dfrac{\partial^2 V_i}{\partial t^2} - b_2\left(V_i - v(\xi_i, \theta)\right)\dfrac{\partial}{\partial t} - c_2\left(V_i - v(\xi_i, \theta)\right); \right. \\
- \left(\dfrac{\mathrm{E_i}I_i}{r_{ш}^2} + \mathrm{E_i}S_i + r_{ш}\mathrm{b_i}\dfrac{\partial}{\partial t}\right)\dfrac{d^2 V_i}{d\theta^2} + \dfrac{\mathrm{E_i}I_i}{r_{ш}^2}\dfrac{d^3 W_i}{d\theta^3} - \left(E_i S_i + r_{ш}\mathrm{b_i}\dfrac{\partial}{\partial t}\right)\dfrac{dW_i}{d\theta} = -r_{ш}^2\rho\mathrm{h}\dfrac{\partial^2 W_i}{\partial t^2} - \\
\left. - b_1\left(W_i - w(\xi_i, \theta)\right)\dfrac{\partial}{\partial t} - c_1\left(W_i - w(\xi_i, \theta)\right).\right. \\
EJ\dfrac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho S\left(1 - \dfrac{\partial^2}{\partial x^2}\right)\dfrac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \left(\mu_0 EJ\dfrac{\partial^4}{\partial x^4} + \mu_a\right)\dfrac{\partial y}{\partial t} = Q(t)l(t) + \delta(x - 0{,}5at^2)q(x) + \\
+ c_{1np}(\mathrm{w}(\xi - \xi_{np}, \theta, \mathrm{t}) - y(x_{np}, \mathrm{t})) + c_{2np}(\mathrm{w}(\xi - \xi_{np}, \theta, \mathrm{t}) - y(x_{np}, \mathrm{t}))^3 - \\
- c_{1n}(\mathrm{w}(\xi - \xi_n, \theta, \mathrm{t}) - y(x_n, \mathrm{t})).
\end{cases} \tag{8}
$$

$$
\begin{cases}
L_{11}(C_{ik})u + L_{12}(C_{ik})v + L_{13}(C_{ik})w = 0; \\
L_{21}(C_{ik})u + L_{22}(C_{ik}, D_{ik})v + L_{23}(C_{ik}, D_{ik})w + \mathrm{r}\delta(\xi - \xi_{\mathrm{i}})\sum\limits_{i=1}^{s}\left(a_{1i}v(\xi, \theta) + a_{2i}w(\xi, \theta)\right) = 0; \\
L_{31}(C_{ik})u + L_{32}(C_{ik}, D_{ik})v + L_{33}(C_{ik}, D_{ik})w + \mathrm{r}\delta(\xi - \xi_{\mathrm{i}})\sum\limits_{i=1}^{s}\left(b_{1i}v(\xi, \theta) + b_{2i}w(\xi, \theta)\right) = \\
= r^2\left[P\left(\pi rat^2 + \delta(\xi - 0{,}5at^2)\right) + \mathrm{R}_{\text{св}}\delta(\xi - 0{,}5at^2)\delta(\theta - \theta_{\mathrm{j}}) - c_{1np}(\mathrm{w}(\xi - \xi_{np}, \theta, \mathrm{t}) - \right. \\
\left. - y(x_{np}, \mathrm{t})) - c_{2np}(\mathrm{w}(\xi - \xi_{np}, \theta, \mathrm{t}) - y(x_{np}, \mathrm{t}))^3 + c_{1n}(\mathrm{w}(\xi - \xi_n, \theta, \mathrm{t}) - y(x_n, \mathrm{t}))\right]; \\
EJ\dfrac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho S\left(1 - \dfrac{\partial^2}{\partial x^2}\right)\dfrac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \left(\mu_0 EJ\dfrac{\partial^4}{\partial x^4} + \mu_a\right)\dfrac{\partial y}{\partial t} = Q(t)l(t) + \delta(x - 0{,}5at^2)q(x) + \\
+ c_{1np}(\mathrm{w}(\xi - \xi_{np}, \theta, \mathrm{t}) - y(x_{np}, \mathrm{t})) + c_{2np}(\mathrm{w}(\xi - \xi_{np}, \theta, \mathrm{t}) - y(x_{np}, \mathrm{t}))^3 - c_{1n}(\mathrm{w}(\xi - \xi_n, \theta, \mathrm{t}) - y(x_n, \mathrm{t})).
\end{cases} \tag{9}
$$

Тогда математическую модель динамического поведения системы оболочка – балка с учетом только подкрепляющего эффекта ребер жесткости можно записать таким образом (*формула 9*).

Система дифференциальных уравнений (9) является математической моделью динамической системы оболочка – балка, учитывающая только подкрепляющий эффект ребер жесткости.

В заключение можно сказать, что в статье схематично приведена методика поэтапной разработки математической модели динамической системы оболочка – балка при учете влияния динамики кольцевых шпангоутов на оболочку и при отсутствии такого влияния, когда учитывается только подкрепляющий эффект кольцевых ребер жесткости.

Литература

1. Соломонов Ю.С., Георгиевский В.П., Недбай А.Я., Андрюшин В.А. Методы расчета цилиндрических оболочек из композиционных материалов. М.: Физматлит, 2009. 264 с.
2. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. М.: Наука, 1974. 448 с. с ил.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука. 1973. 832 с. с ил.
4. Филиппов А. П. Колебания деформируемых тел. М.: Машиностроение, 1970. 734 с. с ил.
5. Моисеев К.А. Фазовая нестабильность нелинейных систем: Монография. Серпухов: ВА РВСН имени Петра Великого (филиал в г. Серпухове), 2012. 198 с.

УДК 621.394

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ С КОДОВЫМ ОРТОГОНАЛЬНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ ДАННЫХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГАУССОВА ШУМА И ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

METHOD OF ESTIMATING THE NOISE IMMUNITY OF THE TRANSMISSION SYSTEM WITH ORTHOGONAL DATA COMPRESSION CODE WHEN EXPOSED TO GAUSSIAN NOISE AND IMPULSE NOISE

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

Юрий Владимирович Зеленевский
доктор технических наук, доцент
состоит в распоряжении начальника
ВА РВСН им. Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: 8(903)721-12-61
E-mail: sys1434@mail.ru

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

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

Артём Сергеевич Дурнов
соискатель
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел. 8(985)385-78-74
E-mail: tema070@mail.ru

Аннотация
В статье представлена методика оценки помехоустойчивости системы передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных при воздействии гауссова шума и импульсных помех, которая, в отличие от известных, учитывает воздействие импульсной помехи с различной полосой перекрытия частотного спектра полезного сигнала и позволяет определить оптимальные параметры импульсной помехи, при которых вероятность битовой ошибки максимальна.
Ключевые слова: кодовое ортогональное уплотнение данных, вероятность битовой ошибки, отношение сигнал/шум, отношение сигнал/помеха, полоса частот импульсной помехи, оптимальная импульсная помеха.

Summary
The article presents a method of assessing the noise immunity of the transmission system with a code orthogonal data compaction under the influence of Gaussian noise and pulse noise, which, unlike the known ones, takes into account the impact of pulse noise with a different overlap band of the frequency spectrum of the useful signal and allows to determine the optimal parameters of pulse noise, in which the probability of bit error is maximum.
Keywords: coded orthogonal data summarization, probability of bit error, signal/noise ratio signal/interference, the frequency band of impulse noise, the optimal pulsed interference.

Известные исследования [1] содержат оценки помехоустойчивости системы передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных при воздействии гауссова шума.

В то же время известно [2], что импульсная помеха при достаточной мощности и ширине частотного спектра может парализовать работу системы передачи данных при любом способе кодирования данных. Исследуем влияние импульсной помехи на систему передачи с кодовым

ортогональным уплотнением данных (*рисунок 1*).

В такой системе одновременно и синхронно передаются все разрешенные комбинации ортогонального двоичного кода {*Wal(t)*}, которые однозначно разделяются на приемной стороне при условии, что в качестве копий разрешенных ортогональных кодовых комбинаций в декодерах КД используются их полярные представления {$Wal^{(n)}(t)$}.

В качестве ортогональных кодов {*Wal(t)*} будем использовать известные матрицы Уолша-Адамара [1]. Тогда каждая кодовая комбинация $Wal_i(t)$ переносит только один бит данных с выхода регистра сдвига (RG), но суммарный объем информации равен объему кода *M*, при этом $M=n$, где *n* – длина кодовой комбинации. Выходные двоичные символы {0,1} с выхода RG параллельным кодом поступают на первые входы канальных кодеров (КК), на вторые входы которых поступают в последовательном коде двоичные символы *Wal(t)*. В качестве канальных кодеров используются сумматоры по модулю два, что позволяет создавать на выходе КК двоичный сигнал с расширенным временем (коэффициент расширения равен *n*). На выходах КК символы двоичного кода *Wal(t)* при чередовании 1 и 0 данных инвертируются. Формирователи полярного кода (ФПК) преобразуют входной униполярный код в полярный {±1}. Такое преобразование преследует две цели:

- возможность однозначного разделения ортогональных кодов{*Wal(t)*} на приемной стороне;
- получить энергетический выигрыш декодирования полярных кодов, равным 3 дБ [3].

Сумматор (Σ) формирует на своем выходе многоуровневый групповой сигнал [1], который поступает на первый вход фазового модулятора (ФМ), на второй вход которого подается сигнал несущей частоты $U_m cosw_0 t$. В линии связи на полезный радиосигнал воздействует аддитивная помеха – аддитивный белый гауссовский шум + импульсная помеха {$n(t)+РИП(t)$}. Работа приемной стороны рассмотрена в известной статье [1], где представлены также и статистические характеристики декодирования для сигнала с амплитудной модуляцией и гауссовским шумом.

Исследуем особенности влияния импульсной помехи при фазовой модуляции группового сигнала.

Известно [2], что импульсная помеха на частотной оси представляется как широкополосный гауссовский шум, а ее спектральная плотность мощности перекрывает некоторую часть (ρ) полосы частот, занимаемой полезным сигналом, т.е.

$$\rho = \frac{\Delta F_I}{\Delta F_C}, \qquad (1)$$

где $\Delta F_П$ – полоса частот, занимаемая импульсной помехой;

ΔF_C – полоса частот, занимаемая полезным сигналом.

На временной оси импульсная помеха «накрывает» и искажает некоторое число символов группового сигнала.

При наличии импульсной помехи на входе приемника спектральная плотность мощности суммарной (аддитивной) помехи равна сумме спектральных плотностей мощности импульсной помехи $G_{ИП}$ и собственного шума приемника N_0.

Запишем

$$G_{ИП} = \frac{P_{ИП}}{\rho \Delta F_C}, \qquad (2)$$

где $P_{ИП}$ – мощность импульсной помехи;

$0 \le \rho \le 1$.

Очевидно, если ρ=1, то действие импульсной помехи эквивалентно воздействию непрерывного гауссовского шума и вероятность ошибочного приема бита данных на выходе коррелятора приемника полярного кода равна [3]

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_0 n}{N_0}}\right), \qquad (3)$$

где E_0/N_0 – отношение спектральных плотностей мощности элемента группового сигнала и собственного шума;

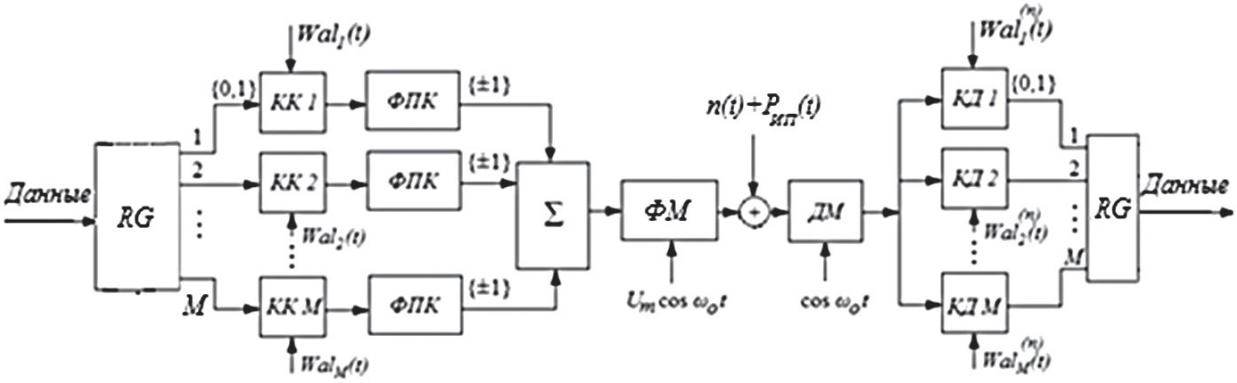


Рис. 1. Структурная схема системы передачи

n – число элементов в групповом сигнале (длина ортогонального кода);

$$Q(x)=\frac{2}{\sqrt{2\pi}}\int_x^{\infty}\exp(-\frac{t^2}{2})dt\,.$$

Примем, что частота повторения импульсной помехи низка, а большинство информационных символов передается в отсутствие помех. Для этого случая оценку вероятности P_b проведем по выражению [2]

$$P_b=0{,}5\rho*erfc\left[\left(\frac{nE_0}{N_0+G_{ИП}}\right)^{0{,}5}\right]+0{,}5(1-\rho)*erfc\left[\left(\frac{nE_0}{N_0}\right)^{0{,}5}\right],\quad(4)$$

где $erfc(x)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_x^{\infty}\exp(-t^2)dt$,

которое используется для оценки помехоустойчивости двоичных фазоманипулированных сигналов при когерентной демодуляции сигнала с энергией бита $E_b=nE_0$.

Так как на практике $N_0<<G_{ИП}$, то выражение (4) для P_b упрощается

$$P_b\cong 0{,}5\rho*erfc\left[\left(\frac{1}{h_0^2 n}+\frac{P_{ИП}}{2\rho n P_c}\right)^{-0{,}5}\right],\quad(5)$$

где $h_0^2=\frac{E_0}{N_0}$;

P_C – мощность полезного сигнала.

Докажем правомочность использования выражения (5) для оценки вероятности P_b как в условиях воздействия гауссовского шума (ρ=1, $\frac{P_{ИП}}{P_C}=0$), так и при наличии импульсной помехи. Для этого выполним расчеты P_b в программной среде MathCAD при ρ=1, $\frac{P_{ИП}}{P_C}=0$ по выражению (5) и сравним значения P_b, полученные по выражению (3), для n=8; 16; 32 с изменяющимся h_0^2 (*таблица 1*).

Таблица 1

Оценка вероятности P_b

h_0^2		0,5	0,7	1	1,5
n=8	$P_{b(выр.3)}$	$4{,}68\cdot10^{-3}$	$8{,}08\cdot10^{-4}$	$6{,}095\cdot10^{-5}$	$9{,}68\cdot10^{-7}$
	$P_{b(выр.5)}$	$4{,}68\cdot10^{-3}$	$8{,}08\cdot10^{-4}$	$6{,}096\cdot10^{-5}$	$9{,}67\cdot10^{-7}$
n=16	$P_{b(выр.3)}$	$6{,}34\cdot10^{-5}$	$2{,}16\cdot10^{-8}$	$1{,}43\cdot10^{-8}$	$4{,}29\cdot10^{-12}$
	$P_{b(выр.5)}$	$6{,}34\cdot10^{-5}$	$2{,}163\cdot10^{-8}$	$1{,}431\cdot10^{-8}$	$4{,}29\cdot10^{-12}$
n=32	$P_{b(выр.3)}$	$1{,}54\cdot10^{-8}$	$2{,}08\cdot10^{-11}$	-	-
	$P_{b(выр.5)}$	$1{,}54\cdot10^{-8}$	$2{,}082\cdot10^{-11}$	-	-

Анализ *таблицы 1* показывает:

- в условиях воздействия гауссова шума выражения (3) и (5) дают одинаковые оценки вероятности P_b при $h_0^2=const$;
- выражение (5) более общее, его можно использовать для оценки вероятности P_b как в условиях гауссова шума, так и при наличии импульсной помехи.

Графики зависимости (выражение (5)) вероятности P_b от h_0^2 при $\frac{P_{ИП}}{P_C}=2$ для различных значений длины кода n=(8;16;32;64;128) и ρ=(0,15;0,5;1) представлены на *рисунках 2-5*.

Анализ графиков показывает:

- с ростом числа элементов в групповом сигнале n вероятность ошибочного приема бита сообщения P_b падает до нескольких порядков при $h_0^2=const$;
- с ростом ρ (*рисунок 3*) вероятность P_b также снижается для $h_0^2=const$, $\frac{P_{ИП}}{P_C}=const$, n=const.

Точные значения вероятности P_b при $\frac{P_{ИП}}{P_C}=2$ для различных значений длины кода n, h_0^2 и ρ представлены в *таблице 2*.

Таблица 2

Оценка вероятности $P_b=f(n, h_0^2, \rho)$ при $\frac{P_{ИП}}{P_C}=2$

ρ=0,15	n=16	h_0^2	0,7	1,0	10	20
		P_b	$7{,}0\cdot10^{-3}$	$6{,}15\cdot10^{-3}$	$4{,}45\cdot10^{-3}$	$4{,}45\cdot10^{-3}$
	n=32	h_0^2	0,7	3,9	10	20
		P_b	$7{,}34\cdot10^{-4}$	$3{,}55\cdot10^{-4}$	$3{,}15\cdot10^{-4}$	$3{,}1\cdot10^{-4}$
	n=64	h_0^2	0,7	1,0	4	10
		P_b	$1{,}05\cdot10^{-5}$	$6{,}55\cdot10^{-6}$	$2{,}54\cdot10^{-6}$	$2{,}05\cdot10^{-6}$
	n=128	h_0^2	0,7	1,0	4	10
		P_b	$2{,}79\cdot10^{-9}$	$1{,}12\cdot10^{-9}$	$1{,}76\cdot10^{-10}$	$1{,}15\cdot10^{-10}$
ρ=0,5	n=16	h_0^2	0,7	1,0	4	10
		P_b	$1{,}12\cdot10^{-3}$	$5{,}4\cdot10^{-4}$	$8{,}13\cdot10^{-5}$	$4{,}74\cdot10^{-5}$
	n=32	h_0^2	0,7	1,0	2	4
		P_b	$7{,}51\cdot10^{-6}$	$1{,}9\cdot10^{-6}$	$2{,}09\cdot10^{-7}$	$4{,}83\cdot10^{-8}$
	n=64	h_0^2	0,7	1,0	-	-
		P_b	$4{,}9\cdot10^{-10}$	$2{,}99\cdot10^{-11}$	-	-
ρ=1	n=16	h_0^2	0,7	1,0	2	4 / 10
		P_b	$2{,}8\cdot10^{-4}$	$6{,}22\cdot10^{-5}$	$3{,}83\cdot10^{-6}$	$4{,}2\cdot10^{-7}$ / $6{,}89\cdot10^{-8}$
	n=32	h_0^2	0,7	1,0	2	4
		P_b	$2{,}8\cdot10^{-7}$	$1{,}49\cdot10^{-8}$	$6{,}39\cdot10^{-11}$	$8{,}35\cdot10^{-13}$
	n=64	h_0^2	0,6	-	-	-
		P_b	$4{,}0\cdot10^{-12}$	-	-	-

Исследуем влияние параметра ρ на вероятность P_b при различных значениях h_0^2, n, $\frac{P_{ИП}}{P_C}$. Особенность ρ проявляется в том, что, с одной стороны, увеличение ρ вызывает прямопропорциональный рост вероятности P_b, а с другой стороны, уменьшение ρ способствует увеличению мощности $P_{ИП}$. По выражению (5) рассчитаны значения P_b в зависимости от n, h_0^2, $\frac{P_{ИП}}{P_C}$, ρ (*таблица 3*).

Анализ *таблицы 3* показывает:

- при $n=const$, $h_0^2 = const$, $\frac{P_{ИП}}{P_C} = const$ во всех случаях имеется значение ρ, при котором вероятность ошибочного приема бита P_b принимает максимальное значение (выделено жирным шрифтом), т.е. существует оптимальная импульсная помеха ($\rho_{опт}$), максимизирующая вероятность P_b;
- при изменении n, h_0^2, $\frac{P_{ИП}}{P_C}$ значение $\rho_{опт}$ также изменяется, однако при увеличении n при $h_0^2 = const$, $\frac{P_{ИП}}{P_C} = const$ значение $\rho_{опт}$ уменьшается;
- с увеличением $\rho > \rho_{опт}$ значение P_b уменьшается, достигая минимального предела при $\rho = 1$.

Математически определить точное значение $\rho_{опт}$ по выражению (5) невозможно, т.к. ρ находится в нижнем пределе интеграла.

Это можно сделать в некотором приближении, если использовать асимптотическое приближение функции

$$erfc(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}x}\exp(-x^2),$$

и при условии, что $N_0 << nh_0^2$. В этом случае вероятность P_b будет определяться

$$P_b \cong 0{,}5\rho * erfc\left[\left(\frac{P_{ИП}}{2\rho n P_C}\right)^{-0{,}5}\right] = 0{,}5\rho\frac{1}{\sqrt{\pi}\left(\frac{P_{ИП}}{2\rho n P_C}\right)^{-0{,}5}}\exp\left[\left(-\frac{P_{ИП}}{2\rho n P_C}\right)^{-1}\right]. \quad (6)$$

Анализ выражения (6) позволяет выявить противоречие между значениями ρ и P_b при постоянных параметрах полезного сигнала. Действительно, что при увеличении ρ значение частотной полосы помехи $\Delta F_П$ увеличивается, а энергия помехи уменьшается, и это приводит к уменьшению вероятности P_b. С другой стороны, при уменьшении ρ значение $\Delta F_П$ уменьшается, энергия помехи увеличивается, а это уже ведет к увеличению вероятности P_b.

Утверждение. Существует некоторое оптимальное значение $\rho_{опт}$, при котором помеха будет максимально эффективной при постоянных параметрах $P_{ИП}$, n, P_C и вероятность P_b достигнет своего максимума.

Для доказательства правомочности сделанного утверждения определим производную $dP_b/d\rho$ и приравняем ее к нулю.

$$\frac{dP_b}{d\rho} = -\frac{n\rho}{\sqrt{\pi}\frac{P_{ИП}}{P_C}}\sqrt{\frac{P_{ИП}}{\rho n P_C}}\exp\left(-2\rho\frac{P_{ИП}}{P_C}n\right) + \left(\frac{-\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{P_{ИП}}{\rho n P_C}}}{4\sqrt{\pi}} + \frac{\sqrt{\frac{P_{ИП}}{2\rho n P_C}}}{2\sqrt{\pi}}\right)\exp\left(-2\rho\frac{P_{ИП}}{P_C}n\right).$$

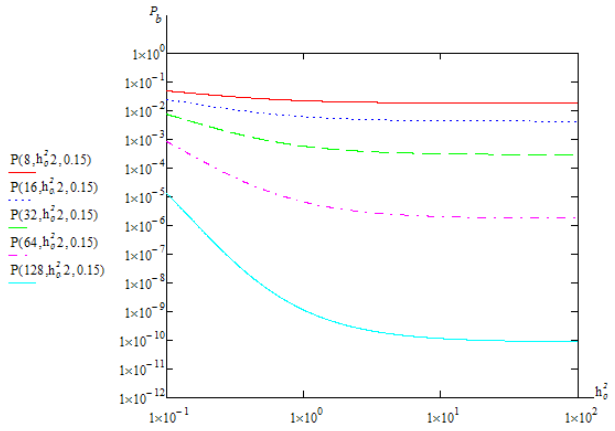


Рис. 2. Графики зависимости $P_b(h_0^2)$ при $\frac{P_{ИП}}{P_C} = 2$, n=(8;16;32;64;128), ρ=0,15

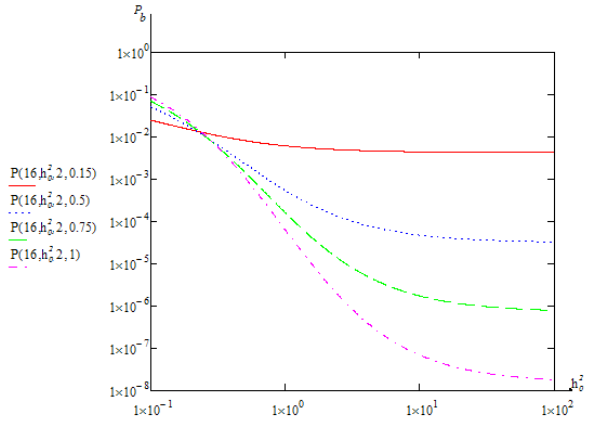


Рис. 3. Графики зависимости $P_b(h_0^2)$ при $\frac{P_{ИП}}{P_C} = 2$, n=16, ρ=(0,15;0,5;0,7;1)

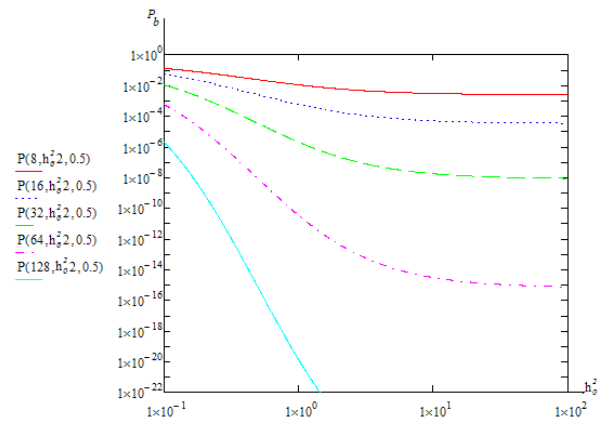


Рис. 4. Графики зависимости $P_b(h_0^2)$ при $\frac{P_{ИП}}{P_C} = 2$, n=(8;16;32;64;128), ρ=0,5

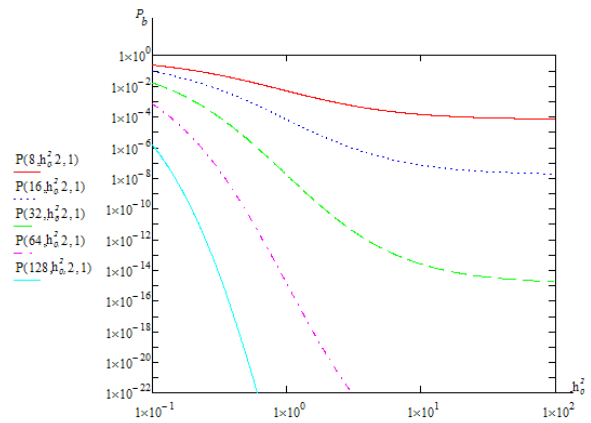


Рис. 5. Графики зависимости $P_b(h_0^2)$ при $\frac{P_{ИП}}{P_C} = 2$, n=(8;16;32;64;128), ρ=1

Таблица 3
Значения $P_b=f(n,\ h_0^2,\ \frac{P_{ИП}}{P_C},\ \rho)$

n=8; $h_0^2=1$	$\frac{P_{ИП}}{P_C}=0,5$	ρ	10^{-3}	$3\cdot10^{-3}$	10^{-2}	$2,23\cdot10^{-2}$	**$3,5\cdot10^{-2}$**	0,049	0,1	0,3	0,6	1,0
		P_b	$8\cdot10^{-4}$	$1,99\cdot10^{-3}$	$4,33\cdot10^{-3}$	$5,63\cdot10^{-3}$	**$5,64\cdot10^{-3}$**	$5,16\cdot10^{-3}$	$3,25\cdot10^{-3}$	$9,44\cdot10^{-4}$	$4,65\cdot10^{-4}$	$3,47\cdot10^{-4}$
	$\frac{P_{ИП}}{P_C}=1$	ρ	10^{-3}	$3\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,03	**0,05916**	-	0,1	0,3	0,6	1,0
		P_b	$8,59\cdot10^{-4}$	$2,27\cdot10^{-3}$	$5,76\cdot10^{-3}$	10^{-2}	**0,01144**		0,0102	$4,31\cdot10^{-3}$	$1,87\cdot10^{-3}$	10^{-3}
n=32; $h_0^2=1$	$\frac{P_{ИП}}{P_C}=1$	ρ	10^{-3}	$3\cdot10^{-3}$	10^{-2}	**0,0139**	0,03		0,1	0,3	0,48	-
		P_b	$7,21\cdot10^{-4}$	$1,61\cdot10^{-3}$	$2,67\cdot10^{-3}$	**$2,7\cdot10^{-3}$**	$1,7\cdot10^{-3}$		$1,1\cdot10^{-3}$	$2,94\cdot10^{-7}$	$1,06\cdot10^{-8}$	-
	$\frac{P_{ИП}}{P_C}=2$	ρ	10^{-3}	10^{-2}	**0,025**	0,04	0,1	0,3	1	-		
		P_b	$8\cdot10^{-4}$	$4,26\cdot10^{-3}$	**$5,3\cdot10^{-3}$**	$4,66\cdot10^{-3}$	$1,6\cdot10^{-3}$	$3,53\cdot10^{-5}$	$1,54\cdot10^{-8}$			
n=128; $h_0^2=1$	$\frac{P_{ИП}}{P_C}=1$	ρ	10^{-3}	**$3\cdot10^{-3}$**	10^{-2}	0,03	0,05	0,1	-			
		P_b	$4,75\cdot10^{-4}$	**$6,5\cdot10^{-4}$**	$2,51\cdot10^{-4}$	$4,297\cdot10^{-6}$	$6,87\cdot10^{-8}$	$6,5\cdot10^{-12}$				
	$\frac{P_{ИП}}{P_C}=2$	ρ	10^{-3}	**$5\cdot10^{-3}$**	10^{-2}	$3\cdot10^{-2}$	0,1	0,2				
		P_b	$7,21\cdot10^{-4}$	**$1,31\cdot10^{-3}$**	$1,11\cdot10^{-3}$	$1,91\cdot10^{-4}$	$1,41\cdot10^{-7}$	$1,155\cdot10^{-11}$				
n=128; $h_0^2=2$	$\frac{P_{ИП}}{P_C}=1$	ρ	10^{-3}	**$3\cdot10^{-3}$**	10^{-2}	0,03	0,06	0,1				
		P_b	$4,75\cdot10^{-4}$	**$6,48\cdot10^{-4}$**	$2,44\cdot10^{-4}$	$3,23\cdot10^{-6}$	$4,15\cdot10^{-9}$	$8,96\cdot10^{-13}$				
	$\frac{P_{ИП}}{P_C}=2$	ρ	10^{-3}	$3\cdot10^{-3}$	**$5,6\cdot10^{-3}$**	10^{-2}	0,03	0,07	0,1	0,2	-	
		P_b	$7,21\cdot10^{-4}$	$1,15\cdot10^{-3}$	**$1,32\cdot10^{-3}$**	$1,1\cdot10^{-3}$	$1,75\cdot10^{-4}$	$2,26\cdot10^{-6}$	$7,91\cdot10^{-8}$	$1,56\cdot10^{-12}$		

Несложные преобразования при $dP_b/d\rho=0$ позволяют получить конечное выражение

$$\rho_{ОПТ}=\frac{0,25}{n}\frac{P_{ИП}}{P_C}, \qquad (7)$$

анализ которого показывает:

- увеличение длины кода n снижает значение $\rho_{опт}$, что потребует увеличение энергии импульсной помехи;
- при постоянном $P_C=const$ увеличение мощности импульсной помехи вызывает увеличение $\rho_{опт}$, и в этом случае можно уменьшить энергию помехи.

В свою очередь, зная $\rho_{опт}$, можно получить приближенное аналитическое выражение для $P_{b\ max}$ в виде

$$P_b\cong 0,5\frac{0,25}{n}\frac{P_{ИП}}{P_C}erfc\left[\left(\frac{P_{ИП}}{2\frac{0,25}{n}\frac{P_{ИП}}{P_C}nP_C}\right)^{-0,5}\right]=\frac{0,061}{n}\frac{P_{ИП}}{P_C}. \qquad (8)$$

Проверим соответствие полученных приближенных значений $\rho_{опт}$ и $P_{b\ max}$ табличным (*таблица 3*).

Пример 1. Значения $n=8$, $\frac{P_{ИП}}{P_C}=0,5$ при $h_0^2=1$, которым соответствует $\rho_{опт}=1,56\cdot10^{-2}$ (по *таблице 3* значение $\rho_{опт}=3,5\cdot10^{-2}$), $P_{b\ max}=3,813\cdot10^{-3}$ (по *таблице 3* значение $P_{b\ max}=5,64\cdot10^{-3}$).

Пример 2. Значения $n=64$, $\frac{P_{ИП}}{P_C}=2$ при $h_0^2=1$, которым соответствует $\rho_{опт}=7,81\cdot10^{-3}$ (по *таблице 3* значение $\rho_{опт}=1,26\cdot10^{-2}$), $P_{b\ max}=1,91\cdot10^{-3}$ (по *таблице 3* значение $P_{b\ max}=2,71\cdot10^{-3}$).

Примеры 1 и *2* позволяют сделать выводы о доказательстве сделанного утверждения.

Таким образом, полученные выражения для $\rho_{опт}$ и $P_{b\ max}$ с достаточной для практики точностью позволяют определить оптимальную полосу поражения спектра полезного сигнала импульсной помехой, при которой будет наблюдаться $P_{b\ max}$. Представленные выражения (5-8) позволяют оценить помехоустойчивость системы передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных при воздействии гауссова шума и импульсной помехи.

Литература

1. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Зеленевский А.В., Дурнов А.С. Статистические характеристики системы передачи с кодовым ортогональным уплотнением данных при воздействии гауссова шума // Электросвязь, 2018. №7. С.42-45.
2. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляцией псевдослучайной последовательностью / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев, В.И. Шестопалов. М.: РадиоСофт, 2011. 548 с.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд., испр. Пер. с англ. М.: Вильямс, 2007. 1104 с.

УДК 629.396.966

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОРАЖЕНИЯ РЭС

ANALYSIS OF METHODS AND TECHNICAL SOLUTIONS OF SYSTEMS OF FUNCTIONAL DESTRUCTION OF REM

Владимир Григорьевич Дмитриев
кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник
Институт динамики геосфер РАН
Адрес: 119334, Москва,
Ленинский проспект, д. 38, к. 1
Тел.: 8 (495) 939-79-89

Юрий Митрофанович Перунов
доктор технических наук, профессор
генеральный конструктор средств РЭБ
главный научный сотрудник
Институт динамики геосфер РАН
Адрес: 119334, Москва,
Ленинский проспект, д. 38, к. 1
Тел.: 8 (495) 939-79-89

Александр Ильич Куприянов
доктор технических наук, профессор
профессор
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)
Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: 499 (158) 43-33

Аннотация
Рассматривается конфликт в информационном пространстве, предусматривающий силовое деструктивное воздействие на радиоэлектронные устройства и системы мощными электромагнитными полями.
Ключевые слова: взрывные генераторы, информационный конфликт, функциональное поражение, электромагнитный импульс.

Summary
The conflict in an information field, providing power destructive influence on radio-electronic devices and systems is considered by powerful electromagnetic fields.
Keywords: explosive generators, the information conflict, functional defeat, an electromagnetic impulse.

О термине «Функциональное поражение»

Среди множества средств и методов из арсенала современной радиоэлектронной борьбы (РЭБ) ниже обсуждаются только вопросы функционального поражения (ФП) электронных компонентов сильным электромагнитным полем. В литературе как синонимы термина «оружие функционального поражения» (ОФП) используются словосочетания «лучевое оружие», «электромагнитное оружие» (ЭМО), «микроволновое оружие». Каждый из перечисленных терминов по-своему отражает существенные черты этого нового класса средств РЭБ и тактики их применения, акцентируя внимание на поражении компонентов электронных устройств сильными электромагнитными полями (ЭМП).

Современный уровень развития техники не позволяет создать СВЧ-оружие, способное обеспечить физическое уничтожение большинства макроскопических объектов [3]. Однако мощное СВЧ-излучение может оказывать специфическое деструктивное воздействие на электронные компоненты средств и систем. Совокупность генератора мощного излучения, специального источника питания и подсистемы информационного обеспечения (средства разведки), принято называть сверхвысокочастотным оружием функционального поражения (СВЧО ФП). Появление СВЧО ФП обусловлено двумя главными причинами.

1. На современном этапе развития техническая цивилизация пребывает в эре микроэлектроники. Сейчас создаются и используются приборы с субмикронными размерами

активных областей. В перспективе размеры станут сравнимыми с длиной волны де Бройля электрона и длиной его свободного пробега. Микроминиатюризация электронной техники, уменьшая уровни энергии поражающих внешних воздействий, облегчает ФП. Так *рисунок 1* иллюстрирует тенденцию уменьшения энергии, вызывающей деструктивные изменения компонентов электронных систем и устройств по мере совершенствовании и роста возможностей элементной базы [2].

2. Обозначились значительные успехи создания источников мощного электромагнитного излучения (ЭМИ) на основе плазменной релятивистской СВЧ-электроники и быстрой кумуляции магнитного потока при деформации металлических токонесущих оболочек под действием

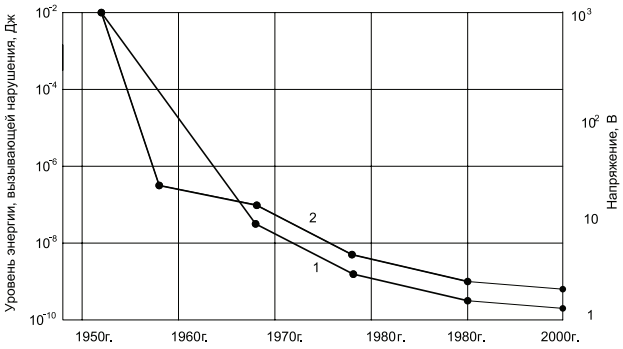


Рис. 1. Динамика электронных систем:
1 – энергия, вызывающая разрушение; 2 – напряжение питания

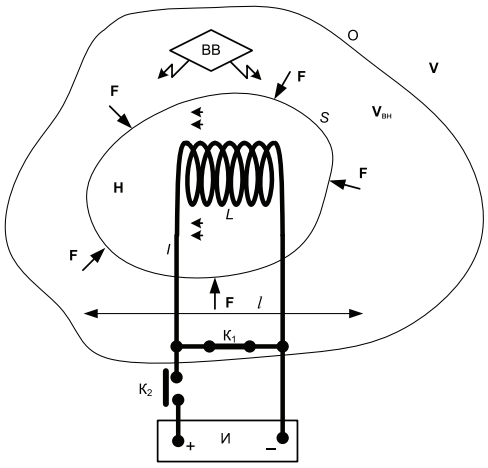


Рис. 2. Схема накопления и высвобождения энергии магнитного поля в ВМГ:
L – катушка соленоида с током *I*; ВВ – взрывчатое вещество; ***V***, $V_{вн}$ – соответственно внешняя и внутренняя области; *S* – внутренняя оболочка; *O* – внешняя защитная оболочка; *l* – усредненный линейный размер внутреннего объема; ***F*** – сила давления продуктов взрыва; K_1 и K_2 – ключи; *И* – источник постоянного тока

сверхвысоких давлений во взрывомагнитных (ВМГ) и магнитогидродинамических (МГД) генераторах электрической энергии.

Накопление и высвобождение энергии во взрывмагнитном генераторе иллюстрируется схемой (*рисунок 2*).

В выделенную область *V* помещен соленоид *L*, который с помощью ключа K_2 (ключ K_1 нормально разомкнут) подключен источник постоянного тока *И*. Через некоторое время ключ K_2 размыкается, а ключ K_1 замыкает соленоид *L* накоротко. В результате в соленоиде начинает циркулировать постоянный ток *I*. Постоянный ток в цепи не способен вызвать электромагнитного излучения, и поэтому всю запасенную в объеме *V* энергию содержит магнитное поле

$$Э = Э^{м} = \frac{1}{2}\int_{V} \mu H^2 dV,$$

где *H* – напряженность соленоидального (внутри соленоида *L*) магнитного поля.

Взрыв боеприпаса ВВ в области $V_{вн}$, ограниченной прочной стенкой *O*, приводит к воздействию на внутреннюю поверхность *S* силы взрыва ***F***. Под действием этой силы внутренний контур *S* сжимается, индукция линий магнитного поля увеличивается, ток *I* в катушке *L* растет и после разрыва внутреннего контура *S* энергия *Э* в объеме *V* убывает $\frac{dЭ(t)}{dt} < 0$.

А это означает, что область *V* начинает работать в режиме отдачи энергии, излучая волны в окружающее пространство, т.е. формируя электромагнитный импульс (*рисунок 3*).

В магнитогидродинамическом генераторе расширяющиеся продукты детонации взрывчатого вещества (источника рабочего тела) проталкивают электропроводящую плазму через поперечное магнитное поле МГД-канала. Под действием магнитного поля формируются противоположно направленные потоки носителей зарядов. Заряды достигают электродов, вмонтированных в стенки МГД канала. Между электро-

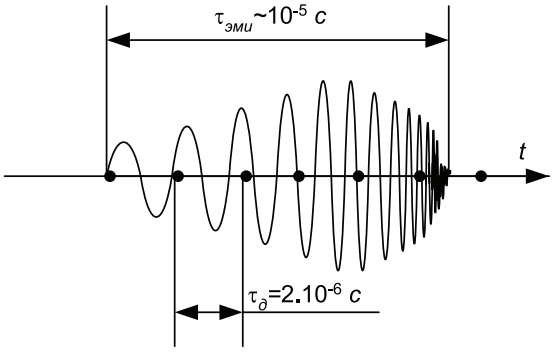


Рис. 3. Осциллограмма ЭМИ, полученного при срабатывании ВМГ

дами возникает ток. Электроды МГД-канала соединяются с нагрузкой (*рисунок 4*).

Для противодействия информационным системам в составе средств вооружения и военной техники долгое время использовались средства двух классов. Во-первых, это средства РЭБ, использующие сравнительно малую энергию для нанесения информационного ущерба за счет действия помех. Во-вторых, это высокоточное оружие, самонаводящееся на источники излучения. Прежде всего – побочного и непреднамеренного излучения. За такими средствами поражения исторически закрепилось название ПРР – противорадиолокационные ракеты. Применение таких средств поражения сопровождается рассеянием на порядки больших уровней энергии.

Средства функционального поражения занимают промежуточное положение на шкале энергетики средств РЭБ (*рисунок 5*).

Используемая оружием ФП энергия больше, чем энергия помех для информационного поражения, но меньше той, которая вызывает физическое разрушение технических объектов, содержащих и несущих информационные системы.

Исходные данные создания средств функционального поражения РЭС

Испытания ядерного оружия продемонстрировали эффект формирования мощного электромагнитного импульса (ЭМИ), воздействие которого на электронные компоненты РЭС приводит к изменению их функциональных возможностей, вплоть до выхода из строя. Особенно высокая эффективность ЭМИ проявилась при высотных ядерных взрывах. В СССР и в США было произведено 15 ядерных взрывов на высотах 10-480 км мощностью от единиц килотонн до нескольких мегатонн в тротиловом эквиваленте (1 Кт ТНТ = 4,184 МДж).

При высотном ядерном взрыве последовательно формируется два ЭМИ с интервалом 10 с. Первый длительностью ~ 20 мкс и передним фронтом 1-5 нс и второй длительностью до 20 с и более с фронтом 4-6 с.

Феномен формирования ЭМИ и анализ его действия определили появление нового направления теории и техники РЭБ. Это направление предусматривало создание радиоэлектронных средств, генерирующих излучения, аналогичные ЭМИ ядерного взрыва для деструктивного воздействия на элементы радиоэлектронных систем и средств (РЭС). Это направление в настоящее время и име-

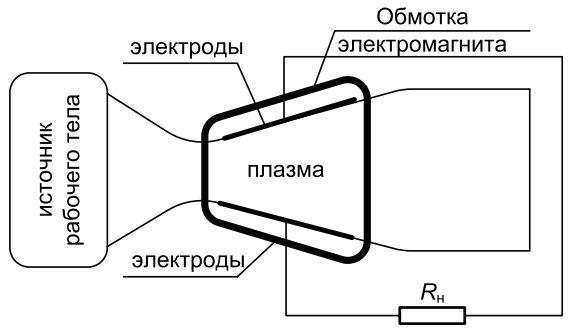


Рис. 4. Схема МГД-генератора

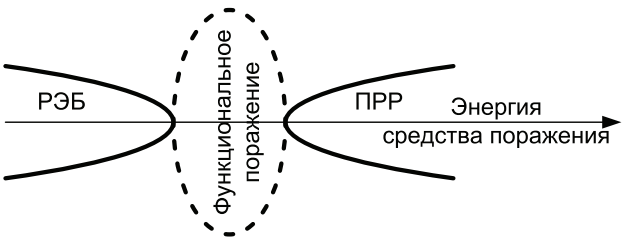


Рис. 5. Энергетика средств радиоэлектронной борьбы

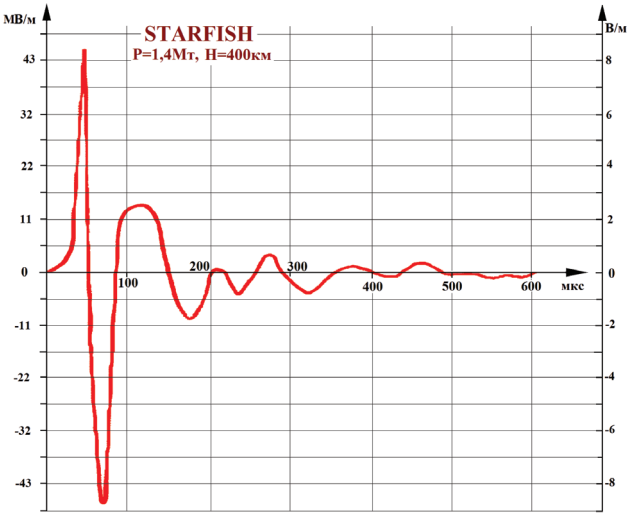


Рис. 6. ЭМИ импульса высотного ядерного взрыва на дальности 5400 км

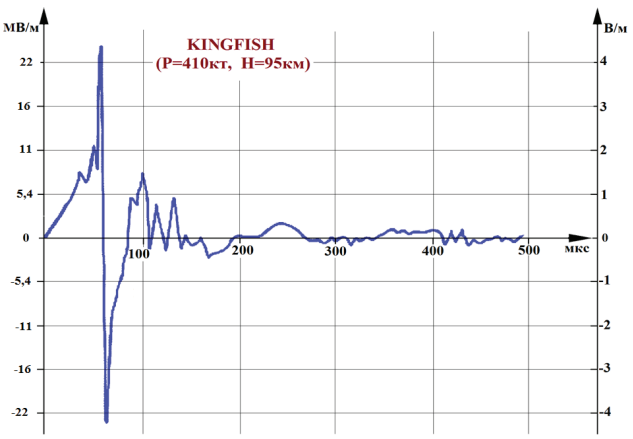


Рис. 7. ЭМИ импульса высотного ядерного взрыва на дальности 5400 км

нуется функциональным поражением. Уже на первых этапах разработки и исследования средств ФП было установлено, что эффективность воздействия ЭМИ определяется его длительностью и, прежде всего, длительностью фронта.

На *рисунках 6-7* представлены осциллограммы ЭМИ высотных ядерных взрывов.

Зависимость формы второго ЭМИ ядерного взрыва иллюстрируется осциллограммой (*рисунок 7*).

Имеющиеся оценки свидетельствуют о том, что ЭМИ уносит до 80% энергии высотного ядерного взрыва и приводит к функциональному поражению микроэлектронных компонентов РЭС на площади порядка миллиона километров [2].

Критериальные уровни поражения элементов РЭС

Устойчивость элементной базы современных РЭС против деструктивного воздействия ЭМИ зависит от множества факторов. Уверенно можно утверждать лишь то, что устойчивость падает с уменьшением размеров *p-n* переходов полупроводниковых приборов и технологического зазора микросхем. Некоторые экспериментальные данные об устойчивости современных полупроводниковых приборов приведена на *рисунке 9*.

Возможность поражения элементной базы, разумеется, зависит и от длительности воздействующего на нее импульса электромагнитного поля, как показано на *рисунке 10*.

Также эффективность функционального поражения зависит от числа импульсов в пачке поражающего излучения, как показано на *рисунке 11*.

При этом эффективность воздействия ЭМИ на РЭС растет с уменьшением длины волны излучения.

Технические возможности создания средств функционального поражения

Серьезная проблема – генерация импульсов сильных электромагнитных полей. Известны различные схемотехнические решения этой проблемы [1, 2]. Во-первых, формирование сверхкоротких видеоимпульсов разрядным ге-

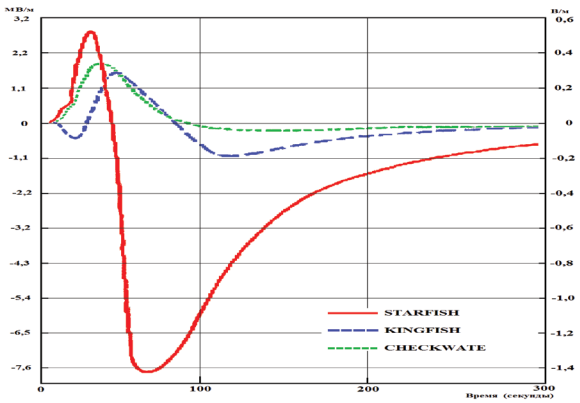


Рис. 8. МГД импульс высотного ядерного взрыва на дальности 5400 км

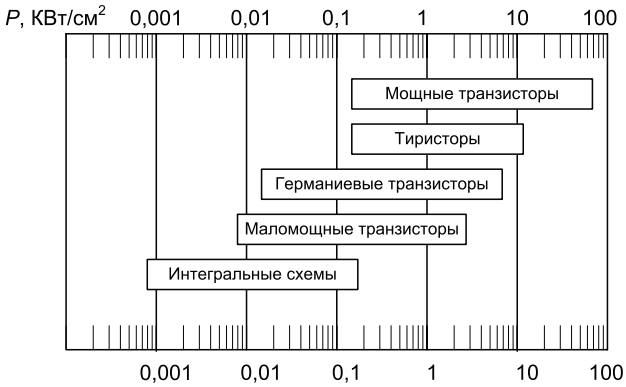


Рис. 9. Критериальные уровни поражения полупроводниковых приборов при длительности электромагнитного импульса 1 нс

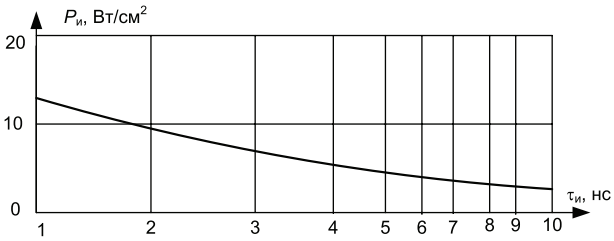


Рис. 10. Зависимость критериального уровня поражения от длительности воздействующего импульса

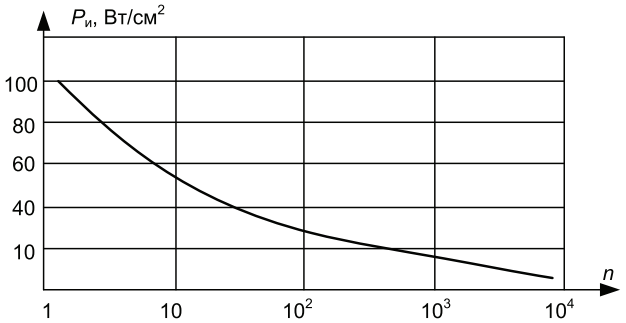


Рис. 11. Зависимость критериального уровня поражения от числа импульсов в пачке при t

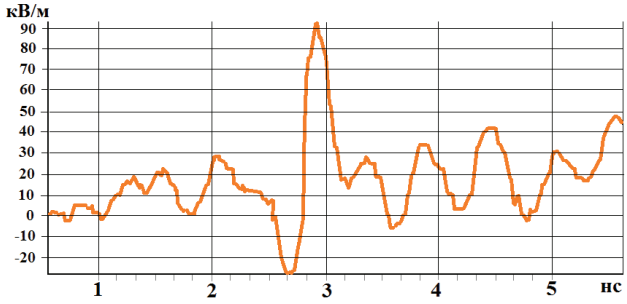


Рис. 12. ЭМИ разрядного генератора. Длительность одиночного импульса 0,2 нс

нератором. Типичная форма такого импульса представлена на *рисунке 12*.

На *рисунке 13* представлены временные и спектральные характеристики импульсов, формируемых генератором на диодах с запаздывающим лавинным пробоем (ДЗЛП), а на *рисунке 14* осциллограммы двуполярных импульсов такого генератора.

Сверхкороткие импульсы могут создаваться МГД-генератором. На *рисунке 15* представлена осциллограмма ЭМИ, создаваемого МГД генератором.

Другой пример использования принципа прямого преобразования энергии взрыва в энергию мощного электромагнитного импульса – это взрывомагнитный генератор (ВМГ). Генератор может передавать энергию в электрическую нагрузку. Такой нагрузкой может служить диод с виртуальным катодом (виркатор). Радиоимпульс, формируемый виркатором, представлен осциллограммой (*рисунок 16*).

Потенциальная эффективность средств функционального поражения

Таким образом, полученные оценки возможностей создания мощных ЭМИ и эффективности применения ЭМИ и СВЧ ЭММИ для функционального поражения элементов РЭС позволяют сформулировать следующие выводы.

1. Эффективность функционального поражения РЭС мощным ЭМИ определяется энергией импульса, т. е. произведением длительности импульса на мощность. При этом определяющее влияние на эффективность поражения оказывает ширина спектра ЭМИ. Оценки показывают, что для функционального поражения РЭС на дальностях порядка 10 км необходимо создать ЭМИ мощностью до 1 ТВт.

2. Эффективность функционального поражения определяется параметрами ЭМИ. При этом предпочтительно использование для функционального поражения СВЧ ЭМИ.

Литература

1. Взрывные генераторы мощных импульсов электрического тока / Под ред. В.Е.Фортова. М.: Наука, 2002. 399 с.

2. Добыкин В.Д., Куприянов А.И., Пономарёв В.Г., Шустов Л.Н. Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем. М.: Вузовская книга, 2007. 468 с.

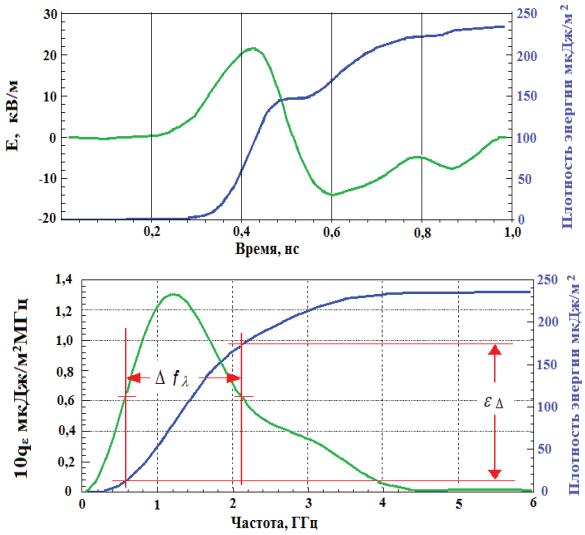


Рис. 13. Временные и спектральные характеристики импульсов генератора на ДЗЛП

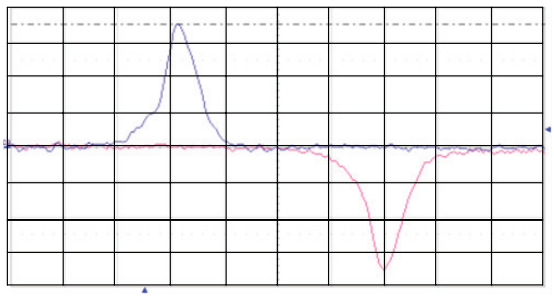


Рис. 14. Осциллограммы двухполярного импульса ДЗЛП

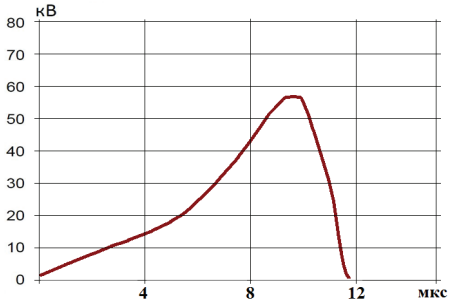


Рис. 15. ЭМИ двухкаскадного МГД

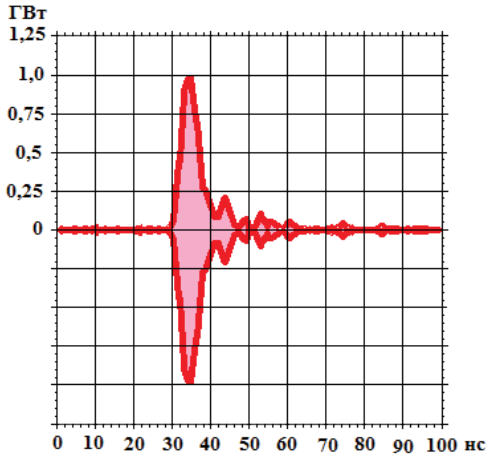


Рис. 16. СВЧ ЭМИ виркатора. Частота заполнения радиоимпульса 3,6 ГГц

УДК 530.145.1, 681.142.2, 681.3.05

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦЕЛОСТНОСТИ УНИТАРНОГО КОДА КОМПЬЮТЕРА С ЖЕСТКОЙ ЛОГИКОЙ ДЛЯ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ УНИТАРНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НАД КУБИТАМИ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА

ENSURING THE INTEGRITY OF A COMPUTER UNITARY CODE WITH A RIGID LOGIC TO MEET THE REQUIREMENTS OF A UNITARY TRANSFORMATION ABOVE KUBITS OF A QUANTUM COMPUTER

Евгений Викторович Крехов
кандидат технических наук
главный консультант
ООО «Алмаз-Антей управленческое консультирование»
Адрес: 129226, Москва, проспект Мира, д. 125, строение 3
доцент
Московский технологический университет (МТУ)
Институт комплексной безопасности и специального приборостроения (МИРЭА)
Адрес: 107076, Москва, ул. Стромынка, д. 20
Тел.: +7 (4967) 36-25-76
E-mail: bitrik@yandex.ru

Виктор Евгеньевич Крехов
начальник вычислительного отдела
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (915) 122-92-97
E-mail: bitrik@yandex.ru

Игорь Викторович Крехов
кандидат технических наук, доцент
начальник кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (4967) 76-02-34
E-mail: bitrik@yandex.ru

Руслан Адамович Турбал
кандидат технических наук
начальник кафедры информационно-измерительных систем контроля за ядерными взрывами
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (916) 808-54-29
E-mail: rusladatur@mail.ru

Аннотация

Описано решение проблемы снижения ошибок управления традиционных и квантовых компьютеров. Уменьшение ошибок управления компьютеров связывается с разработкой логики перезаписи бинарной информации памяти триггеров и схемотехникой счетчиков. Совершенствование управляющего кода обеспечит целостность обработанной информации, позволит управлять перезаписью информации равновероятных двухуровневых битов и вероятностных суперпозиций кубитов, измерять их запутанные состояния с более высокой эффективностью и производительностью.

Ключевые слова: триггер, счетчик, унитарный код, бит, кубит, управление компьютера, целостность.

Summary

The solution of the problem of reducing the control errors of traditional and quantum computers is described. Reduction of computer control errors is associated with the development of logic for rewriting binary information of trigger memory and meter circuitry. Improving the control code will ensure the integrity of the processed information, allow you to manage the overwriting of information of equally probable two-level bits and probabilistic superpositions of qubits, measure their entangled states with higher efficiency and performance.

Keywords: trigger, counter, unitary code, bit, qubit, computer control, integrity.

Введение

Современные традиционные компьютеры (ТК) чрезвычайно несовершенны, так как достоверность результатов их работы недостаточна для удовлетворения требованиям эффективности по производительности, энергопотреблению и помехозащищенности. ТК испытывают кризис больших количеств логических переходов, определяемых законом Мура [1-3]. Использование ТК для управления квантовыми компьютерами (КК) необходимо, но проблематично ввиду неудовлетворения требованиям инициализации,

унитарного преобразования над кубитами и необходимости высокой точности измерения их состояний. Проблема возникает из-за высокой вероятности ошибок аналогового управления воздействующих на кубиты импульсов, параметры которых определяются цифровым управлением ТК. Такое положение, сложившееся в вычислительной технике, объясняется несовершенством командного двоичного управления введенного фон Нейманом для удешевления ТК [2, 3]. Кризис закона Мура преодолеть нельзя пока существует безысбыточное управление с вторичным перекодированием управляющего кода. Необходим иной подход к логике бинарной перезаписи информации для того, чтобы избавиться от использования двоичной системы счисления при управлении ТК. Отход от гарвардской системы управления ТК к пристонской архитектуре или иной является полумерой, неспособной решить проблему. Исследователи мало внимания уделяют решению проблем нарушения информационной безопасности из-за нерешенности дисгармонии двоичных преобразований. Возникающий при этом компромисс метрологических и вычислительных требований к объему, быстродействию, точности обработки информации нуждается в разрешении некоторых противоречий. Противоречия связаны с состоянием логики перезаписи бинарной информации памяти триггеров и синтезом из них последовательностных узлов. По нашему мнению еще недоисследованы причины метастабильности битов, что затрудняет обеспечение целостности вероятностных кубитов с их запутанностью. Под целостностью информации, согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 17999-2005 Р, понимается ее достоверность и полнота, а также методы ее обработки, которые в настоящее время еще не удовлетворяют информационной целостности битов, а значит и более сложных единиц информации.

Современное состояние компьютеров, их проблемы и актуальность исследования

Общую схему квантового супервычислителя в решении его основных проблем в технической литературе часто представляют в виде КК, управляемого ТК. В частности, рассматривается схема, которая изображена на *рисунке 1*.

Рис. 1. Общая схема квантового супервычислителя

На *рисунке 1* введены следующие обозначения:

X – квантовый регистр ввода многопараметрических входных данных;

Y – устройство измерения состояния кубитов КК.

При таком представлении супервычислителя проблемы следующие:

1. Безошибочность инициализации исходного состояния кубитов.

2. Точность измерения суперпозиций кубитов и их запутанности.

3. Безошибочность управления КК в условиях ограничения на время декогеренции кубитов, что представляется главной задачей ТК. В частности, следует исключить трансформацию управляющего кода в другой, а его ошибка должна быть устранена эффективно и за 1 такт.

Общую схему блока управления ТК представляют *рисунком 2*, где СИ – синхроимпульсы, УС – управляющие сигналы, КОп – код операции. Проблемы структуры ТК, изображенной на *рисунке 2*, следующие:

1. Система синхронизации триггеров ТК не позволяет повышать его быстродействие, которое зависит от тактовой частоты, что препятствует увеличению производительности.

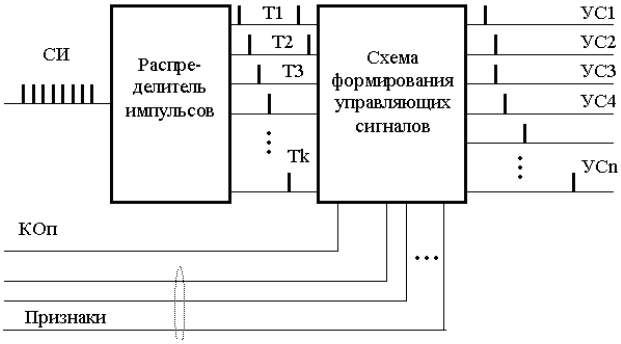


Рис. 2. Общая схема блока управления ТК

2. Система извлечения данных не позволяет сократить количество избыточных переходов в триггерах узлов ТК, что препятствует снижению его энергопотребления и завышает тепловыделение по Ландауэру.

3. Логическая структура триггеров и узлов, которые выпускает промышленность, нарушает целостность информации, вызывает неизбежность ошибок управления ТК, является причиной кризиса закона Мура и подрывает информационную безопасность России.

Следовательно, логика управления ТК при перезаписи информации его триггеров и по-

следовательностных узлов, их схемотехника не удовлетворяют современным требованиям и требуют пересмотра по производительности, энергопотреблению и целостности информации.

Распределитель импульсов блока управления ТК на *рисунке 2*, обеспечивает преобразования в операционных блоках путем формирования управляющих сигналов в виде кода операции и признаков. Искажения распределения импульсов ТК нарушают управление режимами вычислений, памятью, измерением, передачи данных и т.д. Следовательно, достоверность распределения синхроимпульсов определяет работоспособность, безопасность и целостность данных ТК.

Из представленного критического анализа следует, что задача повышения достоверности функционирования ТК, удовлетворение требованиям времени декогеренции кубитов КК, является актуальной. Необходимо найти компромисс требований по быстродействию и помехозащищенности, устранить недостатки принципа управления фон Неймана, решить проблему синхронизации и восстановления информации в условиях помех и обеспечить высокие требования для унитарного преобразования над кубитами КК в решении его основных проблем. Практическое решение указанной задачи может явиться значимым для использования в квантовой электронике и других специальных областях в условиях влияния на компьютеры вредных воздействий.

Известно из теории кодирования числовой информации, что частный случай p-кода Фибоначчи при числе $p=\infty$, определяет p-код числа N как унитарный код, то есть $N=1+1+\ldots+1$.

По теореме Хартли, избыточность унитарного кода возрастает экспоненциально в зависимости от длины N, а оценка достоверности D для бинарных кодов определяет долю обнаруживаемых ошибок: $D=1-M/K$, где $M=1$ – число разрешенных комбинаций в унитарном коде; $K=2^N$ – число возможных бинарных кодовых комбинаций. Видно, что при $N=10$, $D=0{,}999$.

Из технической литературы известно, что процедура кодирования преследует несколько противоречивых целей:

1. Минимизация времени вычислений, что, безусловно, актуально для преодоления декогерентности кубитов из-за запутанности их состояний;

2. Достоверность вычислений должна быть высокой, что особенно актуально при вероятностном характере суперпозиций кубитов.

3. Коды должны уменьшать время обработки команд и в тоже время они должны быть устойчивыми к перерождению кодовой комбинации, что зависит от метастабильности битов и статистики суперпозиций кубитов.

По нашему мнению способность кодов противостоять перерождению определяется не только кодовым расстоянием, но и необходимостью логических условий взаимодействия и достаточностью условий запретов. В общем случае, если все неиспользуемые состояния запрещены, то более устойчивым оказывается код к трансформации команд.

С учетом представленных объяснений формулируется научная задача.

Научная задача и некоторые результаты ее решения

Поскольку унитарный код достигает очень высокой достоверности информации, а предметом исследования является метод управления перезаписью бинарной информации в триггеры с его влиянием на топологию, логическую сложность, способность к обнаружению и устранению ошибок счетчиков и регистров для обеспечения их помехозащищенности, возникает потребность установления соответствующей логической закономерности.

Нами разработана логическая закономерность, которая позволяет для бинарного сигнала D, относительно синхроимпульса C и условий их взаимодействия, ввести первичную таблицу переходов, соответствующую графу, изображенному на *рисунке 3*. Из графа видно, что временно устойчивые состояния 1 и 2 имеют меньшую метастабильность, чем в простой бистабильной ячейке памяти, которую ввел Глушков В.М. для практического синтеза триггеров промышленностью [2, 3].

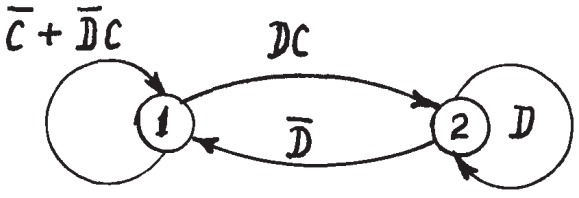


Рис. 3. Граф, реализующий первичную таблицу переходов памяти

Научная задача состоит в том, чтобы, на основе разработанной логической закономерности, ее первичной таблицы переходов и условий взаимодействия бинарного сигнала с синхросигналом, синтезировать последовательные устройства, обеспечивающие целостность информации, которая управляет ТК и обеспечивает КК безошибочным управлением.

На основе нового словаря переходов был разработан новый класс триггеров и обоснована система способов и методов, составляющих основу так называемого “императивно-нативного” (командно-естественного) управления информацией [2, 3].

На принципе нового управления были изменены способы генерации, выделения импульсов, а также релаксаций различного вида, введены уравнения их возбуждений с учетом нового свойства бита с меньшей метастабильностью. Новое свойство бита позволяет моделировать иллюстрируемое на *рисунке 4*, например, устройство выделения тактового импульса с использованием программы Proteus. Благодаря новой таблице переходов и логике запрета неиспользуемых состояний нами были изменены способы и методы недвоичного преобразования, в том числе унитарного счета [1, 3]. Вариант кольцевого счетчика, удовлетворяющего требованиям КК к его управлению унитарным кодом, изображен на *рисунке 5* [3].

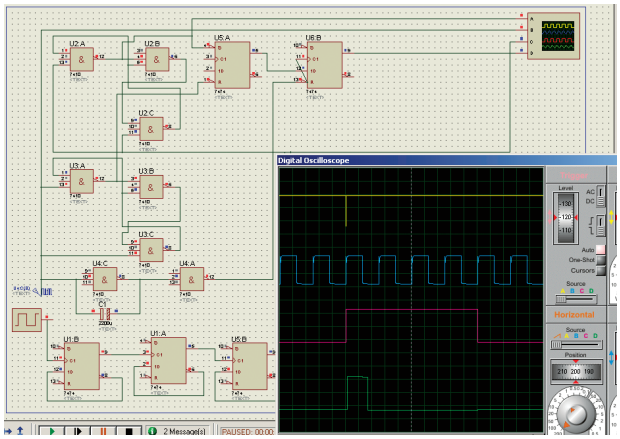


Рис. 4. Пример компьютерного моделирования устройства выделения импульсов программой Proteus

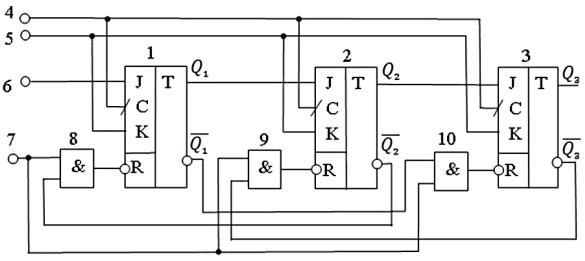


Рис. 5. Вариант кольцевого счетчика

Триггеры 1-3 счетчика, управляются с входных шин 4, 5 и шин управления 6, 7 через логические элементы «И» 8-10. После оптимизации счетчика в совокупности с его свойством самовосстановления унитарного кода за 1 такт, его топология оказывается проще всех существующих аналогов, появляется возможность обеспечения необходимой целостности управляющих данных генератором импульсов *рисунка 1* [1].

Кроме того, были изменены способы и методы измерения параметров импульсов с различными принципами сравнения и преобразования, особое значение среди которых уделено повышению точности нониусных способов сличения частот. Для обоснования высокоточных измерений выше уровня мировых стандартов на основе новой логики проведен расчет нониуса [5].

Расчеты показывают возможность повышения на порядок точности определения временных и частотных параметров импульса, что подтверждено на экспериментальном комплексе (см. *рисунок 6*) измерения параметров импульсов методом электронного нониуса.

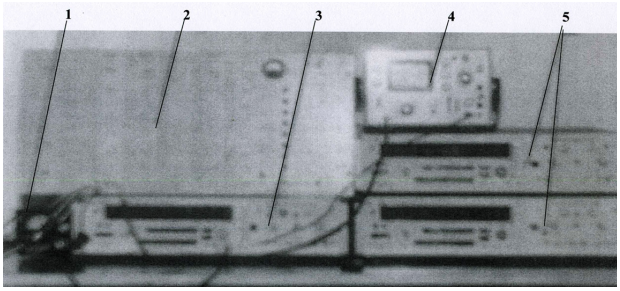


Рис. 6. Экспериментальный комплекс измерения параметров импульсов

В эксперименте блок 1 обеспечивает питание схем моделей блока 2. Счетчик частотомера 3 и осциллограф 4 регистрируют результаты моделирования. Остальные два частотомера 5 используют в качестве генераторов высокостабильных сравниваемых импульсов опорной и сличаемой частот до их совпадения на схеме «И» и схеме выделения полного импульса (см. *рисунок 4*). Дисперсия определения частоты была получена методом максимального правдоподобия. Дисперсия оказалась прямопропорциональна квадратам сличаемых частот, четвертой степени длительности опорного импульса и обратнопропорциональна четвертой степени суммы количеств импульсов выделенных при совпадениях и несовпадениях на испытуемой схеме. Выяснено, что с учетом выявленной логической закономерности метод выделения полных импульсов на порядок точнее известного метода совпадений на простой схеме «И».

Выводы и перспективы управления компьютерами

Сравнительная характеристика разработанного и существующего управления ТК де-

монстрирует необходимость замены двоичной системы счисления на недвоичную по критериям целостности, простоты и эффективности. Проведенное исследование предлагает повысить помехозащищенность и предотвратить ошибки управления, снизить энергопотребление ТК и на порядок повысить точность измерений.

Создан существенный задел решения противоречий повышения эффективности и безопасности функционирования систем управления ТК, устойчивости хранения информации и обеспечения ее целостности, проведено физическое и программное моделирование.

Имеется большое количество узлов, работающих в режиме новой записи информации. Отличие состоит в моментах фиксации временного запоминания сигнала. Этот временной интервал соответствует времени распространения сигнала и синхронизирован с его изменением.

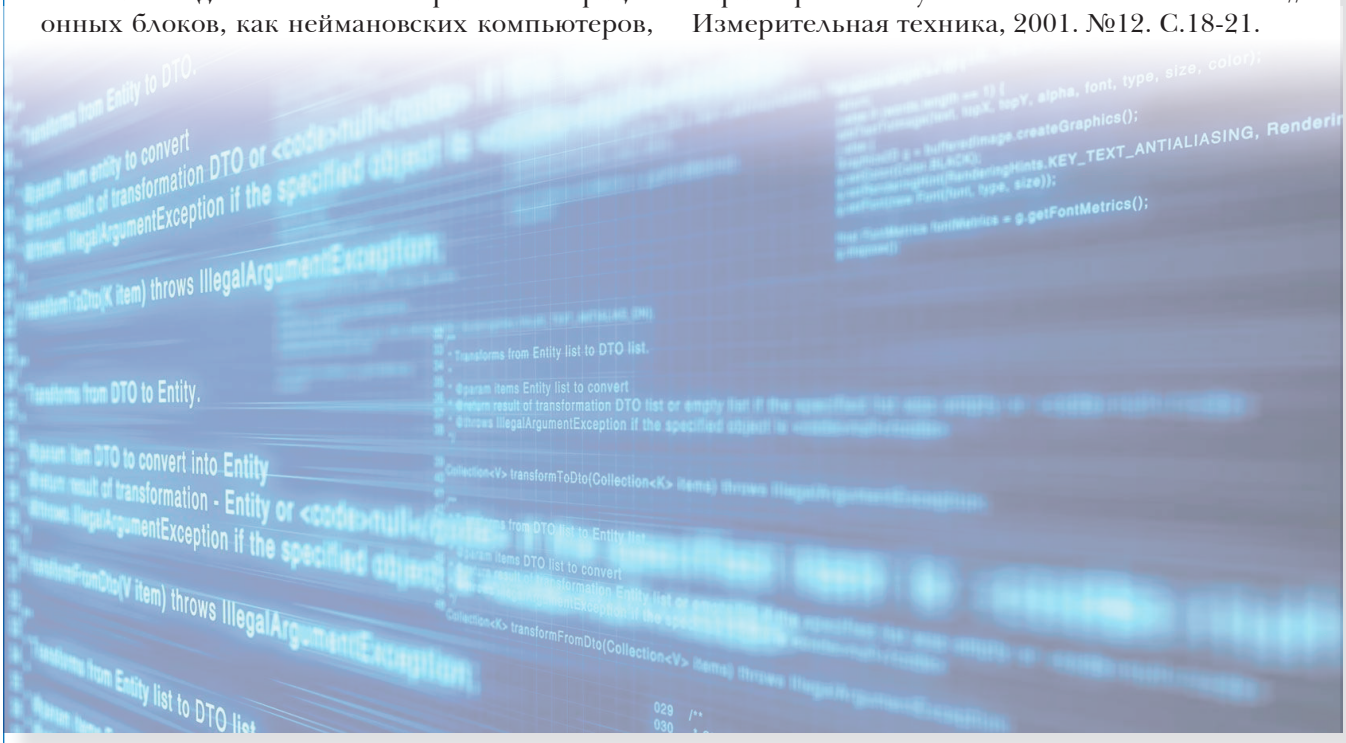
Решение проблемы коррекции унитарных кодов в счетчиках имеет экспериментальное и теоретическое научно-методическое обоснование, которое состоит в новом (командно-естественном) методе управления приемом и записью бинарной информации в триггеры, что подтверждено разработанным новым классом триггеров. Разработанная схемотехника позволяет самовосстанавливать унитарный код и автоматически устранять ошибку искаженного разряда за минимальное время – 1 такт.

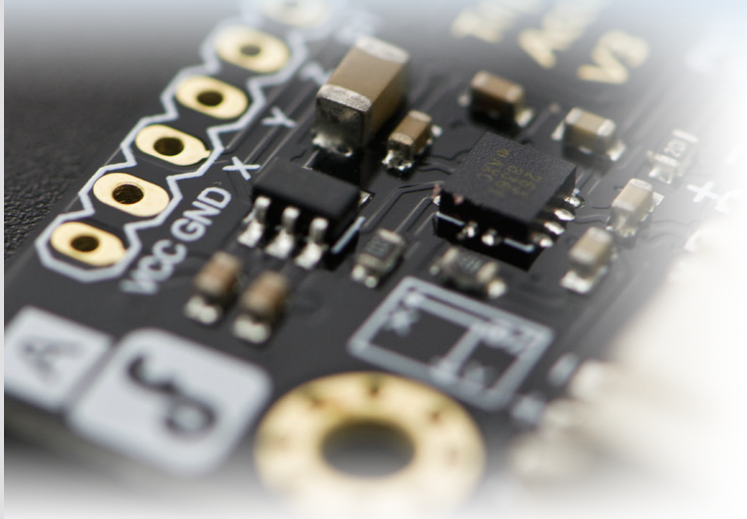
Рекомендуемое применение – распределение тактов для обеспечения работы операционных блоков, как неймановских компьютеров, так и перспективных квантовых вычислителей, управляемых унитарным кодом.

Проведенное исследование позволяет значительно преодолеть компромиссы генерации кодов, на 15-20% упростить технологию интегральных схем за счет полного исключения избыточных логических переходов. Полученный результат позволит снизить порог метастабильности битов, ошибочного управления нестабильностью кубитов, перейти к измерениям их состояний с большей запутанностью, построить КК с количеством кубитов, превышающих успехи иностранных исследователей.

Литература

1. Крехов Е.В., Крехов И.В., Крехов В.Е. Кольцевой счетчик. РФ № 184013 H03K23/54, заяв. 22.05.2018, опубл. 11.10.2018.
2. Крехов В.Е., Крехов И.В., Крехов Е.В. Самовосстановление унитарного кода счетчиков коммутаторов и распределителей измерительных и вычислительных систем / Сб. науч. тр. V Международная НПК «Академические Жуковские чтения». Воронеж, 2017. С.109-115.
3. Крехов В.Е., Крехов И.В., Крехов Е.В. Схемотехническое обеспечение достоверности функционирования недвоичных счетчиков измерительных систем // Метрология, 2017. №1. С.9-19.
4. Крехов Е.В., Крехов И.В. Оптимизация счетчиков // Измерительная техника, 2004. №1. С.59-61.
5. Крехов И.В., Крехов Е.В. Метод оценки параметров импульсов сличением частот // Измерительная техника, 2001. №12. С.18-21.





УДК 004.41.42; 629.7

УПРОЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ МАСШТАБИРОВАНИЯ АКСЕЛЕРОМЕТРА

SIMPLIFIED ACCELEROMETER SCALING ALGORITHM

Сергей Витальевич Синицын
кандидат технических наук
доцент
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (916) 868-85-69
E-mail: sinitsinsv@rambler.ru

Евгений Викторович Пискулин
кандидат технических наук
доцент
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (906) 721-61-08

Аннотация

Как правило, разработка методов измерения параметров командно-измерительных приборов в цифровых системах управления проводится по критерию минимизации погрешности измерения, при этом способы их алгоритмической реализации оптимизации не подвергаются. Цель исследования: разработка упрощенного алгоритма дискретного фильтра по методу наименьших квадратов при проведении комплексных калибровок командно-измерительных приборов для сокращения программно-аппаратных затрат его выполнения в цифровых системах управления. Результат: разработан упрощенный алгоритм дискретной фильтрации по методу наименьших квадратов цифровых сигналов, применяемый при калибровке параметров в системах управления летательными аппаратами при калибровке командно-измерительных приборов. Практическая значимость: применение упрощенного алгоритма в цифровых системах управления позволит сократить время проведения калибровки командно-измерительных приборов и уменьшить объем памяти для его реализации.

Ключевые слова: алгоритм, измерение, калибровка.

Summary

As a rule, the development of methods of measuring the parameters of the command devices in digital control systems is carried out according to the criterion of minimizing the error of measurement, with methods of their algorithmic implementation of the optimization aren't subject. Research purpose: development of a simplified algorithm of the discrete filter by the method of least squares during complex calibrations of command devices to reduce hardware and software costs of its implementation in digital control systems. Result: the simplified algorithm of filtering of results of measurement of signal pulse signals from the accelerometer according to the least-squares method differing from known for the increased high-speed performance and smaller memory size. Applied relevance: application of the simplified algorithm will allow to reduce hardware-software costs of calibration of command devices in numerical control systems.

Keywords: algorithm, measurement, calibration.

Введение

Анализ развития систем управления летательных аппаратов (СУЛА) показывает, что в настоящее время в проверочных режимах работы ряд прямых диагностических параметров преобразуется в косвенные [1], которые измеряются счетно-импульсными способами. Одним из таких косвенных параметров является частота следования электрических импульсов, по значению которой производится расчет масштабного коэффициента акселерометра. Такие преобразования обоснованы не только простыми техническими решениями преобразователей частот в цифровой код, но и интенсивным развитием способов измерения частоты, удовлетворяющих высокой точности измерения и быстродействию.

Классические счетно-импульсные способы измерения частоты, применяемые в цифровых вычислительных комплексах (ЦВК) [2,3,4], могут иметь особенности технической реализации. Например, в виду цикличности работы ЦВК СУЛА, при проведении калибровки акселерометров производится измерение среднего периода следования импульсов с его выхода. Аппаратная схема реализации этого способа [5] поясняется *рисунком 1*, а временная диаграмма работы – *рисунком 2*.

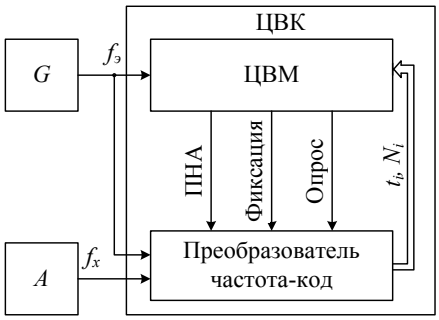


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия аппаратуры при измерении периода между импульсами с акселерометра

Для измерения используется преобразователь частота-код, на который подается эталонная частота $f_э$, импульсы с акселерометра A с частотой f_x и управляющие сигналы с цифровой вычислительной машины: ПНА – начало цикла цифровой вычислительной машины (ЦВМ), «фиксация» – для фиксации числа импульсов N_i с акселерометра в каждом цикле ЦВМ на определенный момент времени t_i, отсчитываемый от начала цикла ЦВМ; «Опрос» – для вывода информации t_i, N_i из преобразователя в ЦВМ.

По текущей информации t_i, N_i определяется период между импульсами с акселерометра в текущем цикле ЦВМ по выражению

$$\tau_m = \frac{T_m}{\sum_{j=1}^{m} N_j} = \frac{mT_ц + \sum_{j=1}^{m} t_j^*}{\sum_{j=1}^{m} N_j}, \qquad (1)$$

где m – число циклов измерения;
$T_ц$ – длительность одного цикла работы ЦВМ;
N_j – число импульсов с акселерометра, между очередными сигналами «Фиксация»;
$t_j^*=t_j-t_{j-1}$, здесь t_i – время последнего перед сигналом «Фиксация» импульса с акселерометра, отсчитываемое от начала j-го цикла ЦВМ.

В выражении (1) второе слагаемое числителя и знаменатель, в виду ряда преобразований измеряемого параметра в частоту следования импульсов с присущими им инструментальными и методическими погрешностями, могут содержать случайную ошибку дискретности в виде лишних или недостающих импульсов. Поэтому для повышения точности измерения со вторым слагаемым числителя $\sum_{j=1}^{m} t_j^*$ и знаменателем $\sum_{j=1}^{m} N_j$ выражения (1) проводят сглаживание дискретным фильтром по методу наименьших квадратов (МНК) [5]. С учетом проведенной фильтрации математическая модель (1) принимает вид

$$\tau_{cp} = \frac{T_ц + t_{cp}^m}{N_{cp}^m}, \qquad (2)$$

где $t_{cp}^m = \frac{12}{m(m^2-1)} \cdot \sum_{i=1}^{m} \left[\left(i - \frac{m+1}{2} \right) \cdot \sum_{j=1}^{i} t_j^* \right]$;

$$N_{cp}^m = \frac{12}{m(m^2-1)} \cdot \sum_{i=1}^{m} \left[\left(i - \frac{m+1}{2} \right) \cdot \sum_{j=1}^{i} N_j \right].$$

Обоснование актуальности упрощения программно-алгоритмического обеспечения дискретного фильтра по МНК

Математическая модель расчета среднего периода следования импульсов с акселерометра (2) является оптимальной по методу наименьших

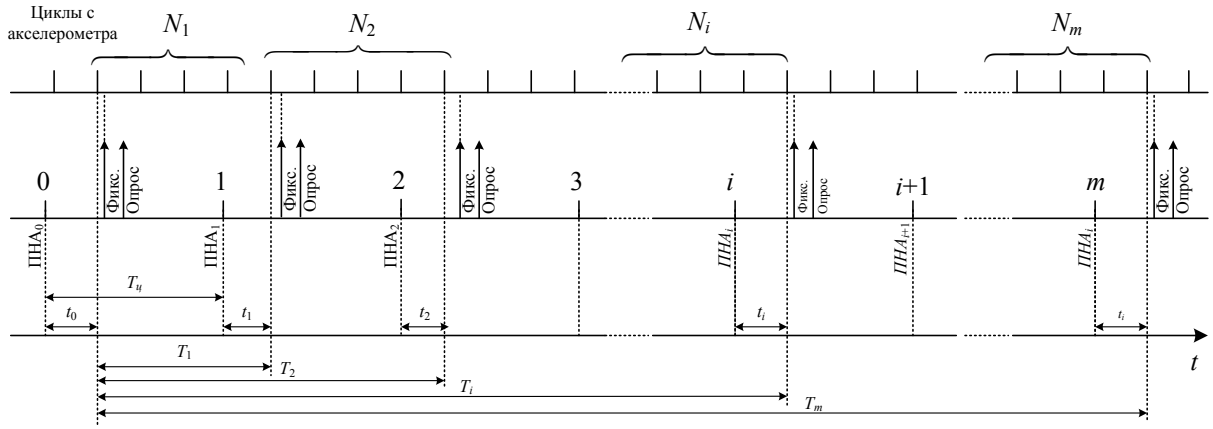


Рис. 2. Временная диаграмма определения среднего периода между импульсами с акселерометра

квадратов, но программно-алгоритмическая ее реализация, характеризуется определенными сложностями, связанными с необходимостью организации вложенных циклов при вычислении характеристик t_{cp}^{m} и N_{cp}^{m} в ЦВМ. Поэтому непосредственная реализация дискретной фильтрации по МНК является причиной повышенного расхода памяти ЦВК и процессорного времени при вычислении параметров.

Таким образом, задача упрощения алгоритмического и программного обеспечения проведения калибровок акселерометров является актуальной, а ее решение позволит добиться сокращения продолжительности процесса, и, как следствие, повышения уровня технической готовности СУЛА к выполнению задач по назначению.

Решение задачи

Очевидно, что задача упрощения программно-алгоритмического обеспечения проведения калибровок акселерометра должна решаться с упрощения математической модели (2). (В силу аналогичности выражений для вычислений t_{cp}^{m} и N_{cp}^{m}, входящих в математическую модель (2), упрощение проведено только для последнего). Раскрыв скобки выражения для вычисления характеристики N_{cp}^{m}, получим

$$N_{cp}^{m}=\frac{12}{m(m^2-1)}\cdot\left[\sum_{i=1}^{m}\left(i\cdot\sum_{j=1}^{i}N_j\right)+\frac{m+1}{2}\cdot\sum_{i=1}^{m}\left(\sum_{j=1}^{i}N_j\right)\right] \quad (3)$$

Преобразовав в выражении (3) первое и часть второго слагаемых в скобках получим:

$$\sum_{i=1}^{m}\left(i\cdot\sum_{j=1}^{i}N_j\right)=\frac{1}{2}\left(m(m+1)\sum_{m=1}^{m}N_i-\sum_{i=1}^{m}\left(i(i-1)\cdot N_i\right)\right), \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{i}N_j=m\cdot\sum_{i=1}^{m}N_i-\sum_{i=1}^{m}(i-1)N_i\cdot \quad (5)$$

Доказательство равенств (4) и (5).

Пусть $i = 1, 2, 3, \ldots, m$. Тогда

$$\sum_{i=1}^{m}\left(i\cdot\sum_{j=1}^{i}N_j\right)=\sum_{i=1}^{m}\begin{cases}i=1:\ 1\cdot N_1\\ i=2:\ 2\cdot(N_1+N_2)\\ i=3:\ 3\cdot(N_1+N_2+N_3)\\ \ldots\\ i=m:\ m\cdot(N_1+N_2+\ldots+N_m)\end{cases}=$$

$$=N_1\cdot\sum_{i=1}^{m}i+N_2\cdot\sum_{i=2}^{m}i+N_3\cdot\sum_{i=3}^{m}i+N_4\cdot\sum_{i=4}^{m}i+\ldots+N_m\cdot\sum_{i=m}^{m}i\cdot \quad (6)$$

С учетом того, что

$$\sum_{i=2}^{m}i=\sum_{i=1}^{m}i-1=\sum_{i=1}^{m}i-\sum_{i=1}^{1}i,$$

$$\sum_{i=3}^{m}i=\sum_{i=1}^{m}i-1-2=\sum_{i=1}^{m}i-\sum_{i=1}^{2}i$$

и в общем виде $\sum_{\substack{i=n\\ n\le m}}^{m}i=\sum_{i=1}^{m}i-\sum_{i=1}^{m-n}i,$

где $\sum_{i=1}^{m}i=\frac{m(m+1)}{2}$

выражение (6) принимает вид

$$N_1\cdot\sum_{i=1}^{m}i+\left(N_2\cdot\sum_{i=1}^{m}i-N_2\cdot\sum_{i=1}^{1}i\right)+\left(N_3\cdot\sum_{i=1}^{m}i-N_3\cdot\sum_{i=1}^{2}i\right)+\ldots+\left(N_m\cdot\sum_{i=1}^{m}i-N_m\cdot\sum_{i=1}^{m-1}i\right)=$$

$$=\sum_{i=1}^{m}i\cdot\sum_{i=1}^{m}N_i-N_2\cdot\sum_{i=1}^{1}i-N_3\cdot\sum_{i=1}^{2}i-N_4\cdot\sum_{i=1}^{3}i-\ldots-N_m\cdot\sum_{i=1}^{m-1}i=$$

$$=\frac{m(m+1)}{2}\sum_{i=1}^{m}N_i-0N_1-N_2-3N_3-6N_4-10N_5-\ldots-\frac{i(i-1)}{2}N_i-\ldots-\frac{m(m-1)}{2}N_m=$$

$$=\frac{m(m+1)}{2}\sum_{i=1}^{m}N_i-\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{i(i-1)}{2}\cdot N_i\right)=$$

$$=\frac{1}{2}\left(m(m+1)\sum_{m=1}^{m}N_i-\sum_{i=1}^{m}\left(i(i-1)\cdot N_i\right)\right)\cdot$$

Равенство (4) доказано.

Аналогично,

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{i}N_j=\sum_{i=1}^{m}\begin{cases}i=1:\ N_1\\ i=2:\ N_1+N_2\\ i=3:\ N_1+N_2+N_3\\ \ldots\\ i=m:\ N_1+N_2+\ldots+N_m\end{cases}=$$

$$=N_1\cdot m+N_2\cdot(m-1)+N_3\cdot(m-2)+\ldots+N_m=$$

$$=m\cdot\sum_{i=1}^{m}N_i-\sum_{i=1}^{m}(i-1)N_i\cdot$$

Равенство (5) доказано.

Подставив (4) и (5) в (3) получим

$$N_{cp}^{m}=\frac{12}{m(m^2-1)}\left[\frac{1}{2}\cdot\left(m(m+1)\cdot\sum_{i=1}^{m}N_i-\sum_{i=1}^{m}\left(i\cdot(i-1)\right)\cdot N_i\right)+\frac{m+1}{2}\cdot\left(m\cdot\sum_{i=1}^{m}N_i-\sum_{i=1}^{m}(i-1)N_i\right)\right]=$$

$$=\frac{6}{m(m^2-1)}\left[m(m+1)\cdot\sum_{i=1}^{m}N_i-\sum_{i=1}^{m}\left(i\cdot(i-1)\right)\cdot N_i-m(m+1)\cdot\sum_{i=1}^{m}N_i+(m+1)\sum_{i=1}^{m}(i-1)N_i\right]=$$

$$=\frac{6}{m(m^2-1)}\left[(m+1)\sum_{i=1}^{m}(i-1)N_i-\sum_{i=1}^{m}i\cdot(i-1)N_i\right]=$$

$$=\frac{6}{m(m^2-1)}\left[\sum_{i=1}^{m}(m+1)\cdot(i-1)N_i-\sum_{i=1}^{m}i\cdot(i-1)N_i\right]=$$

$$=\frac{6}{m(m^2-1)}\sum_{i=1}^{m}(m+1-i)\cdot(i-1)\cdot N_i\cdot \quad (7)$$

В целях сокращения арифметических операций под знаком суммы конечное выражение (7) преобразовано к виду

$$N_{cp}^{m}=\frac{6}{m(m^2-1)}\sum_{i=0}^{m-1}i\cdot(m-i)\cdot N_{i+1}\cdot \quad (8)$$

Аналогичным образом проведено преобразование выражения для вычисления характеристики t_{cp}^{m}, входящей в математическую модель (2), к виду

$$t_{cp}^{m}=\frac{6}{m(m^2-1)}\sum_{i=0}^{m-1}i\cdot(m-i)\cdot t_{i+1}^{*}\cdot \quad (9)$$

С учетом проведенных преобразований упрощенная математическая модель имеет вид

$$\tau_{cp}=\frac{T_{\text{ц}}+t_{cp}^{m}}{N_{cp}^{m}}, \quad (10)$$

где $t_{cp}^{m}=\frac{6}{m(m^2-1)}\sum_{i=0}^{m-1}i\cdot(m-i)\cdot t_{i+1}^{*}$;

$N_{cp}^{m}=\frac{6}{m(m^2-1)}\sum_{i=0}^{m-1}i\cdot(m-i)\cdot N_{i+1}$.

Оценка эффективности упрощенной модели при программно-аппаратной реализации

Сравнительный анализ исходной математической модели (2) и ее упрощенного варианта (10) показывает, что вычисление характеристик N_{cp}^{m} и t_{cp}^{m} может быть реализовано по упрощен-

ному алгоритму без организации вложенного цикла. Соответственно программно-аппаратная реализация модели (10) требует меньших затрат памяти и времени вычислений. Аналогичность результатов проведенного компьютерного моделирования по выражениям (2) и (10) подтверждает тождественность исходной математической модели и ее упрощенного варианта.

Для реализации вычислений параметра N_{cp}^{m} по исходному алгоритму требуется массив ячеек памяти для хранения результатов измерения параметра N_i, $i=1,2,\ldots,m$, содержащий m элементов (обозначим его $MN[m]$), и две ячейки памяти: S_1 для хранения суммы $\sum_{i=1}^{m}[(i\text{-}\ldots)]$ внешнего цикла и S_2 для хранения суммы внутреннего цикла $\sum_{j=1}^{i} N_j$. Всего – m+2 ячейки памяти. Для реализации вычислений по упрощенному алгоритму требуется две ячейки памяти: S_1 для хранения суммы

$$\sum_{i=1}^{m}(i-1)\cdot(i-1-m)N_i$$

и S_2 – ячейка для промежуточных вычислений. Таким образом, учитывая необходимость расчета параметра t_{cp}^{m}, применение упрощенного алгоритма вычисления среднего периода следования импульсов τ_{cp} позволяет сократить объем используемой памяти не менее чем в $2m$ раз.

Оценку повышения быстродействия реализации исходного и упрощенного алгоритмов проведем по числу тактов работы ЦВК необходимых для расчета среднего периода следования импульсов. Блок-схемы исходного и упрощенного алгоритмов расчета в части усреднения параметра N_{cp}^{m} приведены на *рисунках 3* и *4* соответственно. Пусть операции загрузки, сложения, вычитания выполняются за один такт работы ЦВК, а операция умножения выполняется за 10 тактов.

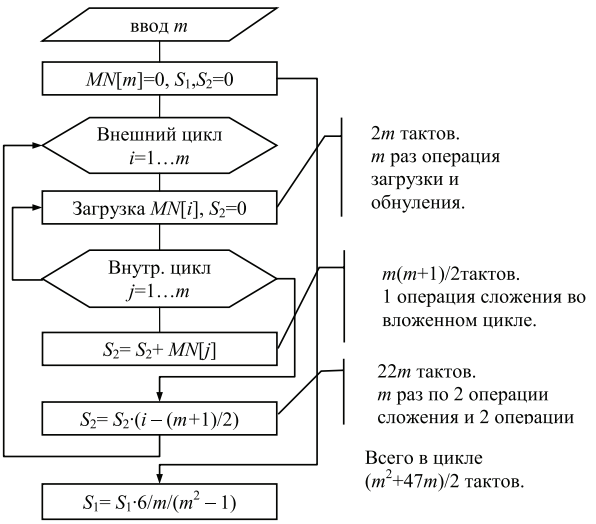


Рис. 4. Блок-схема упрощенного алгоритма расчета параметра N_{cp}^{m}

Согласно рисункам по внешним циклам для расчета параметра N_{cp}^{m} по исходному алгоритму требуется

$$\frac{1}{2}\left(m^2+47m\right)$$

тактов работы ЦВК, а по упрощенному алгоритму $23m$ тактов. Отношение этих выражений показывает, что реализация расчета одного усредненного параметра, входящего в выражение (2), по упрощенному алгоритму требует в

$$\left(\frac{1}{46}m+1\right)$$

раз меньше тактов работы ЦВК. Учитывая, что фильтрации подлежит два параметра N_{cp}^{m} и t_{cp}^{m}, то вычисление среднего периода следования импульсов τ_m по упрощенному алгоритму требует в

$$\left(\frac{1}{23}m+2\right)$$

раз меньше тактов работы ЦВК относительно быстродействия исходного алгоритма.

В прикладном аспекте к проведению калибровки одного акселерометра при 100 циклах работы ЦВК ($m=100$) применение упрощенного алгоритма позволит повысить быстродействие вычисления масштабного коэффициента не менее чем в 6 раз, и сократить объем требуемой памяти на 97 ячеек.

Заключение

Разработан упрощенный алгоритм дискретной фильтрации по методу наименьших квадратов для измерения диагностических параметров в цифровых системах управления, отличающийся от известного повышенным быстродействием и меньшим объемом памяти, необходимой для его реализации. Повышение быстродействия и сокращение объема требуемой памяти при программно-аппаратной реализации упрощенного алгоритма достигается посредством упрощения исходной математической модели, без введения дополнительных ограничений и без снижения точности расчета.

Литература

1. Техническая диагностика Термины и определения. ГОСТ 20911-89. Введ. 01.01.1989. Переизд. 11.2009. М.: Стандартинформ, 2009. 31 с.
2. Основы построения автоматизированных систем контроля сложных объектов / Под ред. П.И. Кузнецова. М.: Энергия, 1969. 480 с.
3. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. Киев: Вища школа, 1980. 560 с.
4. Шляндин В.М. Цифровые измерительные устройства: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.
5. Аксёнов В.Е. Надежность систем управления ракет. Монография. Ч.2. Серпухов: ФВА РВСН, 2015. 315 с.

УДК 004.932.2

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА БАЗЕ АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ОПТИЧЕСКИХ ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ

BUILDING IDENTIFICATION SYSTEMS BASED ON AN ALGORITHM FOR OPTIMALLY EXTRACTING INFORMATION FROM PHYSICALLY NON-CLONED OPTICAL FUNCTIONS

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
В статье рассмотрено построение нового алгоритма идентификации, основанного на оптимальной обработке оптических физически неклонируемых функций. Для извлечения идентификационной информации требуется хранить вспомогательные данные меньшего объема. В статье приведены зависимости для определения оптимальных параметров алгоритма при различных значениях шумов оцифровки.
Ключевые слова: идентификация, обработка изображений, оптимальный алгоритм.

Summary
Article performs a new identification algorithm based on optimal processing of images of optical physically unclonable functions. To obtain a constant identification data from images of speckle-noise algorithm needs to keep helper data of less size then identification data. The functions of determining the optimal parameters of the algorithm for different camera pixel noise levels are obtained.
Keywords: identification, image processing, optimal algorithm.

Введение

В настоящей работе рассмотрена задача оптимального извлечения идентификационной информации из изображений [1], полученных в одних и тех же условиях. Условие оптимальности – наибольшая разница между объемом извлекаемой информации и объемом хранимых данных, необходимых для работы алгоритма извлечения. Оптические физически неклонируемые функции рассматривались в качестве примера исходных изображений, поскольку они представляют собой смесь шумов интерференции [2] и теневых изображений, подходящих в качестве идентификатора из-за невозможности изготовления точных копий их носителей. Помимо них можно рассматривать серию изображений одного и того же объекта, полученных на одном и том же оборудовании в одних и тех же условиях, тогда предлагаемый алгоритм позволит извлечь максимально возможную по объему константную информацию, содержащуюся в каждом изображении серии.

Постановка задачи

Математически задача формулируется следующим образом. Для любого изображения из серии

$$\left\{p_{i,j,m}\right\}_{\substack{i=1:h\\ j=1:w\\ m=1:Nm}}, \quad (1)$$

где Nm – количество изображений в серии;
h – высота изображения;
w – ширина изображения;
$p_{i,j,m}$ – яркость пикселя с координатами i, j в изображении m,
необходимо получить уникальную идентификационную информацию

$$\left\{Id_{i,j}\right\}_{\substack{i=1:h\\ j=1:w}}, \quad (2)$$

характерную только для данной серии (1). Иначе говоря, необходимо построить функцию, такую что

$$f\left(\left\{a_i\right\}_{i=1:Na}, \left\{p_{i,j,m}\right\}_{\substack{i=1:h\\ j=1:w}}\right) = \left\{Id_{i,j}\right\}_{\substack{i=1:h\\ j=1:w}} = const, \quad \forall m = \overline{1:Nm}. \quad (3)$$

В (3) $\left\{a_i\right\}_{i=1:Na}$ – параметры функции (хранимая информация, необходимая для извлечения (2)) которые следует выбирать из условия оптимальности

$$\Phi\left(f,\{a_i\}_{i=1:Na}\right)=I\left(\left\{Id_{i,j}\right\}_{\substack{i=1:h\\ j=1:w}}\right)-I\left(\{a_i\}_{i=1:Na}\right)\to\max, \quad (4)$$

где $I(\ )$ – операция определения длины в битах.

В соответствии с (4), оптимальность заключается в максимизации разности длин извлекаемой идентификационной и хранимой информации.

Основная проблема построения функции (3) состоит в наличии шумов яркостей пикселей изображений (1)

$$p_{i,j,m}=p^*_{i,j}+\delta_{i,j,m}, \quad (5)$$

где $p^*_{i,j}$ – «истинная» яркость пикселя i, j;
$\delta_{i,j,m}$ – шум при оцифровке пикселя i, j в изображении m.

Введя разумное допущение о существовании максимального значения шума $\delta_{i,j,m}$ пикселя (5), при построении функции (3) можно не накладывать никаких ограничений на длину Nm серии изображений (1). Т.е. после получения функции (3), она может быть использована сколько угодно раз для извлечения уникальной идентификационной информации (2) при условии, что изображения (1) получены в одних и тех же условиях. В этом случае

$$\Delta_{\max}=\max_{i,j,m}\{\delta_{i,j,m}\}. \quad (6)$$

Таким образом, необходимо с учетом условия оптимальности (4), а также шумов пикселей (5) и (6) построить функцию (3), позволяющую по любому изображению из серии (1) получить уникальную идентификационную информацию (2).

Описание алгоритма

При наличии шумов (5) и (6) пикселей изображений (1) для извлечения идентификационной информации (2) целесообразно применить метод, заключающийся в дополнительной оцифровке изображений (1) в виртуальных смещенных друг относительно друга шкалах, выбранных таким образом, что значение яркости каждого пикселя изображения (1) с учетом шума (6) не выходит за деление какой-либо виртуальной шкалы [3]. Тогда оцифровка любого изображения из серии (1) будет приводить к получению постоянной идентификационной информации (2). Размер серии изображений значения не имеет, т.е. при справедливости допущения о существовании максимального шума пикселя (6), можно рассматривать бесконечную серию изображений (1), т.е. можно проводить идентификацию объекта, носителя изображений (1) сколько угодно раз.

С учетом описанного, алгоритм извлечения информации можно разбить на две части – инициализация носителя и идентификация носителя.

В самом начале работы алгоритма строятся система из k_{VS} виртуальных шкал, сдвинутых друг относительно друга на равные интервалы. В системе координат яркостей пикселей (1) центры делений виртуальных шкал будут иметь координаты

$$C_S(i_S)=W_{VS}\cdot\left(\frac{S-1}{k_{VS}}+i_S+\frac{1}{2}\right), \quad (7)$$

где $S=1:k_{VS}$ – номер виртуальной шкалы;
W_{VS} – ширина деления виртуальных шкал;
$i_S = 0:(L_{VS} - 1)$ – индекс (порядковый номер) деления виртуальной шкалы S.

Инициализация заключается в определении для каждого пикселя виртуальной шкалы, в которой яркость пикселя оцифруется единственным образом при любом допустимом значении шума в соответствии с формулой

$$S_{i,j}=\arg\min_{S}\left(\min_{i_S=0:(L_{VS}-1)}\left|C_S(i_S)-\hat{p}_{i,j}\right|\right), \quad (8)$$

где $\hat{p}_{i,j}$ – математическое ожидание яркости пикселя (i,j) серии (1).

Иллюстрация инициализации приведена на *рисунке 1*.

Идентификация – извлечение постоянной идентификационной информации (2) в соответствии с выбранными для каждого пикселя виртуальными шкалами (8) – проводится для изображения с индексом $m=1:Nm$ из серии (1) в

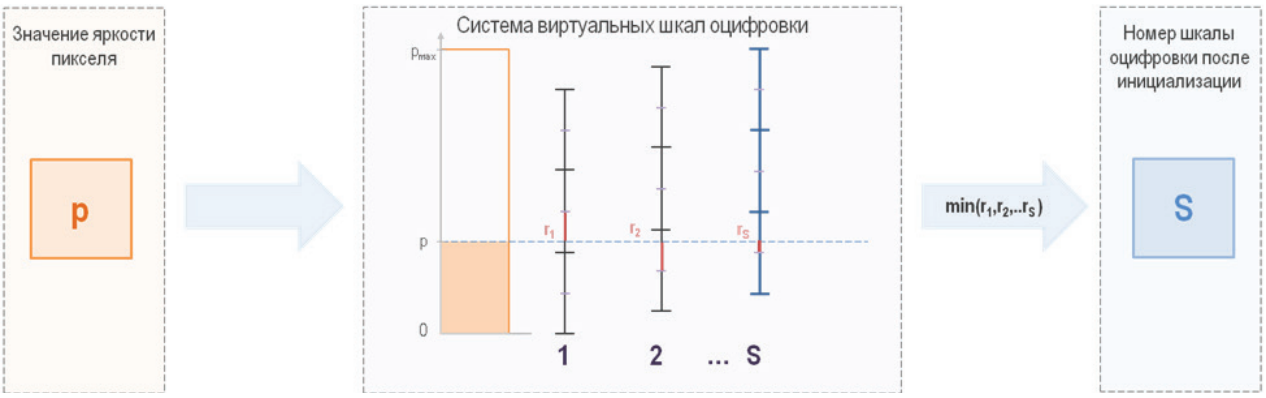


Рис. 1. Инициализация пикселя

соответствии с формулой

$$Id_{i,j} = \arg\min_{i_S} \left| p_{i,j,m} - W_{VS} \cdot \left(\frac{S_{i,j} - 1}{k_{VS}} + \frac{1}{2} + i_s \right) \right|. \quad (9)$$

Иллюстрация идентификации приведена на *рисунке 2*.

Инициализация проводится однократно. Идентификация может проводиться сколько угодно раз.

Для построения виртуальных шкал необходимо знать максимальный шум пикселей (6). Проведение инициализации потребует знания среднего значения яркости каждого пикселя серии (1). Оптимальные значения параметров виртуальных шкал в (7)-(9) определяются ниже.

Оптимизация параметров алгоритма извлечения идентификационной информации

При максимальном шуме пикселей (6) каждый из них может быть без ошибки оцифрован в одной из k_{VS} равномерно сдвинутых друг относительно друга виртуальных шкал с шириной деления

$$W_{VS} \geq 2 \cdot \frac{k_{VS}}{k_{VS} - 1} \cdot \Delta_{\max}. \quad (10)$$

Для каждого пикселя необходимо хранить номер виртуальной шкалы оцифровки. Тогда объем хранимой информации будет составлять

$$I\left(\{a_i\}_{i=1:Na}\right) = h \cdot w \cdot \log_2 k_{VS}, \quad (11)$$

где h и w – высота и ширина изображения серии (1);

k_{VS} – количество виртуальных шкал.

Зная диапазон значений яркости пикселей изображений (1)

$$p_{\max} = \max\left(\{p_{i,j,m}\}_{\substack{i=1:h \\ j=1:w \\ m=1:Nm}} \right), \quad (12)$$

можно определить количество уровней в каждой виртуальной шкале

$$L_{VS} = \frac{p_{\max}}{W_{VS}} - \frac{k_{VS} - 1}{k_{VS}}. \quad (13)$$

Количество уровней (13) определяет объем идентификационной информации (2), получаемой в результате виртуальной оцифровки пикселей:

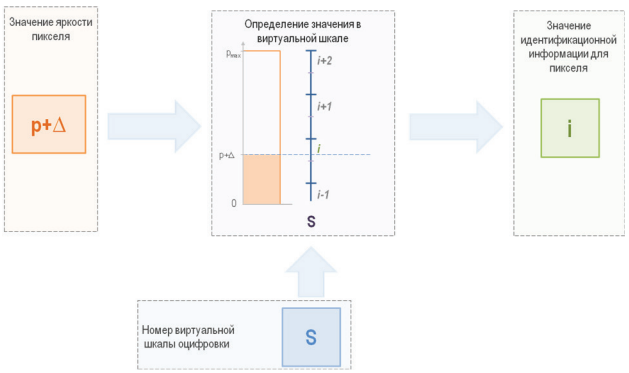


Рис. 2. Идентификация пикселя

$$I\left(\{Id_{i,j}\}_{\substack{i=1:h \\ j=1:w}} \right) = h \cdot w \cdot \log_2 L_{VS}. \quad (14)$$

Тогда условие оптимальности (4) принимает вид:

$$\Phi = h \cdot w \cdot \log_2 \left(\frac{p_{\max}}{W_{VS}} - \frac{k_{VS} - 1}{k_{VS}} \right) - h \cdot w \cdot \log_2 k_{VS}. \quad (15)$$

На *рисунке 3* приведена зависимость значения функции оптимальности (для одного пикселя, т.е. $h=w=1$) от количества и ширины делений (в долях от максимальной яркости (12)) виртуальных шкал. По рисунку видно, что наилучшее значение функции оптимальности достигается при двух виртуальных шкалах и минимальном размере ширины их деления.

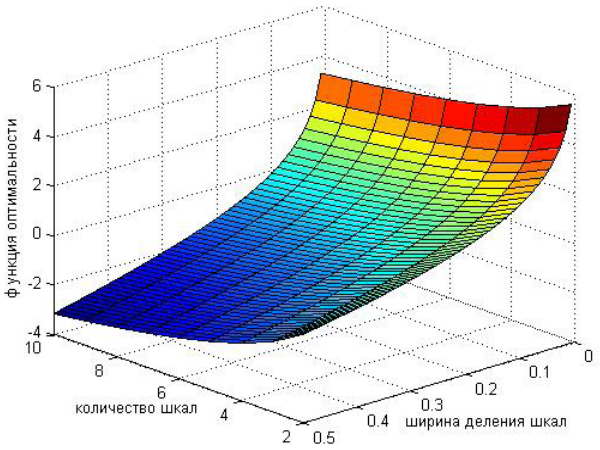


Рис. 3. Зависимость функции оптимальности от количества и ширины делений виртуальных шкал

В реальности нельзя уменьшать ширину деления виртуальной шкалы из-за наличия шума пикселя. Используя соотношение максимального шума пикселя, количества и ширины деления виртуальных шкал (10) можно построить их зависимость. На *рисунке 4* приведена зависимость мак-

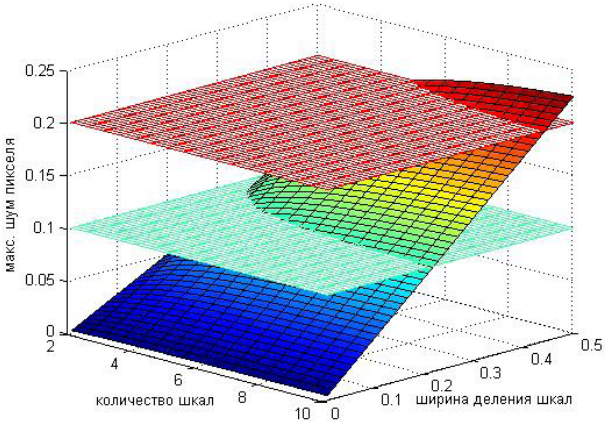


Рис. 4. Зависимость максимально допустимого шума пикселя от количества и ширины делений виртуальных шкал

симального шума пикселя в долях от максимальной яркости (12) от количества и ширины делений виртуальных шкал в долях от максимальной яркости (12). Для наглядности построено пересечение полученной поверхности с плоскостями, соответствующими максимальному шуму в десять и двадцать процентов от максимальной яркости.

В соответствии с пересечением поверхностей на *рисунке 4* можно сделать выводы, что при значении максимального шума пикселя двадцать процентов от максимальной яркости для извлечения уникальной идентификационной информации потребуются не менее пяти виртуальных шкал, а при значении максимального шума десять процентов от максимальной яркости хотя и возможно применение двух виртуальных шкал, но при этом существенно расширяется ширина их делений, и, соответственно, падает объем идентификационной информации (14).

С учетом (10) и (13) можно записать

$$L_{VS} = \left(\frac{p_{\max}}{2 \cdot \Delta_{\max}} - 1 \right) \frac{k_{VS} - 1}{k_{VS}}. \qquad (16)$$

Тогда условие оптимальности (4) с учетом (11) и (14) принимает вид:

$$\Phi = h \cdot w \cdot \log_2 \left(\left(\frac{p_{\max}}{2 \cdot \Delta_{\max}} - 1 \right) \cdot \frac{k_{VS} - 1}{k_{VS}} \right) - h \cdot w \cdot \log_2 k_{VS} = \qquad (17)$$

$$= h \cdot w \cdot \log_2 \left(\left(\frac{p_{\max}}{2 \cdot \Delta_{\max}} - 1 \right) \cdot \frac{k_{VS} - 1}{k_{VS}^{\,2}} \right).$$

Не зависимо от максимального шума пикселя, максимум функции оптимальности (17) достигается при k_{VS}=2, т.е. при использовании двух виртуальных шкал оцифровки. Для получения положительного значения функции оптимальности, т.е. для возможности превышения объема извлекаемой идентификационной информации (14) над объемом хранимых данных (11) необходимо значение максимального шума

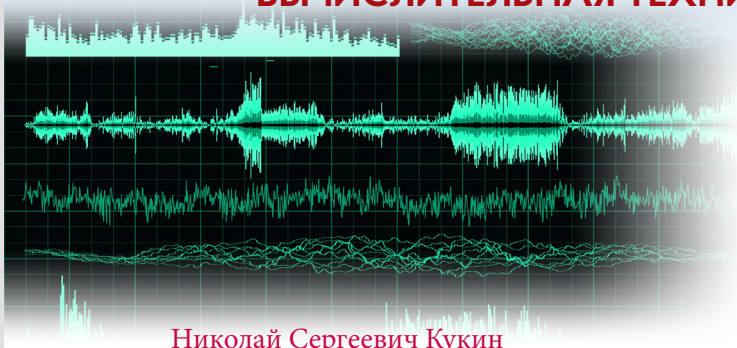
$$\Delta_{\max} < \frac{p_{\max}}{6}. \qquad (18)$$

Заключение

В случае выполнения условия (18) по максимальному шуму пикселей и применении двух виртуальных шкал с шириной деления (10) по описанному алгоритму можно оптимально по критерию (4) извлекать из любого изображения серии (1) уникальную идентификационную информацию (2). Для извлечения идентификационной информации потребуется хранить вспомогательные данные – номера виртуальных шкал для оцифровки каждого пикселя (8), однако при выполнении указанных выше условий, объем хранимой информации будет меньше объема извлекаемой идентификационной информации.

Литература

1. Никитин А.К., Кукин Н.С. Алгоритм блочного выделения морфологических признаков на монохромных изображениях // Известия Института инженерной физики, 2016. №3(41). С.38-40.
2. Andreev A.L., Andreeva T.B., Kompanets I.N., Zalyapin N.V., Starikov, R.S. Speckle-noise suppression using electro-optical cell with helix-free ferroelectric LC // Journal of Physics: Conference Series, 2016. V.737(1).
3. 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.



УДК 519.6:004.93

ВЫЯВЛЕНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ТОЧКАМИ ПО СЕРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

IDENTIFYING LINKS BETWEEN POINTS BY SERIES OF IMAGES

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

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

Аннотация

В статье предлагается решение задачи выделения объектов по серии изображений при отсутствии какой-либо априорной информации о внешних характеристиках (форме, цвете, структуре и так далее). Представленный подход основан на выявлении связей между отдельными точками объектов. Авторами разработан алгоритм, входными данными для которого являются измеренные в дискретные моменты времени перемещения фиксированного количества точек. Проверка эффективности алгоритма проверена с помощью обработки экспериментальных данных. В результате получена матрица связей всех точек, по которой можно определить принадлежность точек к отдельным объектам. В дальнейшем авторами предполагается усовершенствование предлагаемого подхода с целью количественной оценки характера связей между точками, определения структуры, слабых и сильных мест, дефектов конструкции или внутреннего строения.

Ключевые слова: серия изображений, перемещение точек, связи между точками.

Summary

The article presents solution to the problem of objects detection by series of their images without any priori information about outer characteristics (shape, color etc.). The presented approach is based on detecting connections between separate points of objects. The authors developed an algorithm that use movements of a fixed number of points measured at discrete instants of time as input data. It was tested using real experimental data. As a result, a matrix of links was obtained, which can be used for identifying separate objects. In further articles the authors will offer the improvement of the proposed approach for quantifying the nature of connections between different points of a single object. It will let us determine the object structure, it's weak and strong parts, internal defects and etc.

Keywords: series of images, points movements, links between points.

Введение

Одной из основных задач обработки изображений является распознавание объектов [1]. Она является актуальной в различных областях науки и техники. Это связано со стремлением создания систем, которые могли бы воспринимать изображения так же, как человек, и выполнять поставленную задачу с требуемой скоростью и качеством.

Для распознавания объектов на изображении вводят какой-либо признак, например цвет, форму, положение, или шаблон искомого фрагмента [2-4]. Чтобы ЭВМ могла использовать данные признаки для выделения объектов, их необходимо хранить в памяти, а это не всегда допустимо [5].

В свою очередь для получения информации об объектах можно использовать не одно изображение, а их серию. В этом случае появляется возможность получения данных о перемещениях меньше одного пикселя [6].

Данная работа просвящена определению взаимосвязей между точками на серии изображений.

Постановка задачи

Является общеизвестным факт о том, что все предметы вокруг взаимосвязаны. Одни – через опору, другие – непосредственно между собой. Это можно использовать для выявления объектов на изображении и оценки связей между его конкретными точками.

Целью настоящей статьи является определение взаимосвязей между точками изображения с использованием в качестве априорной информации серий перемещений каждой точки.

Для достижения поставленной цели был разработан алгоритм, заключающийся в нахожде-

нии преобразования Фурье (ПФ), построении матрицы связей, и последовательном объединении в группы получившихся значений.

Эффективность разработанного алгоритма подтверждается с помощью экспериментальных данных о перемещениях точек трех объектов, имеющих общую опору. Данные, в свою очередь, представили собой массивы перемещений в плоскости трех точек для каждого объекта.

Описание алгоритма

Входными данными для алгоритма являются измеренные в дискретные моменты времени перемещения фиксированного количества точек:

$$\{x_i(s), y_i(s)\}_{s=1:N;i=1:T}. \quad (1)$$

После получения исходных данных рассчитывается преобразование Фурье [7] перемещений по осям x и y с произвольным шагом спектральных отсчетов dm по формуле

$$f_i(m) = \sum_{k=1}^{N} r_i(k) \cdot e^{-\frac{j2\pi}{N}m(k-1)}, m = 0,\ldots,N-1, \quad (2)$$

где N – количество временных интервалов измерения перемещений;
r – перемещения i-той точки;
k – временные отсчеты;
m – спектральные отсчеты.

Затем вычисляется среднее значение Фурье для каждой точки по каждой оси по формуле

$$f_i^* = \frac{f_i}{N}. \quad (3)$$

Для выявления связей между i-ой и j-ой точками в алгоритме используется матрица D, элементы которой определяются по формуле

$$D_{ij} = \frac{a(i) \cdot a(j)'}{\sqrt{(a(i) \cdot a(i)') \cdot (a(j) \cdot a(j)')}}, \quad (4)$$

где $a = \{f(0)\ldots f(N\text{-}1)\}$ – вектор из амплитуд Фурье для каждой точки.

Далее находится максимальное значение (4) для каждой пары точек по каждой из осей. Если для i-ой точки максимум равен D_{ij}, а для j-ой точки – D_{ji}, то эти точки объединяются в группу. За одну итерацию можно выявить несколько групп точек.

Затем матрица (4) преобразуется в соответствии с найденными группами следующим образом: столбцы и строки, соответствующие объединенным точкам, также объединяются. В новом общем поле записывается максимальные значения из ($D_{i,1:T}$,$D_{j,1:T}$) для строк и ($D_{1:T,i}$,$D_{1:T,j}$) для столбцов. После преобразования группа точек рассматривается как одна.

В ходе преобразования матрицы D также составляется таблица переходов для наглядного представления результатов объединения точек по осям x и y.

Затем составляется единая таблица переходов по следующему правилу: например, если точки 1 и 2 связаны по оси x, а точки 2 и 3 – по оси y, по точки (1, 2, 3) образуют группу связанных точек.

Таким образом, алгоритм объединения точек на изображении заключается в следующем:

1) получение экспериментальных данных в виде двумерных массивов перемещений для каждой точки;
2) вычисление ПФ для каждой точки по осям x и y при различных перемещениях;
3) вычисление матрицы связей между точками D;
4) нахождение максимальных значений для каждой точки по матрице D;
5) сопоставление индексов максимумов и соответствующее объединение точек в группы;
6) преобразование матрицы D в соответствии с найденными группами;
7) заполнение таблицы переходов по каждой оси;
8) повторное выполнение пунктов 3-7 до тех пор, пока размерность матрицы D не станет равной 1;
9) составление единой таблицы переходов и анализ полученных результатов.

Результаты моделирования

Для проверки работы разработанного алгоритма были сняты перемещения трех объектов, состоящих из трех точек и соединенных общей опорой (*рисунок 1*).

Рис. 1. Взаимное расположение точек

В результате выполнения разработанного алгоритма можно объединить все 9 точек, так как они соединены общей опорой. Объединение то-

чек в результате обработки малых перемещений представлено на *рисунке 2*.

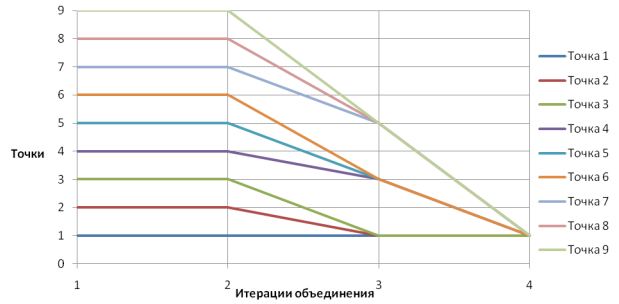


Рис. 2. Результат объединения точек по данным о малых перемещениях

Как видно из *рисунка 2*, сначала образуются группы (1, 2, 3), (4, 5, 6), (7, 8, 9), а затем все они объединяются в одну.

Объединение точек в результате обработки больших перемещений, представлено на *рисунке 3*.

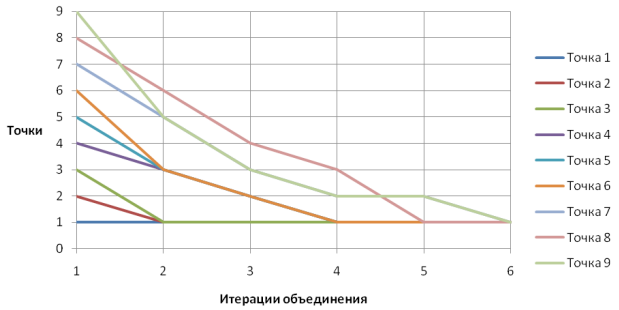


Рис. 3. Результат объединения точек по данным о больших перемещениях

В отличие от предыдущего результата, группа (7,8,9) отсутствует. Причиной ошибки детектирования группы (7,8,9) может быть и низкая освещенность участка, где находились эти точки (*рисунок 1*).

Таким образом, при малых значениях перемещений точки группируются корректно. При больших перемещениях возникают ошибки выделения групп. Это связано с тем, что низкие частоты колебаний точек слабо отличаются от шумов, а высокие существенно его превосходят. Из этого можно сделать вывод, что ошибки работы разработанного алгоритма обратно пропорциональны уровню шума. Для устранения данной особенности необходимо предъявить более высокие требования к первичной обработке перемещений точек, поступающих на вход алгоритма.

Заключение

В данной работе был предложен алгоритм определения взаимосвязей между точками на серии изображений.

Преимуществом разработанного алгоритма является то, что можно выявить отдельные друг от друга объекты без необходимости в хранении какой-либо априорной информации. Все вычисления происходят в момент непосредственной работы с входными данными о перемещениях точек.

В дальнейшем предполагается усовершенствование алгоритма с целью количественного определения силы и характера связей между точками на изображении. Это позволит более эффективно выделять отдельные объекты, оценивать их слабые места, структуру и наличие дефектов.

Литература

1. Шемагина О.В. Методы распознавания образов в задаче анализа изображений и видео по содержанию: Автореф. дис. … канд. техн. наук. Нижний Новгород, 2016. 28 с.
2. Глумов Н.И., Мясников Е.В., Копенков В.Н., Чичева М.А. Метод быстрой корреляции с использованием тернарных шаблонов при распознавании объектов на изображениях // Компьютерная оптика, 2008. Том 32. №3. С.277-282.
3. Завьялов Р.А., Сенюшкин Н.С. Автоматическое распознавание образов бортовыми оптическими системами многоцелевых комплексов мониторинга // Вестник УГАТУ, 2012. Том 16. № 6(51). С. 12-16.
4. Местецкий Л. М. Математические методы распознавания образов: Курс лекций. М.: МГУ, ВМиК, кафедра «Математические методы прогнозирования», 2002-2004.
5. Никитин А.К., Кукин Н.С. Извлечение уникальной информации из различных изображений объекта в одних и тех же условиях // Известия Института инженерной физики, 2016. №4(42). С.32-35.
6. Мурадова А.Р., Кукин Н.С. Детектирование перемещения объекта на расстояние меньше одного пикселя по серии его изображений // Известия Института инженерной физики, 2016. №4(42). С.36-39.
6. Князев Б.А., Черкасский В.С. Дискретное преобразование Фурье – как это делается // Вестник НГУ. Серия: Физика, 2008. Том 3. №4. С.74-86.

УДК 519.21

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ СОДЕРЖАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF PROJECTS BASED ON A MEANINGFUL ANALYSIS OF THE RESULTS

Николай Михайлович Емелин
заслуженный деятель науки и техники РСФСР
доктор технических наук, профессор
главный научный сотрудник
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 117997, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7 (499) 706-81-24

Юрий Николаевич Артамонов
кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 117997, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7 (499) 706-81-25

Аннотация
В статье представлена методология оценки качества проектов на основе содержательного анализа полученных результатов, включающая методы анализа проектов по тематической близости и выявления дублирования результатов проектов, а также методы выборочной содержательной экспертизы проектов внутри сформированных классов и кластеров.
Ключевые слова: методология, Программы, проекты, семантический анализ, результативность, выборочный контроль.

Summary
The article presents a methodology for assessing the quality of projects based on a meaningful analysis of the results, including methods of analysis of projects by thematic proximity and identify duplication of project's results, as well as methods of selective substantive examination of projects within the formed classes and clusters.
Keywords: methodology, programs, projects, semantic analysis, effectiveness, random inspection.

При реализации проектов различных Программ (государственных, федеральных, региональных, ведомственных, муниципальных и др.) наряду с решением задач, поставленных перед Программой, возникает и задача оценки качества работ, выполняемых исполнителями проектов Программы. Такие оценки должны отвечать на следующие вопросы:

- Способствует ли выполнение проекта достижению целей и решению основных задач государственной целевой программы?
- Способствует ли выполнение проекта получению новых, в том числе, научных (фундаментальных, прикладных) результатов?

И если первый вопрос, связанный с оценкой вклада проекта в достижение плановых значений целевых индикаторов, был рассмотрен в работах [1-4], то второй вопрос связан с пониманием того, что даже после получения такой оценки, она, как правило, не исчерпывает всего необходимого объема работ по оценке качества проектов.

Действительно, поскольку результаты проектов следует рассматривать в комплексе всех стоящих и решаемых задач, то, даже если проект не вносит существенного вклада в достижение плановых значений целевых индикаторов, это не может являться достаточным условием нецелесообразности его дальнейшего выполнения. Требуется содержательный анализ результатов, получаемых в ходе выполнения проектов.

Очевидно, что содержательный анализ получаемых результатов, в том числе, научно-технических результатов, адекватно может быть выполнен только с привлечением экспертов соответствующей квалификации. В частности, в сложившейся практике приемки проектов проводится обязательная экспертиза каждого проекта. Однако, обеспечение требуемого качества содержательной экспертизы всех без исключения выполняемых проектов практически недоступно по причине значительного количества этих проектов, их многопрофильности и тематической неоднородности.

Поэтому в основном проекты формально оцениваются на соответствие содержания проекта требованиями государственного контракта (задания на выполнение работ (оказание услуг), технического задания и т.п.). Причем часто при достаточно большом количестве проектов сложно сориентироваться не только с направлением использования полученных результатов в дальнейшем, но и оценить степень дублирования задач, подходов и результатов проекта с другими проектами программы. Все это приводит к существенному усложнению процедур контроля выполнения проектов, необоснованному квотированию тематических направлений и, в конечном итоге, к неэффективному расходованию бюджетных средств.

Решение данных проблем видится в предлагаемом методологическом подходе, включающем последовательную проработку следующих вопросов:

1) адаптация методов автоматической классификации, кластеризации к анализу проектов по тематической близости;

2) совершенствование методов по выявлению дублирования результатов проектов;

3) внедрение методов выборочной содержательной экспертизы проектов внутри сформированных классов и кластеров;

4) вовлечение в процесс оценки содержательных результатов проекта исполнителей других проектов.

Решение первого вопроса позволяет освободить экспертов от рутинной, а, с учетом «проклятия размерности», зачастую невыполнимой работы по проведению классификации и (или) кластеризации проектов по их фактическому содержанию.

Решение второго вопроса позволит оперативно оценивать и выявлять дублирование тематик проектов, как на этапе их реализации, так и ранее – на этапе проведения конкурсных процедур.

Третий вопрос связан с оценкой на содержательном уровне качества проектов из однородных тематических групп с учетом рисков потери качества.

И, наконец, решение четвертого вопроса дополнит содержательный анализ проектов и может способствовать дальнейшему продвижению полученных в ходе выполнения проектов результатов.

Для оценки тематической близости выполняемых проектов предлагается использовать семантический анализ их содержания, для чего исходной информацией могут являться аннотации отчетных материалов, отдельные части отчетов, а также ключевые слова. При этом анализ тематической близости целесообразно выполнять по двум направлениям:

- классификация извлекаемой информации;
- кластеризация коллекций документов.

Данные направления отличаются по способам семантического анализа текстов, а также по своим конечным результатам. Так, под классификацией текстов принято понимать их распределение по заранее определенным категориям, а автоматическая кластеризация, наоборот, решает вопрос разбиения множества документов на кластеры, смысловые параметры которых заранее неизвестны.

С использованием классификации и кластеризации текстов могут быть успешно решены следующие задачи:

- фильтрация (избирательный отбор) проектов по компетенциям экспертов;
- формирование тематических каталогов – панелей проектов, адаптированных под компетенции экспертов;
- оценка покрытия компетенциями экспертов состава проектов программы.

В целевых программах проекты уже структурированы по отдельным категориям: объединены по направлениям, мероприятиям Программы; по областям знаний и т. п. Однако такое деление часто оказывается недостаточным для проведения качественной экспертизы проекта, учитывающей компетенции эксперта. Таким образом, возникают задачи отбора проектов и формирование панели проектов в соответствии с компетенциями экспертов. Обе эти задачи могут быть решены в рамках подхода к классификации текстов на основе семантического анализа.

Пусть d_i – корпус текста, характеризующего i-й проект, $\forall d_i \in D$. В качестве единицы анализа – терма t_j могут быть выбраны:

- нормализованное слово (именительный падеж для существительных, неопределенная форма для глаголов и т. д.);
- словоформа, биграмма, n-грамма.

Припишем каждому терму t_j статистическую меру TF-IDF – w_j^i [5,8], отражающую увеличение важности терма $t_j \in d_i$ от количества употребления терма t_j в документе d_i и уменьшение важности от количества употребления этого терма в других документах коллекции D\d$_i$:

$$w_j^i = \frac{n_j}{N} \cdot \text{h}\left(\frac{|D|}{|\{d_k \mid t_j \in d_k\}|}\right), \qquad (1)$$

где n_j – количество вхождений терма t_j в документ d_i;

N – общее количество термов в документе d_i;

|D| – общее количество документов (совпадает с количеством проектов);

$|d_k \mid t_j \in d_k|$ – общее количество документов, в которых встречается терм t_j.

Построение классификатора компетенций экспертов (фильтрация – избирательный отбор проектов по компетенциям) состоит в формировании учебной коллекции текстов. Для удобства и упрощения процедуры построения классификатора можно предложить эксперту выполнить контекстный поиск документов по словам, выражающем его компетенции. После ознакомления с содержанием документа эксперт должен ответить на вопрос: соответствует ли документ d_i его компетенциям $\tilde{n}_i = 1$ или не соответствует $c_i=0$. Кроме этого, наряду с такой процедурой для более полного охвата всей совокупности документов дополнительно целесообразно проводить оценки на множестве случайно выбранных документов.

Для построения панели проектов, соответствующих компетенциям экспертов, можно использовать различные методы, при этом, априори учитывая высокую размерность задачи (количество документов достаточно велико), следует ориентироваться на наименее трудоемкие методы. В качестве наиболее простого метода может быть рекомендован метод Роччио [5]. Для его использования на основе классификатора по учебной коллекции строится профайл компетенций эксперта в виде вектора $Q=(q_1,q_2,\ldots q_n)$, где n – общее количество различных термов, вошедших в просматриваемые документы при обучении:

$$q_j = \frac{\alpha}{|P|}\cdot \sum_{d_i \in P} w_j^i - \frac{\beta}{|N|}\cdot \sum_{d_i \in N} w_j^i, \qquad (2)$$

P – множество документов, принадлежащих области компетенций эксперта $P = \{d_j \mid c_j = 1\}$;
N – множество документов, не принадлежащих области компетенций эксперта $N = \{d_j \mid c_j = 0\}$;
$\sum_{d_i \in P} w_j^i$ – сумма статистических мер TF-IDF для терма t_j по документам из множества P;
$\sum_{d_i \in N} w_j^i$ – сумма статистических мер TF-IDF для терма t_j по документам из множества N;
α,β – настроечные параметры, характеризующие значимость положительных и отрицательных прецедентов для терма t_j.

Окончательно, для формирования панели проектов выбирается множество проектов, не вошедших в обучающую выборку. Пусть d_h – проект, не вошедший в обучающую выборку. Для измерения близости тематики этого проекта к компетенциям эксперта формируем вектор статистических мер

$$W_h = \left(w_1^h, w_2^h, \ldots w_n^h\right)$$

по всем n термам, вошедших в просматриваемые документы при обучении. За меру близости берем нормированное скалярное произведение векторов:

$$M = \frac{\langle W_h, Q\rangle}{|W_h|\cdot|Q|}. \qquad (3)$$

Если $M>\gamma$ – больше некоторого порогового значения, то проект включается в панель компетенций экспертов, в противном случае – нет.

Данный алгоритм позволяет проводить дообучение по уже сформированной панели проектов. В этом случае эксперт исключает проект, который по его мнению не соответствует его компетенциям с панели. Тогда в соответствии с (2) производится пересчет профайла компетенций и в соответствии с (3) формируется новая панель.

Предложенный подход может использоваться для построения панели проектов, отвечающих компетенции экспертов.

Важным вопросом является также оценка полноты покрытия всего множества проектов компетенциями экспертов. Действительно, если сформированные панели проектов существенно неполны, и остается большая группа проектов, не вошедших ни в одну панель, то окончательные выводы о содержательном качестве всей совокупности научно-технических проектов Программы по результатам выборочной экспертизы нельзя признать обоснованными.

Пусть D – множество, каждый элемент которого представлен совокупностью документов, относящихся к одному проекту; M_i – панель проектов, выданная для i-го эксперта. Введем следующие характеристики:

● уровень максимальной специализации экспертов:

$$k_1 = min\{|M_i| : i = 1,\ldots,E\},$$

E – общее количество экспертов: определяется минимальным количеством проектов в панели;

● уровень максимальной компетенции экспертов:

$$k_2 = max\{|M_i| : i = 1,\ldots,E\},$$

E – общее количество экспертов: определяется максимальным количеством проектов в панели;

● средний уровень компетенции экспертов:

$$k_3 = \frac{\sum_{i}^{|E|}|M_i|}{|E|}; \qquad (4)$$

● коэффициент взаимной согласованности компетенций (на примере трех экспертов):

$$k_4 = \frac{|M_i \cap M_j| + |M_i \cap M_k| + |M_j \cap M_k| - 2\cdot|M_i \cap M_j \cap M_k|}{|M_i \cup M_j \cup M_k|}; \qquad (5)$$

● коэффициент полноты покрытия компетенциями экспертов всего множества проектов по панелям проектов:

$$k_5 = \frac{|\cup_{i=1..|E|} M_i|}{|D|}. \qquad (6)$$

В соответствии с предложенным методическим подходом по оценке тематической близо-

сти выполняемых проектов данные коэффициенты могут быть определены для любой группы экспертов и по любой группе проектов.

Вопросы выявления дублирующей, подобной информации также могут успешно решаться с использованием семантического анализа. Исследования следует проводить на множествах проектов, которые объединены в кластеры. Это уже гарантирует некоторое подобие. Дальнейший анализ следует осуществлять по направлениям поиска устойчивых словосочетаний (коллокаций). Фактически это означает уточнение результатов кластерного анализа. Будем выделять два уровня коллокаций:

- общая коллокация – словосочетание, состоящее из двух или более слов, объединенных в виде семантически целостной единицы, выявленной на анализе всей совокупности текстов кластера;
- частная коллокация – коллокация, выявленная на анализе отдельного текста кластера.

Тогда вопрос подобия или дублирования информации можно свести к сравнению совпадающих коллокаций. Будем оценивать устойчивость одновременного употребления двух слов (биграмм) в некотором смысловом фрагменте. Для общей коллокации таким смысловым фрагментом будет корпус текста отдельного проекта, для частной коллокации внутри корпуса текста отдельного проекта смысловые фрагменты выбираются в виде отдельных предложений. Пусть D – совокупность проектов, ранее объединенных в кластер по смысловому признаку, для общей коллокации формируем обобщенный словарь термов $\{t_1,t_2,\ldots t_n\}$ из всех различных слов вошедших в D; для частной коллокации словарь термов $\{t_1,t_2,\ldots t_n\}$ формируем из различных слов, составляющих корпус текста проекта. Для поиска устойчивых словосочетаний будем по выбору использовать наиболее распространенные меры:

- коэффициент взаимной информации MI-score мера [6, 7, 8]. (Сравнивает зависимые контекстно-связанные частоты с независимыми, как если бы слова появлялись в тексте совершенно случайно. Мера MI-score зависит от размера корпуса – чем больше исследуемый корпус, тем выше в среднем получаемые по нему значения меры. Другим недостатком меры является ее свойство завышать значимость редких словосочетаний. Чем более редки слова, образующие коллокацию, тем выше будет для них значение меры, что делает ее «беззащитной» перед опечатками, иностранными словами и другим информационным шумом)

$$MI_{score}(t_1,t_2)=\log_2\left(\frac{f(t_1,t_2)\cdot n}{f(t_1)\cdot f(t_2)}\right), \qquad (7)$$

где $f(t_1,t_2)$ – частота одновременного употребления термов t_1,t_2, рассчитанная по всем смысловым фрагментам;
$f(t_1)f(,t_2)$ – независимые частоты употребления термов t_1,t_2 соответственно, рассчитанные по всем смысловым фрагментам;
n – общее число термов в корпусе;

- мера t-score [6, 7, 8] (Мера t- score, в отличие от MI- score, не преувеличивает значимость редких коллокаций)

$$t_{score}(t_1t_2)=\frac{f(t_1t_2)-\frac{f(t_1)\cdot f(t_2)}{n}}{\sqrt{f(t_1t_2)}}; \qquad (8)$$

- мера salience [6, 7, 8] (используется например в системе Sketch Engine)

$$salience(t_1,t_2)=14+\log_2\left(\frac{2\cdot f(t_1,t_2)}{f(t_1)+f(t_2)}\right). \qquad (9)$$

Будем считать, что слова образуют коллокацию, если значение меры превосходит некоторое пороговое значение. Результатом использования данных мер будет множество коллокаций:

$$\left\{\left\langle t_i,t_j\right\rangle \mid i\neq j, i=1..n, j=1..n, \left(MI_{score}(t_i,t_j)>\delta_1\right)\vee \vee\left(t_{score}(t_i,t_j)>\delta_2\right)\vee\left(salience(t_i,t_j)>\delta_3\right)\right\},$$

где $\delta_1\delta_2\delta_3$ – пороговые значения соответствующих мер.

Пусть A – множество общих коллокаций; B – множество частных коллокаций; D_x,D_y – два проекта, для которых проводится анализ на подобие.

В проекте D_x случайным образом выбираем заданное количество коллокаций из множеств A,B, встречающихся в нем. Если более половины из этого количества также встречается в D_y будем считать, что D_x,D_y – подобные проекты (например, в системе InfoStream [6, 7, 8] выбирают 12 ключевых слов, и если встречается более 6 совпадений, то принимается решение о подобии, дублировании документов).

Отметим, что выявление дублирования или подобия – сходные задачи. Однако дублирование есть крайний случай подобия. Фактически дублирование задает на анализируемом множестве некоторое отношение эквивалентности: для любых двух объектов, связанных отношением дублирования, присущи свойства рефлексивности, симметричности, транзитивности. В то время как для отношения подобия свойство рефлексивности выполняется, свойства симметричности, транзитивности не обязаны выполняться. Действительно, если проект D_x подобен D_y, а D_y подобен D_z, то отсюда может не следовать, что D_x подобен D_z. Кроме этого, если D_x является частью D_y (случайно выбранные коллокации из D_x содержатся в D_y, т. е. будет сделан вывод, что D_x

подобен D_y), то отсюда не следует, что D_y подобен D_x (ни одна из случайно выбранных коллокаций из D_y не содержится в D_x) - нарушается свойство симметричности.

Таким образом, корректно говорить о дублировании можно только на более широкой коллекции документов. В частности можно оценить степень приближения к выполнению свойств транзитивности, симметричности на коллекции документов (множестве проектов, вошедших в кластер). Для этого каждой паре проектов D_i, D_j поставим в соответствие $a_{i,j}=1$, если D_i подобен проекту D_j и $a_{i,j}=0$ в противном случае. Для оценки приближения к свойству симметричности введем коэффициент асимметричности [5]:

$$\frac{\sum_{i=1}^{|D|}\sum_{j=1}^{|D|}\left|a_{i,j}-a_{j,i}\right|}{\sum_{i=1}^{|D|}\sum_{j=1}^{|D|}a_{i,j}}. \qquad (10)$$

Для оценки приближения к свойству транзитивности введем коэффициент транзитивности [5]:

$$\frac{\sum_{i=1}^{|D|}\sum_{j=1}^{|D|}\sum_{k=1}^{|D|}a_{i,j}\cdot a_{j,k}\cdot a_{i,k}}{\sum_{i=1}^{|D|}\sum_{j=1}^{|D|}a_{i,j}}. \qquad (11)$$

Таким образом, при высокой степени приближения к свойствам транзитивности и симметричности коэффициент антисимметричности должен принимать малое, близкое к нулю значение, а коэффициент транзитивности должен приближаться к единице. Сама по себе проверка коэффициентов асимметричности и транзитивности может использоваться для проверки приближения к эквивалентности на коллекции документов, однако решение о содержательном дублировании информации должно оставаться за экспертами.

Как было отмечено, несмотря на сплошной контроль хода выполнения проектов, содержательная экспертиза всех без исключения проектов практически недоступная процедура, это приводит к естественным упрощениям содержательного анализа при усложнении самих процедур контроля. В то же время в отношении содержательного анализа результатов проекта, по мнению авторов, целесообразно идти не по пути тотального контроля с отрывом от анализа взаимосвязи контролируемого проекта с другими проектами, а по пути выборочного контроля заданного количества проектов внутри сформированной панели проектов. При этом конечные цели такого контроля существенно отличаются от существующего контроля при приемке проекта. Так при сдаче проекта преследуются нормативные цели: удовлетворены ли все требования технического задания; допустимы ли принятые подходы и решения в соответствующей предметной области. В то время как при экспертизе содержательного анализа результатов проекта следует стремиться получить ответ на вопрос о прорывном характере принятых в проекте подходов и решений для соответствующей предметной области.

Решение данной задачи позволит использовать качественную характеристику проекта в общем алгоритме оценки результативности проектов Программы. Рассмотрим соответствующий подход к ее решению.

Пусть P – множество проектов, вошедших в один кластер с использованием автоматизированных процедур семантического анализа, E – группа экспертов, участвующих в оценке проектов данного кластера. Каждому эксперту сопоставлена панель проектов M_i, причем

$$\cup_{i=1..|E|} M_i \subseteq P.$$

Поскольку суждение о прорывном характере принятых в проекте подходов и решений для соответствующей предметной области носит нечетких характер, для экспертизы каждого проекта целесообразно назначать более одного эксперта. Сложившаяся практика свидетельствует о допустимом количестве - три эксперта на один проект (при таком малом количестве экспертов практически не возникает необходимость оценки согласованности мнений экспертов). Каждый эксперт может поставить проекту одну оценку из множества: $\{-1,1\}$, причем оценка 1 ставится, если, по мнению эксперта, принятые в проекте подходы и решения для соответствующей предметной области носят прорывной характер; -1 – в противном случае. Окончательно, j-му проекту приписывается характеристика качества: ε – наиболее часто встречающаяся оценка на множестве мнений экспертов, где ε_i^j – мнение i- го эксперта по j-му проекту $\mathring{a}_i^j \in \{-1,1\}$. Исходя из требования по три эксперта на проект, необходимо построить множество

$$I = \{p_l \mid p_l \in (M_i \cap M_j \cap M_k), p_l \in P\}.$$

Таким образом, выборочная экспертиза проводится на множестве I.

В настоящее время разработано большое количество методов выборочного контроля [9]. Исходя из принятых ограничений нашей задачи, наиболее простой и подходящей становится схема выборочного контроля по альтернативному признаку в случайной выборке без возвращения [9]. Для этого на множестве I случайным образом делают выборку объемом n без повторения проектов. Каждому проекту в соответствии с выше изложенным подходом приписывают характеристику качества ε. Предполагаем, что в множестве I количество проектов, для которых ε, является неизвестной величиной D. Обозначим

количество проектов, для которых в выборке n была признана характеристика ε через d. Тогда, как известно [9], вероятность обнаружения в случайной выборке по n проектов из $|I|$, обозначенная как $H^{n\,d}_{|I|,D}$, задается гипергеометрическим распределением. Действительно, если любая выборка по n проектов из $|I|$ равновероятна, то число таких выборок равно $\binom{|I|}{n}$, число выборок из D по d равно $\binom{D}{d}$, а число выборок из $|I|$-D по n-d равно $\binom{|I|-D}{n-d}$. Искомую вероятность получаем как отношение числа благоприятных исходов к общему числу исходов:

$$H^{n\,d}_{|I|D} = \frac{\binom{D}{d}\cdot\binom{|I|-D}{n-d}}{\binom{|I|}{n}}. \qquad (12)$$

Для гипергеометрического распределения в практике статистического контроля качества широко используются так называемые одноступенчатые планы. В нашем случае под таким планом будем понимать правило обследования совокупности проектов I, при котором задавшись некоторым числом c по результатам обследования случайной выборки проектов из I объемом n и получения числа проектов d, для которых $\overline{\varepsilon_j}=1$, принимается решение, что при $d<c$ всем оставшимся не выбранными проектам из I приписывается значение $\overline{\varepsilon_j}=-1$; и наоборот, при $d\geq c$ всем оставшимся проектам приписывается $\overline{\varepsilon_j}=1$.

Таким образом, основной вопрос сводится к адекватному выбору параметра c и объема выборки для обследования n. Типичной является следующая задача планирования выборочного контроля. Требуется найти пару (n,c), при которой для заданных $D_1<D_2$ вероятность приписать всем оставшимся не выбранным проектам при $D=D_1$ значение $\overline{\varepsilon_j}=-1$ не менее $1-\alpha$, а вероятность приписать всем оставшимся не выбранным проектам при $D=D_2$ значение $\overline{\varepsilon_j}=-1$ не более β. Числа α, β называются ошибками первого, второго рода соответственно.

Значение D_1 соответствует минимальному количеству проектов, имеющих высокую содержательную ценность, при котором количеству D_1-d мы готовы вместо этого приписать рядовое (как у всех) качество, соответственно $1-\alpha$ характеризует вероятность этой ошибки – таким количеством мы готовы пожертвовать с высокой вероятностью. Значение D_2 наоборот соответствует максимальному количеству проектов с высокой содержательной ценностью, на котором вероятность сделать ошибку (приписав количеству D_2-d значение $\overline{\varepsilon_j}=-1$) достаточно мала (не более β) – таким количеством мы готовы пожертвовать лишь с малой вероятностью. Обычно выбирают $\alpha=\beta=0.05,01$. Выбор же D_1,D_2 может быть обоснован эмпирическими соображениями: очевидно, что чем в большей степени согласованы компетенции экспертов, а также чем большее количество проектов из кластера они покрывают, тем в большей степени им можно доверять.

Примем пессимистическую оценку, что если эксперты ошибаются, то всегда приписывают проекту $\overline{\varepsilon_j}=-1$ вместо $\overline{\varepsilon_j}=1$. Тогда при низких значения k_4,k_5 (формулы (5), (6)) значение d будет занижено, значит, для сохранения значения разностей D_1-d и D_2-d на прежнем уровне нужно брать меньшее D_1,D_2.

Задавшись, таким образом, значениями D_1,D_2,α,β, по формуле (12) подбирают такие (n, c), что выполнено условие:

$$H^{n,c}_{|I|,D_1}\geq 1-\alpha, H^{n,c}_{|I|,D_2}\leq\beta. \qquad (13)$$

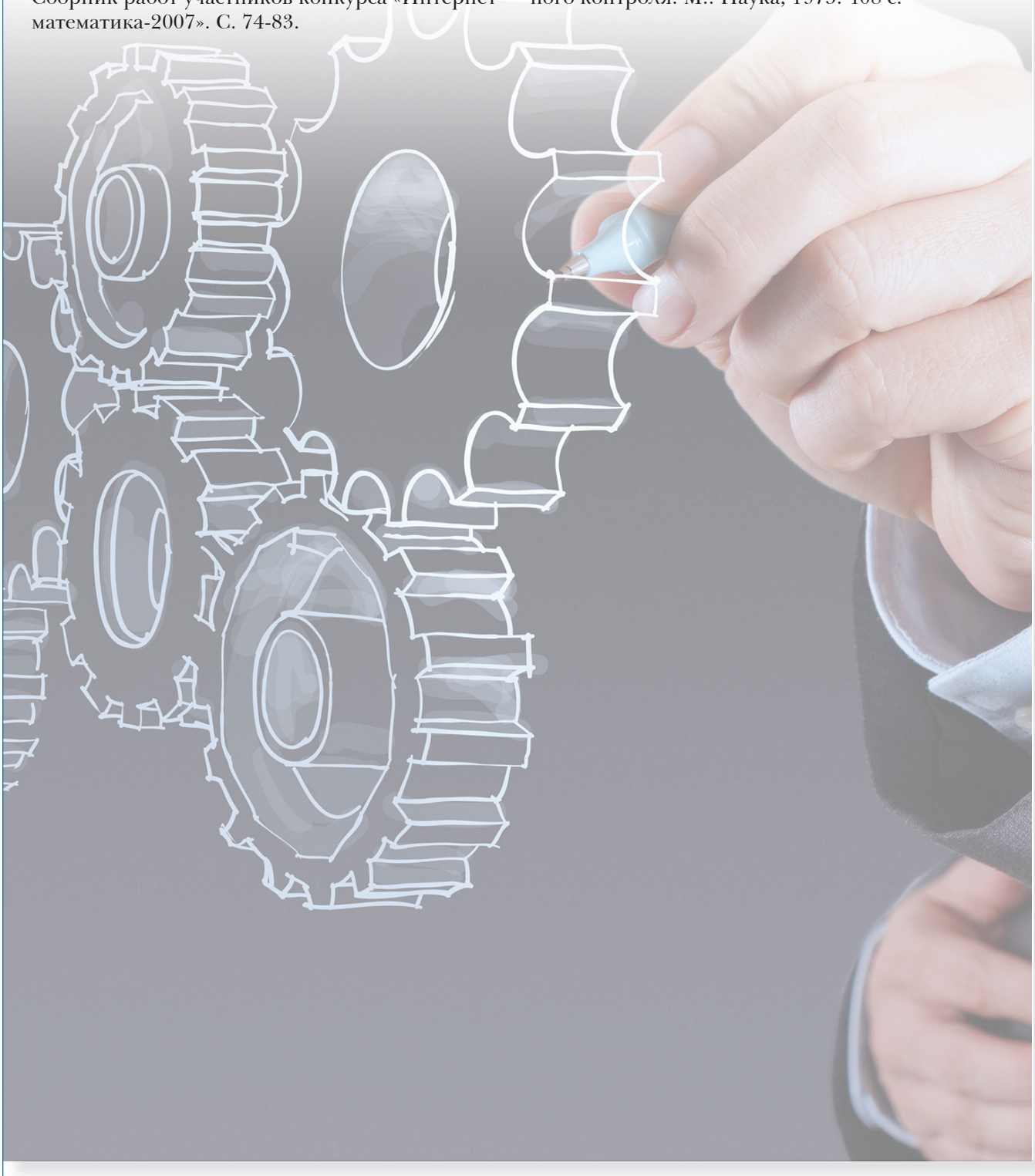
Заметим, что возможны разные схемы приписывания значений оставшейся части выборки $P\backslash I(P\backslash I\neq\emptyset)$. Исходя из принятых ограничений, корректно говорить, что для них невозможно провести экспертизу. Тогда всем таким проектам (не вошедшим во множество компетенций экспертов) можно приписать значение $\overline{\varepsilon_j}=0$. В тоже время допустимо и распространение мнения для необследованной части выборки $|I|$-n для всех остальных проектов кластера $P\backslash I$, т. е. при $d<c$ всем оставшимся проектам приписывается $\overline{\varepsilon_j}=-1$, а при $d\geq c$ всем оставшимся проектам можно приписать $\overline{\varepsilon_j}=1$.

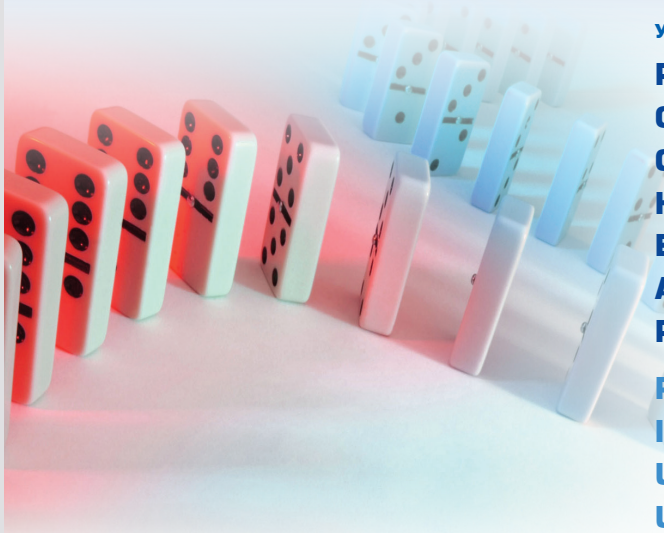
Таким образом, предлагаемая методология оценки качества проектов на основе содержательного анализа полученных результатов позволяет оценить как качество работ, выполняемых исполнителями проектов Программы, так и получение новых, в том числе, научных (фундаментальных, прикладных) результатов.

Литература

1. Артамонов Ю.Н. Метод оценки результативности научно-технических проектов целевых программ // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С.78-81.
2. Артамонов Ю.Н. Модель оценки результативности научных и образовательных организаций на основе сингулярного разложения матрицы // Информационные и телекоммуникационные технологии, 2013. №17. С.3-9.
3. Артамонов Ю.Н. Управление индикативными параметрами целевых программ на основе механизмов бутстрэп-анализа // Известия Института инженерной физики, 2015. №1(35). С.71-75.
4. Артамонов Ю.Н., Емелин Н.М. Методика выделения факторов, влияющих на целевые индикаторы проектов целевых программ // Известия

Института инженерной физики, 2017. №2(44). С.25-29.
5. Ландэ Д.В., Снарский А.А., Безсуднов И.В. Интернетика. Навигация в сложных сетях: модели и алгоритмы. М.: URSS, 2009. 264 с.
6. Киселев М. Метод классификации текстов, основанный на попарной близости термов, характеризующих тексты, и его сравнение с метрическими методами кластеризации // Сборник работ участников конкурса «Интернет-математика-2007». С. 74-83.
7. Лукашевич Н.В. Тезаурусы в задачах информационного поиска. М.: Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2011. 396 с.
8. Шабанов В.И. Метод классификации текстовых документов, основанный на полнотекстовом поиске // Труды Первого российского семинара по оценке методов информационного поиска. СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 2003.
9. Беляев Ю.К. Вероятностные методы выборочного контроля. М.: Наука, 1975. 408 с.





УДК 623.746; 623.4

РАЦИОНАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОГНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СВОБОДНОПАДАЮЩИХ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ КОНТЕЙНЕРОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РИСКОВ

RATIONAL DISTRIBUTION OF FIRE INFLUENCE OF FREE–FALLING UNCONTROLLABLE CONTAINERS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES ON THE BASIS THEORIES OF RISKS

Александр Владиславович Ананьев
кандидат технических наук
старший научный сотрудник
АО НПП «Полет» (г. Нижний Новгород),
доцент кафедры ФГКВОУ ВО ВУНЦ ВВС
«ВВА им. Н.Е. Жуковского и
Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Адрес: 394064, г. Воронеж,
ул. Старых Большевиков, д. 54а
Тел.: 8 (920) 441-11-38
E-mail: sasha303_75@mail.ru

Андрей Григорьевич Рыбалко
адъюнкт
ФГКВОУ ВО ВУНЦ ВВС
«ВВА им. Н.Е. Жуковского и
Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Адрес: 394064, г. Воронеж,
ул. Старых Большевиков, д. 54а
Тел.: 8 (920) 466-68-08
E-mail: rybalkovvs@yandex.ru

Владимир Иванович Гончаренко
доктор технических наук, доцент
директор Военного института
ФГБОУ ВО «Московский
авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)»
ведущий научный сотрудник
ФГУН «Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН»
Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: 8 (903) 725-87-35
E-mail: vladimirgonch@mail.ru

Аннотация

На основе теории рисков предложена методика рационального распределения огневого воздействия для нового авиационного средства поражения – свободнопадающих неуправляемых контейнеров беспилотных летательных аппаратов малого класса. Предложенная методика позволяет рационально распределять огневое воздействие неуправляемых авиационных средств поражения малого калибра при высокоточном поражении одиночных малоразмерных наземных целей противника. Приведен пример обоснования рациональной точки прицеливания при огневом поражении авиационных комплексов противника на открытых стоянках.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат малого класса, свободнопадающий неуправляемый контейнер, огневое воздействие, самолет на открытой стоянке, теория рисков, метод анализа иерархий.

Summary

On the basis of the theory of risks the technique of rational distribution of fire influence for a new aviation weapon of destruction – free-falling uncontrollable containers of unmanned aerial vehicles of a small class is offered. The offered technique allows to distribute rationally fire influence of uncontrollable aviation weapons of destruction of small caliber at high-precision defeat of single pinpoint ground targets of the opponent. The example of calculation of justification of a rational aiming mark at fire defeat of aviation complexes of the opponent on open parking is given.

Keywords: the unmanned aerial vehicle of a small class, free-falling uncontrollable container, fire influence, the plane on the open parking, the theory of risks, a method of the analysis of hierarchies.

В настоящее время беспилотная авиация применяется как в гражданской, так и в военной сфере. Отдельно выделяется класс беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) взлетным весом до 30 кг, которые способны нести полезную нагрузку малой массы. При этом в качестве такой

нагрузки используется оптико-электронное разведывательное оборудование, позволяющее использовать БПЛА для решения разведывательных задач. Однако известны ситуации использования БПЛА для нанесения ущерба реальным военным объектам [1,2], то есть решения ударных задач. В тоже время, экспериментальные исследования [3,4] показывают, что БПЛА малого класса (МК) могут нанести высокоточные удары по наземным целям, в том числе и по авиационным комплексам (АК) на открытых стоянках. Кроме того, дальность управления БПЛА МК по результатам экспериментов [3,4] составила порядка 300 км, а точность сброса ударных нагрузок БПЛА – свободнопадающих неуправляемых контейнеров (СНК), характеризуется вероятным отклонением в 3-5 м. Отдельно стоит отметить, что СНК БПЛА МК являются новым авиационным средством поражения (АСП), обладающими рядом особенностей, по сравнению с известными АСП [5, 6] (*таблица 1*). Так, например, анализируя соотношение размеров зоны поражения и малую мощность СНК БПЛА МК и АК вероятного противника, а также учитывая собственные размеры СНК, можно утверждать, что применение СНК по самолетам на открытых стоянках относится к варианту огневого поражения малоразмерных одиночных наземных целей неуправляемыми АСП малого калибра.

В отличие от классического порядка применения АСП такого калибра в пилотируемой авиации (снаряжение в кассеты или контейнеры), особенностью СНК является то, что порядок его применения с БПЛА МК соответствует бомбометанию неуправляемыми АСП крупного калибра.

Выявленные особенности СНК БПЛА МК требуют разработки научно-методического аппарата для повышения эффективности их применения. В работах [7, 8] при оценке эффективности поражения малоразмерных одиночных наземных объектов неуправляемыми АСП цель разбивается на условные прямоугольники, затем вычисляется вероятность попадания АСП в каждый из них, а итоговая вероятность находится суммированием вероятностей попадания в каждый из прямоугольников. Известен также обобщенный практический подход [9, 10], при котором считают, что точки падения АСП внутри цели располагаются равномерно. При таком допущении условная вероятность поражения цели при одном попадании будет равна отношению площади уязвимого места цели к площади всей цели.

Проведенный анализ существующего научно-методического аппарата показал, что не представляется возможным его использование для оценки эффективности поражения авиационных комплексов на земле СНК БПЛА МК. Другим подходом к повышению эффективности огневого поражения наземных объектов является управление соотношением между точностью наведения АСП на цель и мощностью боевой части, обеспечивающей поражение цели с максимальной эффективностью [11, 12], что в случае с СНК обеспечить невозможно.

Целью статьи *является разработка нового научно-методического аппарата рационального распределения средств поражения БПЛА МК при огневом воздействии по наземным объектам на основе теории рисков.*

Таблица 1
Место СНК в номенклатуре АСП

Вид АСП	Тип АСП	СП крупного калибра	СП малого калибра, сбрасываемое в контейнере	СП малого калибра, сбрасываемое самостоятельно
Авиационные бомбы	фугасные АБ			
	объемно-детонирующие АБ			
	осколочные АБ			
	осколочно-фугасные АБ			
	зажигательные АБ			
	бетонобойные АБ			
	противотанковые АБ			
Неуправляемые авиационные ракеты				
Снаряды к авиационным пушкам				
СНК	осколочного типа (ОСП)			
	кумулятивного типа (КСП)			
	типа «ударное ядро» (СП «УЯ»)			

Введенный в [3, 4] термин СНК подразумевает гибкость использования ударных нагрузок БПЛА МК. Под ***СНК***, понимается универсальная оболочка (контейнер), снаряжаемая боеприпасом малого калибра: осколочного, кумулятивного действия или типа «ударное ядро» [13]. СНК является средством доставки боеприпаса от момента отделения от БПЛА до момента попадания в цель (подрыва).

В настоящей работе рассмотрены следующие типы средств поражения (СП), снаряжаемые в СНК:

1) СП дистанционного действия осколочного типа (ОСП) с неконтактным взрывателем;

2) СП ударного действия кумулятивного типа (КСП) с взрывателем ударного действия;

3) СП ударного действия типа «ударное ядро» (СП типа «УЯ») с неконтактным взрывателем.

В качестве наземных целей, поражаемых с использованием СНК БПЛА МК, в настоящей работе приняты гипотетические АК, близкие по характеристикам к АК типа «тактического истребителя F-16», размещенные на открытых стоянках.

В качестве критерия эффективности действий БПЛА МК по наземной цели, целесообразно принять нанесение самолетам ТА вероятного противника такого ущерба, при котором потребуется максимальное время на его восстановление. Для этого, рассматривая верхнюю полусферу АК при применении СНК, в целях повышения эффективности действий группировки БПЛА МК авторами предлагается выделить уязвимые зоны (*рисунок 1*), характеризуемые особенностями компоновочной схемы самолета типа F-16 [14], его систем и оборудования различного целевого назначения:

1) носовой отсек (НО);

2) кабина экипажа (КЭ);

3) закабинный отсек (ЗО);

4) центроплан (ЦП);

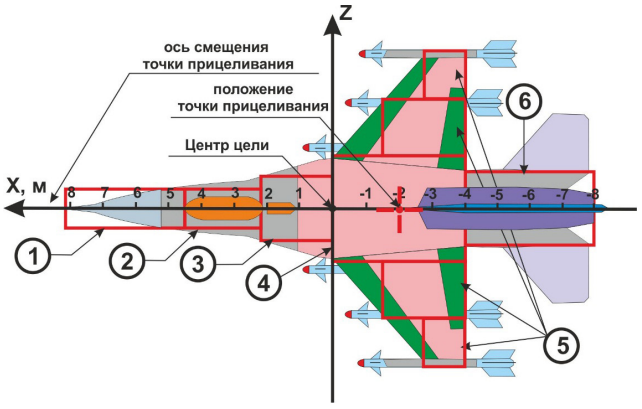


Рис. 1. Уязвимые зоны самолета тактической авиации

5) консоли крыла (КК);

6) двигательный отсек (ДО).

Применение СНК БПЛА по АК должно обеспечить максимальное **время восстановления**, которое необходимо для восстановления (замены) основного элемента уязвимой зоны, получившей ущерб. Результаты оценок трудозатрат (человеко-часов), определяемые группой экспертов, в соответствии с требованиями руководящих документов по технической эксплуатации и восстановлению авиационной техники, представлены в *таблице 2*.

Таблица 2

Трудозатраты на восстановление уязвимых зон самолета

Уязвимая зона	Необходимые трудозатраты, чел/часы		
	ОСП	КСП	СП «УЯ»
Носовой отсек	12	20	20
Кабина экипажа	16	60	40
Закабинный отсек	40	60	80
Центроплан	40	80	80
Консоли крыла	40	80	60
Двигательный отсек	40	80	80

Таким образом, согласно *таблице 2*, воздействие по различным зонам наземной цели разными типами СП приводит к различным трудозатратам восстановления, что целесообразно учесть при планировании организации нанесения удара. Следовательно появляется возможность оценить риск, за счет комплексного учета следующих показателей эффективности применения СНК БПЛА МК по авиационному комплексу: вероятности попадания ($P(x)$) СП в АК, в зависимости от положения точки прицеливания; закона поражения (G); масштаба наносимого ущерба (T), в зависимости от целевой установки (согласно частных условий – время восстановления АК).

С учетом введенных показателей и шести выделенных уязвимых зон АК, в качестве критерия эффективности огневого воздействия заданным типом СП предлагается принять максимум зависимости интегрального (суммарного) риска ($R(x)$), выраженного следующей формализованной формулой:

$$R(x) = \sum_{i=1}^{N} P_i(x) G_i T_i \rightarrow \max , \qquad (1)$$

где $P_i(x)$ – вероятность попадания заданного типа СП в i-ю зону в зависимости от положения точки прицеливания, расположенную на центральной оси самолета, сущность смещения которой поясняет также *рисунок 1*;

G_i – закон поражения i-й уязвимой зоны, при условии попадания в нее СП;

T_i – масштаб наносимого ущерба i-й уязвимой зоны (время восстановления агрегатов и элементов уязвимой зоны).

Для оценки суммарного риска ($R(x)$) (1) авторами разработана методика, включающая следующие операции:

1. Определение, в общем случае, вероятности попадания средства поражения в i-ю уязвимую зону АК (P_i) по формуле [8]:

$$P_i = \int_{x_{i1}}^{x_{i2}} \int_{z_{i1}}^{z_{i2}} f(x,z)dxdz, \qquad (2)$$

где $f(x,z)$ – плотность распределения координат точек попадания СП в плоскости цели (закон рассеивания),

x_{i2}, x_{i1}, z_{i2}, z_{i1} – координаты сторон i-й уязвимой зоны.

2. Значение (2) для частного случая может быть определено на основе экспериментальных исследований [4], в результате которых подтверждено нормальное распределение координат точек попадания СП в плоскость цели. Следовательно, вероятность попадания СП в каждую i-ю уязвимую зону (P_i), в зависимости от положения точки прицеливания, рассчитывается по формуле:

$$P_i(x) = \left[\Phi\left(\frac{x_{i2}-x}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{x_{i1}-x}{\sigma_x}\right)\right] \times \left[\Phi\left(\frac{z_{i2}}{\sigma_z}\right) - \Phi\left(\frac{z_{i1}}{\sigma_z}\right)\right] \qquad (3)$$

где Φ – функция Лапласа;

x_{i1}, x_{i2}, z_{i1}, z_{i2} – координаты сторон i-й уязвимой зоны;

x – координата точки прицеливания по линии симметрии самолета;

σ_x, σ_z – средние квадратические отклонения по осям OX и OZ.

Размеры уязвимых зон, используемые для расчетов по формуле (3), вероятности попадания СП ударного действия (кумулятивного СП и СП типа «УЯ») показаны на *рисунке 1*. Для СНК снаряженных боеприпасами дистанционного действия – осколочными средствами поражения, вследствие возникновения осколочного поля, не обязателен контакт СНК с поверхностью уязвимой зоны. Допустим промах СНК относительно площади уязвимой зоны на некоторую величину, меньшую либо равную значению радиуса эффективной зоны поражения осколочного поля. На *рисунке 2* показана схема воздействия на уязвимую зону средств поражения разных типов.

Следовательно, в качестве первого множителя выражения (1) определяется не вероятность попадания СНК в i-ю уязвимую зону имеющую площадь S_i, а вероятность попадания в данную зону поражающих элементов (осколков), образующихся при подрыве СНК, снаряженного осколочным СП. Для этого необходимо размеры i-х уязвимых зон АК ТА с координатами x_{i1}, x_{i2}, z_{i1}, z_{i2} увеличить на значение радиуса эффективной зоны поражения (R) [13]. Тогда при подрыве осколочного СП, в границах расчетной площади S'_i, с координатами x_{i1}-R, x_{i2}+R, z_{i1}-R, z_{i2}+R, обеспечивается накрытие осколочным полем i-й уязвимой зоны АК ТА. При этом вероятность попадания поражающих элементов в i-ю уязвимую зону рассчитывается по формуле (3).

На примере уязвимой зоны «центроплан» (*рисунок 3*), показано формирование расчетной площади S'_i для определения вероятности попадания в i-ю уязвимую зону поражающих элементов осколочных СП.

В *таблице 3* представлены рассчитанные по формуле (3) значения вероятностей попадания поражающих элементов осколочного средства

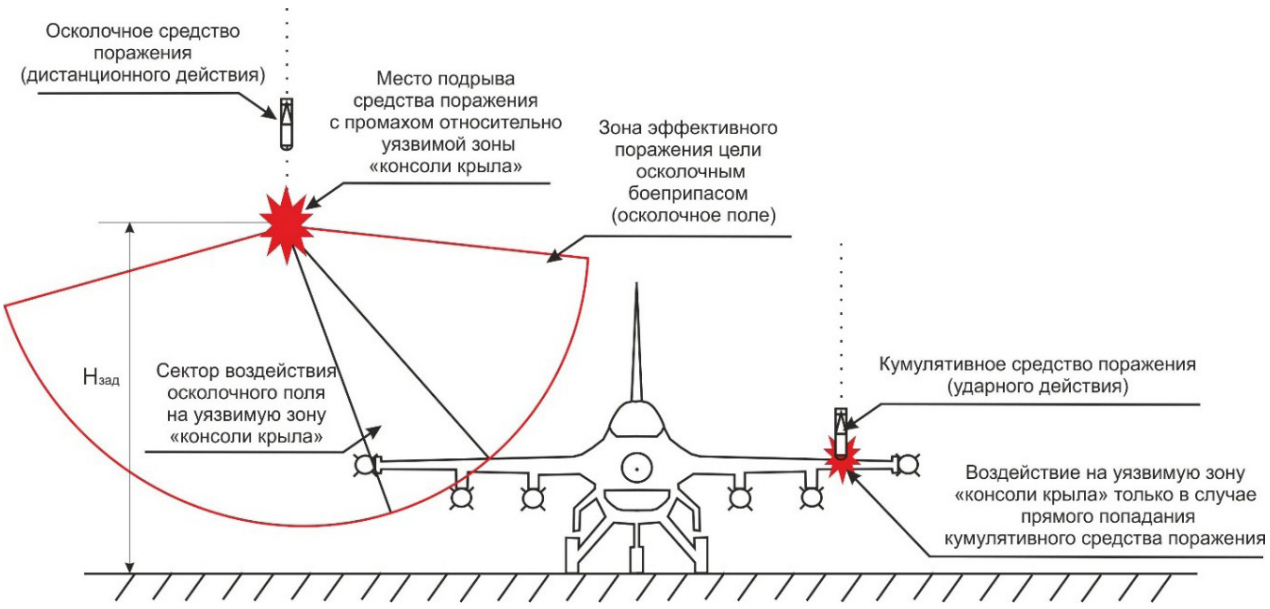


Рис. 2. Воздействие на уязвимые зоны средств поражения разного типа

Таблица 3

Значения вероятностей попадания ПЭ ОСП в *i*-е уязвимые зоны АК ТА (P_i) в зависимости от положения точки прицеливания

уязвимые зоны АК	Положение точки прицеливания (x), м								
	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8
НО (P_1)	0,0056	0,024	0,076	0,18	0,328	0,477	0,578	0,606	0,555
КЭ (P_2)	0,0023	0,08	0,186	0,335	0,48	0,569	0,571	0,487	0,343
ЗО (P_3)	0,084	0,197	0,355	0,509	0,601	0,601	0,509	0,355	0,197
ЦП (P_4)	0,35	0,527	0,657	0,708	0,674	0,558	0,387	0,215	0,092
КК (P_5)	0,426	0,635	0,772	0,785	0,67	0,471	0,264	0,114	0,037
ДВ (P_6)	0,602	0,668	0,656	0,568	0,417	0,248	0,115	0,04	0,01

поражения в каждую *i*-ю уязвимую зону АК ТА, с учетом радиуса эффективной зоны поражения (R) и в зависимости от положения точки прицеливания (x).

На *рисунке 4* показаны графики зависимости вероятности попадания СНК (поражающих элементов осколочных СНК) в *i*-ю уязвимую зону АК ТА от положения точки прицеливания, на примере уязвимой зоны «центроплан».

Анализ данных графиков показывает, что смещение точки прицеливания на 2 метра в сторону хвостового оперения АК ТА позволяет повысить вероятность попадания поражающих элементов СНК, снаряженных осколочными средствами поражения на 6%, и вероятность попадания СНК, снаряженных СП ударного действия (кумулятивного или ударного ядра) на 10%. Также данные графики показывают существенное превосходство (более чем в 6 раз) СП дистанционного действия над ударными по вероятности попадания в уязвимые зоны АК ТА.

Таким образом, можно сделать вывод, что рациональное распределение огневого воздействия СНК БПЛА МК по АК ТА за счет смещения точки прицеливания позволяет повысить эффективность попадания СНК в АК на 6-10% в зависимости от типа снаряженного средства поражения.

3. Основываясь на показателях выбранного критерия эффективности применения СНК по АК (*таблица 2*), определим степень влияния закона поражения (G_i) и масштаба ущерба (T_i) на значение интегрального риска $R(x)$ (1). Для этого авторами предложено использовать метод анализа иерархий (МАИ) Томаса Саати [15]. Выбор МАИ обусловлен высокой неопределенностью исходных данных об уязвимости отдельных элементов конструкции самолета. Восполнить (получить) эти знания на данном этапе не представляется возможным, так как отсутствуют реальные объекты поражения, которые можно было бы использовать для проведения соответствующих полигонных испытаний.

На *рисунке 5* представлена иерархия принятия решения по определению коэффициента, учитывающего закон поражения (G) и масштаб ущерба (T) выражения (1).

Расчет коэффициента, обобщающего второй и третий сомножители выражения (1) включает следующие этапы: ***первый этап*** – парные сравнения уязвимых зон поражения самолета по

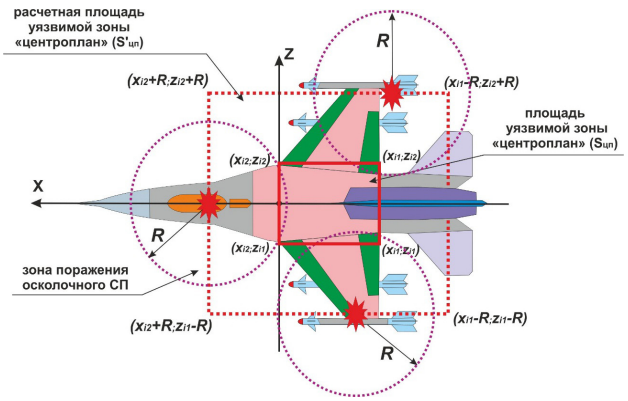


Рис. 3. Расчетная площадь уязвимой зоны «центроплан» для средств поражения дистанционного действия

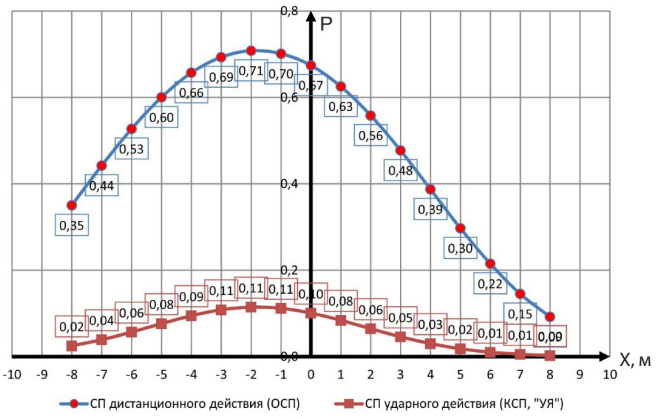


Рис. 4. Зависимость вероятности попадания СНК в уязвимую зону «центроплан» АК от положения точки прицеливания

критерию «время выведения из строя»; ***второй этап*** – парные сравнения типов СП по эффективности воздействия на *i*-ю уязвимую зону; ***третий этап*** – вычисление результирующего вектора приоритетов вклада в риск.

Все парные сравнения, в ходе реализации предложенного метода анализа иерархий, осуществляются по следующей девятибалльной шкале градации:

1 – одинаковая значимость;
3 – слабая значимость;
5 – существенная значимость;
7 – очевидная значимость;
9 – абсолютная значимость;
2, 4, 6, и 8 – промежуточные значения между соответствующими очевидными градациями.

Результаты первого этапа парных сравнений уязвимых зон произведены на основе данных *таблицы 2* и представлены в *таблице 4*.

На втором этапе производится сравнение средств поражения разных типов между собой при действии по каждой уязвимой зоне с целью определения типа СП, способного нанести максимальный ущерб. Результаты определения вектора приоритета выбора СП, на примере уязвимой зоны «кабина экипажа», приведены в *таблице 5*.

Таблица 4

Результат парных сравнений уязвимых зон между собой по критерию «время восстановления»

Критерий - время восстановления	НО	КЭ	ЗО	ЦП	КК	ДО	Вектор приоритетов
НО	1	1/4	1/6	1/8	1/6	1/8	0,0274
КЭ	4	1	1/3	1/5	1/3	1/5	0,0642
ЗО	6	3	1	1/2	1	1/2	0,1614
ЦП	8	5	2	1	2	1	0,2927
КК	6	3	1	1/2	1	1/2	0,1614
ДО	8	5	2	1	2	1	0,2927

Таблица 5

Результат парных сравнений СП по уязвимой зоне «кабина экипажа»

КЭ	ОСП	КСП	СП «УЯ»	Вектор приоритетов
ОСП	1	5	6	0,7172
КСП	1/5	1	3	0,1947
СП «УЯ»	1/6	1/3	1	0,088

На третьем этапе был определен обобщающий коэффициент для каждой уязвимой зоны и рассматриваемого средства поражения, учитывающий влияние друг на друга второго и третьего сомножителей функции интегрального риска $R(x)$ (1). Численные значения обобщающего коэффициента представлены в *таблице 6*.

Определив численные значения всех трех сомножителей функции (1) (данные *таблиц 3,6*), можно рассчитать и построить зависимость численного значения интегрального риска $R(x)$ нанесения АК ущерба, от типа СП и положения точки прицеливания. Графики зависимостей показаны на *рисунке 6*.

Разработанный авторами научно-методический аппарат позволяет: ***во-первых***, выбрать наиболее рациональное средство поражения,

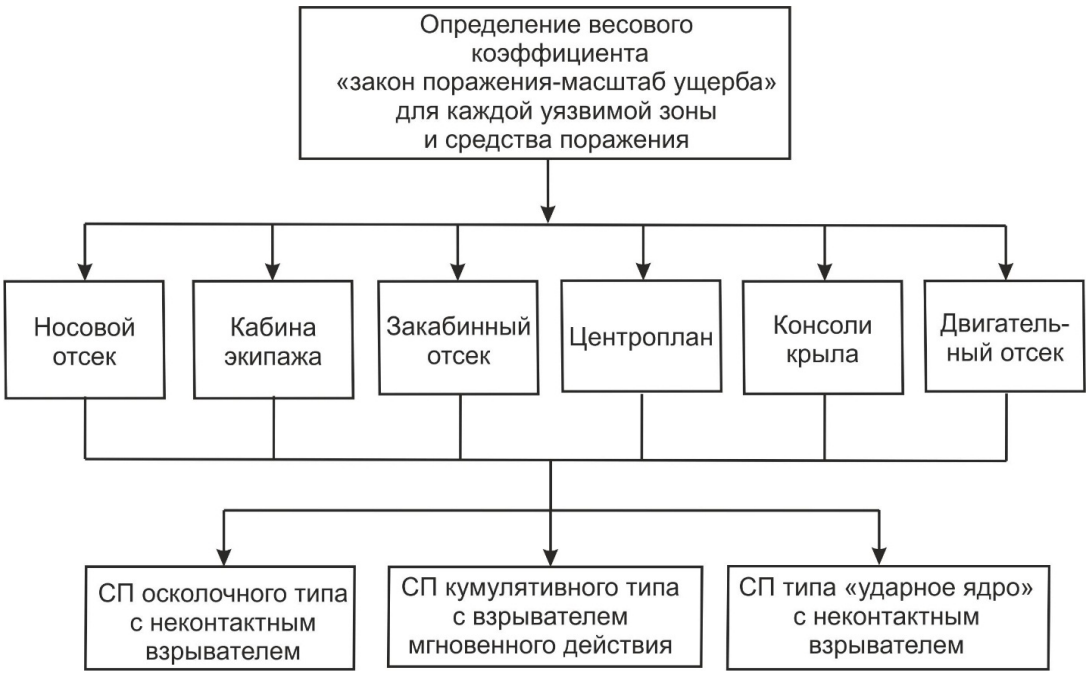


Рис. 5. Иерархия структуры МАИ по определению интегральных сомножителей риска

Таблица 6

Значение коэффициента по каждой уязвимой зоне для разных типов СП

	НО	КЭ	ЗО	ЦП	КК	ДО
ОСП	0,1	0,72	0,11	0,1	0,11	0,1
КСП	0,68	0,2	0,31	0,45	0,58	0,45
СП «УЯ»	0,22	0,08	0,58	0,45	0,31	0,45

снаряжаемое в СНК БПЛА МК, для нанесения максимального ущерба АК по критерию максимальное «время восстановления». Таким СП является осколочное средство поражения. ***Во-вторых***, обоснованно выбрать оптимальное положение точки прицеливания, для нанесения максимального ущерба по выбранному критерию. Для этого необходимо вынести точку прицеливания на 2 метра вперед по направлению к носовому обтекателю самолета, несмотря на то, что для реализации максимальной вероятности попадания поражающих элементов в цель необходимо точку прицеливания наоборот, сдвигать на 2 метра в противоположную сторону. Общий прирост оценки эффективности поражения наземных объектов группой БПЛА с использованием предложенной методики составляет 60-70%.

Таким образом, в работе предложена оригинальная методика рационального распределения огневых воздействий средств поражения ударных БПЛА МК при действии по наземным объектам, на примере авиационного комплекса тактической авиации на открытой стоянке. Данная методика разработана на основе теории риска и метода анализа иерархии, позволяющая повысить эффективность групповых действий ударных БПЛА, учитывающая особенности новых средств поражения – свободнопадающих неуправляемых контейнеров и носителей – ударных беспилотных летательных аппаратов малого класса.

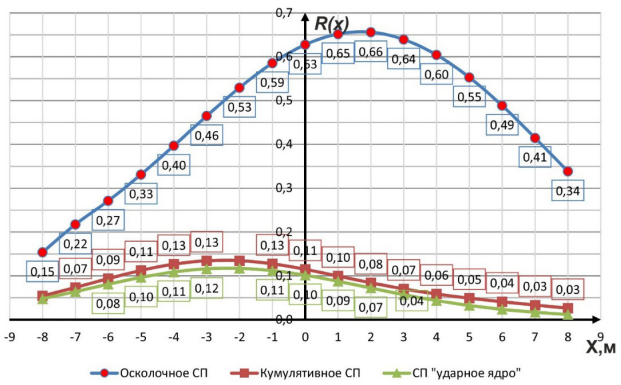


Рис. 6 Зависимость интегрального риска от типа средства поражения и положения точки прицеливания

Литература

1. Новак К.В., Горохова Е.А., Тофоров М.С. Оценка боевых возможностей беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения, применяемых в террористических целях / Роботизация Вооруженных сил Российской Федерации: сборник трудов II-й Военно-научной конференции. М., 2017. С.187-195.
2. Зубов В.Н. Современные террористические и ассиметричные угрозы // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму, 2018. №5-6. С.47-57.
3. Ананьев А.В., Филатов С.В., Рыбалко А.Г. Совместное применение пилотируемой авиации и разведывательно-ударных беспилотных летательных аппаратов малой дальности // Военная мысль, 2019. №4. С.26-31.
4. Ананьев А.В., Филатов С.В., Рыбалко А.Г. Статистическая оценка ударных возможностей беспилотных летательных аппаратов малой дальности при решении задач пилотируемой авиации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2018. Выпуск №12. С.455-460.
5. Руководство по боевому применению авиационных средств поражения наземных (морских) объектов. Часть 1. Авиационные неуправляемых средства поражения. М.: Воениздат, 1984. 392 с.
6. Авиационные боеприпасы: учебник для слушателей и курсантов высших инженерных военно-учебных заведений ВВС / Ф.П. Миропольский, Е.В. Пырьев и др. Под ред. Ф.П. Миропольского. М.: ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2010. 407 с.
7. Мильграмм Ю.Г., Попов И.С. Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций. М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1970. 500 с.
8. Боевые авиационные комплексы и их эффективность / под ред. О.В. Болховитинова. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 225с.
9. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций. М.: Советское радио, 1964. 391 с.
10. Кириллов В.И. Теория боевой эффективности и исследование операций. Учебник. Часть 2 Общие математические методы и основные задачи оценки эффективности боевых действий. Монино: ВВА, 1969. 276 с.
11. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности применения высокоточного оружия. М.: ИД Академии им. Н.Е. Жуковского, 2018. 231 с.
12. Буравлев А.И. Об оценке оптимального соотношения между мощностью боевой части и характеристиками рассеивания высокоточных средств поражения // Вооружение и экономика, 2013. № 3 (24). С. 17-22.
13. Средства поражения и боеприпасы: Учебник / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др.; под общ. ред. В.В. Селиванова. М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 984 с.
14. Винчестер Дж. Реактивные истребители. Пер. с англ. В.П. Воропаева. М.: Астрель, 2013. 320 с.
15. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети. Пер. с англ. / Науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. Изд. 4-е. М.: ЛЕНАНД. 2015.

УДК 539.182

ОТ ГЕРАЛЬДОВОГО ЗАПУТЫВАНИЯ К БЕЗУСЛОВНОЙ ТЕЛЕПОРТАЦИИ

FROM GERALDED ENTAGLEMENT TOWARDS THE NON–CONDITIONAL TELEPORTATION

Геннадий Германович Волков
доктор физико-математических наук, профессор
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: gennadii.volkov@rambler.ru

Сергей Владимирович Смуров
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, профессор
Первый Вице-президент Института –
Главный конструктор
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: Svs_iif@mail.ru

Александр Альбертович Масликов
кандидат физико-математических наук, доцент
заведующий комплексной лабораторией физики
Филиал «Протвино»
Государственного университета «Дубна»
Адрес: 142281, Московская обл.,
г. Протвино, Северный проезд, д. 9
Тел.: +7(4967)31-01-92
E-mail: masspref@yandex.ru

Алексей Николаевич Царьков
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
Президент Института –
Председатель Правления Института
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210 Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967) 35-31-93
E-mail: tsarkov@iifmail.ru

Аннотация

Мы продолжаем обсуждать механизмы запутывания спин-кубитов электронов и ядер в твердотельных NV-центрах с целью достижения дальней телепортации. Так как наблюдение и контроль спиновых уровней возбужденного состояния существенно связан с температурно-зависящей деформацией в алмазной решетке, то экспериментальные методы запутывания нескольких NV-центров при комнатной и криогенной температурах резко отличаются друг от друга. Так, если при комнатной температуре используется электрон-спин-спиновое взаимодействие двух NV-центров, которое требует очень малых расстояний между ними (20-30нм), то при криогенной температуре, благодаря контролю и управлению двух триплетных уровней возбужденного состояния возможно было реализовывать геральдово запутывание спиновых кубитов с дальнейшей реализацией безусловной телепортации между значительно удаленными NV-центрами. Использование уже полученных успешных результатов и ряда разработок на этих обоих направлениях требует исследования новых протоколов запутывания и телепортации с целью создания ключевых блоков для твердотельной реализации квантово-оптических сетей

Ключевые слова: NV-центры в алмазе, запутывание, телепортация, спин-электронные и спин-ядерные кубиты, квантовые сети.

Summary

We continue to discuss the entanglement mechanisms of spin-qubits of electrons and nuclei in solid-state NV centers in order to achieve long-distance teleportation. Since the observation and control of the spin levels of the excited state is significantly related to the temperature-dependent deformation in the diamond lattice, the experimental methods of entangling several NV centers at room and cryogenictemperatures are very different from each other. So, if electron-spin-spin interaction of two NV centersis used at room temperature, which requires very small distances between them (20-30 nm), then at cryogenic temperature, due to the possibility of controlling and controlling two triplet levels of the excited state, it was possible to realize the heraldic entanglement of spin qubits with the further implementation of unconditional teleportation between significantly remote NV centers. The use of successful results already obtained and a number of developments in these two areas requires the study of new entanglement and teleportation protocols in order to create key blocks for the solid-state implementation of quantum-optical networks

Keywords: NV-centers in diamond, entanglement, teleportation, spin-electron and spin-nuclear qubits, quantum networks.

Одним из наиболее важнейших аспектов квантовой механики является запутанность квантовых состояний, явление, при котором несколько квантовых состояний не могут быть описаны независимо, а описываются только как целая система. Это приводит к неклассическим корреляциям между квантовыми состояниями. NV-центр был использован в одной из первых демонстраций спин-фотоннного запутывания в твердом состоянии, в котором особый уровень возбужденного состояния соединяется с двумя спиновыми состояниями основного состояния через различные циркулярные поляризации света, в результате поляризация испускаемого фотона запутывается со спиновым состоянием. Аналогично, фотон, поглощаемый NV-центром посредством возбуждения на этот уровень возбужденного состояния, может также запутаться со спиновым состоянием NV-центра. Чтобы расширить такие протоколы запутывания и связать один NV-центр с другим, излучаемые фотоны из каждого должны быть неразличимы. Как твердотельная система, благодаря локальной электростатической среде, каждый NV-центр имеет несколько различные энергии орбитального перехода. Настройка оптических переходов двух отдельных NV-центров может быть достигнута с помощью эффекта Штарка при использовании внешних электрических полей. Благодаря способности настраивать отдельные NV-центры на вырождение, была осуществлена интерференция между испускаемыми фотонами нуль-фононной линии каждого NV-центра. Эти разработки заложили основу для демонстрации фотонного перепутывания двух NV-центров, разделенных на 3 метра [1,2].

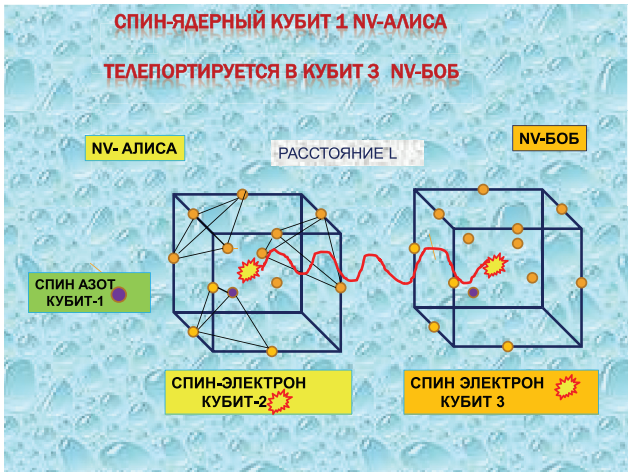


Рис. 1. Телепортирование ядерного спинового состояния NV-центра Алисы (1 кубит) на электронное спиновое состояние удаленного NV-центра Боба (кубит-3) на основе геральдового запутывания спин-электронного кубита-2 Алисы и спин-электронного кубита-3 Боба

В этой демонстрации спин-фотонная пара была создана для каждого NV-центра, и полученные фотоны затем перекрывались на светоделителе и измерялись совместно в базисе Белла. Успешная проекция этих временных бинов фотонов в состоянии Белла подготавливает запутывание NV-центров. Объединение способности распространять запутанность на большие расстояния с усилиями по разработке ядерных спиновых регистров, могло бы быть расширено на безусловное телепортирование ядерного спинового состояния одного NV-центра на электронное спиновое состояние другого удаленного NV-центра [1,2,3] (*рисунок 1*).

В последнее время стимулируются исследовательские усилия по созданию запутанных состояний отдаленных твердотельных кубитов. Первым кандидатом на твердотельный квантовый регистр является центр дефектов азота (NV) в алмазе. Центр NV объединяет долгоживущий электронный спин ($S=1$) с надежным оптическим интерфейсом, позволяющий измерять и контролировать на высоком уровне спиновой кубит. Кроме того, электронный спин NV можно использовать для доступа и манипулирования спинами путем формирования многоциклового регистра. Для использования таких регистров в квантовой сети требуется механизм для последовательного подключения удаленных NV-центров.

Структура возбужденных состояний NV-центра в алмазе

Благодаря насыщенной триплет-синглетной структуре возбужденного состояния NV-центра и присущей ему оптической адресуемости, NV-центр стал отличным испытанием для ряда

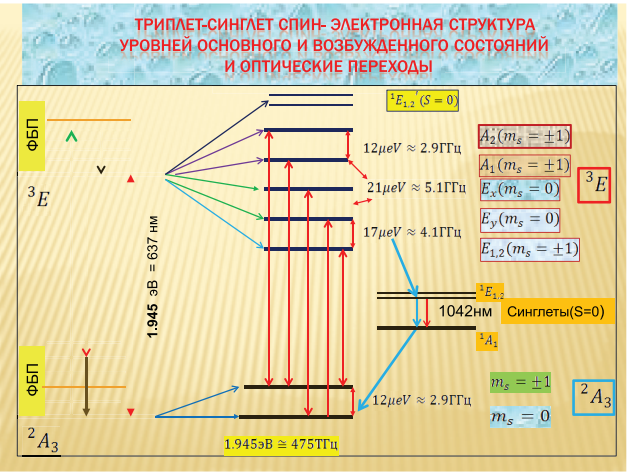


Рис. 2. Структура спин-электронных уровней и оптическое возбуждение NV-центра, представленное 5-ю оптическими переходами (два уровня вырождены) [3]

квантовых оптических протоколов, направленных на развитие фотонных сетей и квантовых ретрансляторов для квантовой обработки информации. Фотонный контроль NV-центра использует двух-триплетную структуру возбужденного состояния NV-центра, состоящую из шести спин-орбитальных уровней, имеющих при нулевых магнитных и электрических полях в рамках ряда модельных расчетов следующее распределение (*рисунок 2*).

Энергетические спектры 6-уровней оптически возбужденных 2-х триплетных состояний ($S=1$: $m_S=0,\pm1$) в обоих NV-центрах демонстрируют резкие спин-селективные переходы.

Основное состояние – триплет состояния ${}^3A_2$ – может быть оптически возбуждено или резонансно в ${}^3E$ или не резонансно в более высокие лежащие уровни в боковой полосе фононов (ФБП). Основное состояние нулевым полем, расщепляется на одно $m_S=0$ и на два вырожденных $m_S=\pm1$ состояния. Спин-спиновые и спин-орбитальные взаимодействия разделяют возбужденное состояние на шесть уровней. Метки обозначают состояния в соответствии с представлениями группы C_{3v} симметрии NV-центра (рис.2). Стрелками обозначены разрешенные оптические переходы. Расщепление возбужденного состояния связано с деформацией (или эквивалентно электрическими полями), перпендикулярной оси симметрии N-V. С увеличением деформации спиновые состояния все более расходятся и начинают перемешиваться. Магнитные поля вдоль оси N-V в соответствии с эффектом Зеемана расщепляют уровни $m_S=+1$ и $m_S=-1$.

Понимание и управление свойствами возбужденного состояния является центральной основой для достижения связного интерфейса между спин-электронными состояниями и оптическими фотонами. Одним из важнейшим отличием от изолированных атомов и ионов, квантовые уровни твердотельной системы (NV-центр и др.) имеют более сложную структуру уровней возбужденного состояния, свойства которой в значительной степени зависят от окружающей среды. Неаксиальная кристаллическая деформация должна обязательно учитываться для практической реализации, так как влияет на правила отбора оптических переходов и поляризационные свойства. При отсутствии внешних напряжений и электрических или магнитных полей свойства шести электронных возбужденных состояний определяются симметрией NV-центра C_{3v} и спин-орбитальными и спин-спиновыми взаимодействиями. Оптические переходы между основными и возбужденными состояниями сохраняют спин, но могут изменять электронный орбитальный угловой момент в зависимости от поляризации фотона.

Удаленная запутанность через фотонный канал

Оптический интерфейс NV-центра позволяет достичь запутывание между удаленными друг от друга регистрами. На базе измерений Белл состояний комбинированное обнаружение фотонов, испускаемых обоими центрами, проецирует спины в запутанное состояние [1,2,3,4]. Этот тип протоколов для центров NV-центров довольно устойчив к потере фотонов.

Общая схема генерации запутанности приведена на *рисунке 3*. Во-первых, оба центра заставляют испускать фотон, который запутан с электронным спином. Общее спин-фотонное состояние тогда имеет вид

$$|\psi\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle_e|\alpha\rangle_\gamma+|1\rangle_e|\beta\rangle_\gamma\right)$$

где $|0\rangle_e$, $|1\rangle_e$ являются двумя спин-электронными состояниями, а $|\alpha\rangle_\gamma$, $|\beta\rangle_\gamma$ – два ортогональных состояния фотонов – могут быть выбраны как поляризации, частоты, временные бины, числа состояний.

Для создания запутывания оба фотона должны перекрываться в сплиттере. Такие спин-фотонные запутывания уже были осуществлены в оптических переходах NV-центров при низких температурах. В сплиттере входящие фотоны $|\gamma\rangle_a$, $|\gamma\rangle_b$ преобразуются на выходе как:

$$|\gamma\rangle_a\to\frac{1}{\sqrt{2}}\left(|\gamma\rangle_1+|\gamma\rangle_2\right),$$
$$|\gamma\rangle_b\to\frac{1}{\sqrt{2}}\left(|\gamma\rangle_1-|\gamma\rangle_2\right)$$

где 1, 2 – обозначают две выходные моды.

Полное состояние двух фотонов и двух спинов выражается в виде прямого произведения состояний, отвечающих каждому удаленному друг от друга NV-центру

$$|\psi\rangle_a\otimes|\psi\rangle_b=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle_a|\xi\rangle_a+|1\rangle_a|\varsigma\rangle_a\right)\otimes\frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle_b|\tilde{\xi}\rangle_b+|1\rangle_b|\tilde{\varsigma}\rangle_b\right)=$$
$$=\frac{1}{4}\left(|0\rangle_a\left(|\xi\rangle_1+|\xi\rangle_2\right)+|1\rangle_a\left(|\varsigma\rangle_1+|\varsigma\rangle_2\right)\right)\otimes\left(|0\rangle_b\left(|\tilde{\xi}\rangle_1-|\tilde{\xi}\rangle_2\right)+|1\rangle_b\left(|\tilde{\varsigma}\rangle_1-|\tilde{\varsigma}\rangle_2\right)\right)$$

Для неотличимых фотонов

$$|\xi\rangle_{1,2}=\tilde{\xi}|\rangle_{1,2},|\zeta\rangle_{1,2}=\tilde{\varsigma}|\rangle_{1,2}$$

можно получить двух-фотонную квантовую интерференцию, являющуюся наиважнейшей для протокола.

$$|\psi\rangle_a\otimes|\psi\rangle_b=\frac{1}{4}\left(|00\rangle\left(|2\xi\rangle_1-|2\xi\rangle_2\right)+|11\rangle\left(|2\varsigma\rangle_1-|2\varsigma\rangle_2\right)\right)+$$
$$\left(|01\rangle+|10\rangle\right)\left(|\xi\varsigma\rangle_1-|\xi\varsigma\rangle_2\right)+\left(|01\rangle-|10\rangle\left(|\xi\rangle_1|\varsigma\rangle_2-|\varsigma\rangle_1|\xi\rangle_2\right)\right)$$

Обнаружение определенного фотонного состояния проецирует два излучателя в соответствующее спиновое состояние [1,2,3]. Если, $|\xi\rangle$ и $|\zeta\rangle$ две ортогональные поляризации фотона,

то обнаружение одного фотона в каждом выходном порту светоделителя проецирует два спина в запутанное состояние Белла

$$|\psi^{--}>=(1/2)^{1/2}(|01>--|10>).$$

На эксперименте в протоколе измерения для создания запутывания было предложено рассматривать состояния по числу фотонов $|\xi>=|1>_{1,фотон}$, $|\zeta>=|0>_{0,фотон}$.

Хотя в используемых детекторах нельзя явно различить состояния $|2\xi>_1=|2>_{1,фотон}$ и $|\xi>_1|\zeta>_2=|1>_{1,фотон}|0>_{2,фотон}$, это можно осуществить в протоколе, состоящем из двух раундов протоколов со спин флипом в сплитере. Обнаружение ровно одного фотона в каждом раунде затем проецирует два спина в запутанном состоянии.

В эксперименте [1] используются два NV-кубита, расположенные в независимых низкотемпературных установках, разделенных 3м. Базисные состояния кубита $|\uparrow>$ и $|\downarrow>$ соответственно выбираются на подуровнях NV: $m_S=0$ и $m_S=-1$. Каждый кубит может независимо считываться путем обнаружения зависящей от спина флуоресценции в фононной боковой полосе NV. Кубиты индивидуально контролируются микроволновыми импульсами, применяемыми к стрипам на кристалле. Используя динамические методы развязки, для квантовых состояний, закодированных в кубитах, можно достичь значительного времени когерентности, например, превышающее 10 мс. Оба центра NV A и NV B сначала готовятся в суперпозиции

$$(1/2)^{1/2}(|\uparrow>+|\downarrow>)_{A,B}.$$

Лазерное возбуждение в каждом центре A и B запутывает спин-электрон кубит с числом фотонов 1 или 0:

$$(1/2)^{1/2}(|\uparrow 1>+|\downarrow 0>)_{A,B}.$$

Если эмиссионные фотоны из центров A и B – неразличимы, то наблюдение=измерение одного фотона будет выделять как состояние

$$(1/2)^{1/2}(|1_A0_B>\pm\exp(-i\varphi)|1_A0_B>)$$

так и будет проектировать спин-электронный кубит на максимально запутанное состояние

$$(1/2)^{1/2}(|\uparrow_A\downarrow_B>\pm\exp(-i\varphi)|\downarrow_A\uparrow_B>)\ [1,2].$$

Обнаружение фотона в обоих раундах, таким образом, предвещает возникновение запутанного состояния. Любой реалистичный эксперимент, однако, страдает от потери фотонов и несовершенной эффективности детектора. В результате, обнаружение одного фотона может также согласоваться с созданием состояния $|\uparrow\uparrow>$. Чтобы устранить эту возможность, оба кубита переворачиваются и оптически возбуждаются во второй раз. Поскольку $|\uparrow\uparrow>$ флиппируют в $|\downarrow\downarrow>$, во втором раунде для этого состояния фотоны не излучаются. Напротив, состояния $|\psi>$ снова дают один фотон. Таким образом, обнаружение фотона в обоих раундах предвещает возникновение запутанного состояния. Второй раунд не только делает протокол устойчивым к потере фотонов, но также изменяет φ на глобальную фазу, что делает протокол нечувствительным к разности оптических путей. Кроме того, переворачивание кубитов обеспечивает механизм перефокусировки, который противодействует дефазировке спинов во время генерации перепутывания. Конечным состоянием является одно из двух состояний Белла

$$|\psi^{\pm}>=(1/2)^{1/2}(|\uparrow_A\downarrow_B>\pm|\downarrow_A\uparrow_B>)$$

со знаком в зависимости от того, сработали ли те же самые детекторы (+) или разные детекторы (-) в двух раундах. Ключевой задачей для воссоздания запутывания с твердотельными кубитами является получение большого потока неразличимых фотонов, отчасти потому, что локальная деформация в решетке носителя может вызывать большие изменения частоты фотонов.

NV-центр был использован в одной из первых демонстраций спин-фотоннного запутывания в твердом состоянии, в котором особый подуровень возбужденного состояния (например, уровни $|A_1>,|A_2>$) соединяется с двумя состояниями основного состояния спина через различные круговые поляризации света, в результате поляризация испускаемого фотона запутывается со спиновым состоянием [4]. Аналогично, фотон, поглощаемый NV-центром посредством возбуждения к этому состоянию, может также запутаться со спиновым состоянием.

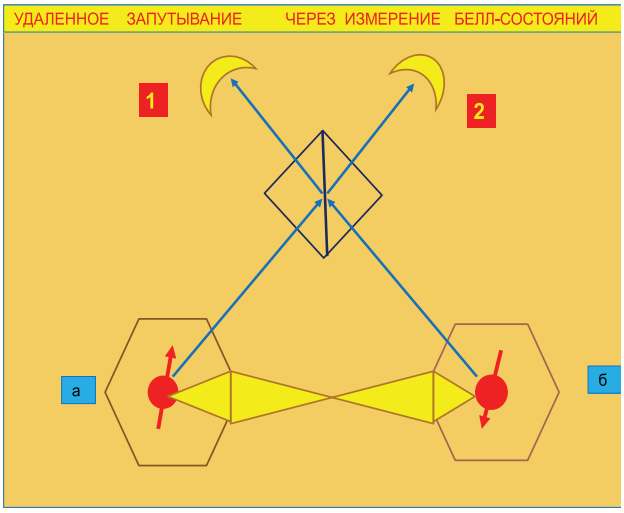


Рис. 3. Измерение на основе создания удаленного запутывания. Каждый спин готовится в состоянии, которое запутано с испущенным фотоном. Два фотона перекрываются на светоделителе. Обнаружение определенных фотонных состояний проецирует спины в запутанное состояние

Запутанное состояние между одним фотоном и электронным спином NV-центра:

$$|\psi\rangle=(1/2)^{1/2}(|\sigma_-\rangle(|+1\rangle+(|\sigma_+\rangle|-1\rangle)$$

где $|\sigma_-\rangle$ и $|\sigma_+\rangle$ – циркулярно-поляризованные ортогональные фотонные состояния. NV-центр подготавливается в определенном возбужденном состоянии ($|A_2\rangle$ на *рисунке 4*) , которое распадается с равной вероятностью на два разных долгоживущих спиновых состояния $|\pm1\rangle$ с излучением ортогонально поляризованных оптических фотонов при 637 нм.

Переходы между основным и возбужденным состояниями происходят под излучением или поглощением линейно поляризованной (x, y) или циркулярно поляризованного (σ_+ , σ_-) фотона.

Запутанное состояние, создается, так как поляризация фотона однозначно связана с конечным состоянием спина.

Эта запутанность подтверждается измерением спинового состояния с использованием циклического оптического перехода после обнаружения фотона с длиной волны 637 нм выбранной поляризации.

Оптические переходы между основными и возбужденными состояниями сохраняют спин, но могут изменять электронный орбитальный угловой момент в зависимости от поляризации фотона[4]. Возбужденные состояния, обозначенные $|E_x\rangle$ и $|E_y\rangle$, в соответствии с их орбитальной симметрией, соответствуют проекции спина $m_S=0$. Взаимодействуя с основным состоянием $|0\rangle$, они обеспечивают хорошие циклические переходы, и подходят для считывания популяции состояний $|0\rangle$ через детектирование флуоресценции. Другие четыре возбужденных состояния являются запутанными состояниями спина и орбитального момента импульса. В частности, состояние $|A_2\rangle$ имеет вид

$$|A_2\rangle=(1/2)^{1/2}(|E_-\rangle|+1\rangle+|E_+\rangle|-1\rangle)$$

где $|E_\pm\rangle$ – орбитальные состояния с проекцией углового момента ±1 вдоль оси NV.

В то же время основные состояния ($|0\rangle$, $|\pm1\rangle$) связаны с орбитальным состоянием $|E_0\rangle$ с нулевой проекцией углового момента (для простоты пространственная часть волновой функции не выписана явно). Следовательно, вследствие полного сохранения момента импульса, состояние $|A_2\rangle$ распадается с равной вероятностью в основное состояние $|-1\rangle$ через σ_+ -поляризованное излучение и $|+1\rangle$ через σ_- – поляризованное излучение.

Неизбежное присутствие небольшого поля напряжений, характеризующегося деформационным расщепление (Δ_S) $|E_{x,y}\rangle$, уменьшает симметрию NV-центра и сдвигает энергии уровней возбужденного состояния в соответствии с их орбитальными волновыми функциями. Для умеренной и высокой деформации возбужденные состояния разделены на две ветви и происходит смешивание между уровнями. В верхней ветви, энергетическая щель защищает $|A_2\rangle$ от малых деформаций и магнитных полей, сохраняя поляризационные свойства его оптического перехода. Чтобы убедиться, что $|E_y\rangle$ является хорошим циклическим переходом, а $|A_2\rangle$ действует как переход генерации запутанности, как требуется для текущего исследования, необходимо выбирать NV-центр с относительно небольшим расщеплением деформации ($\Delta_S\approx2\times1.28$ГГц).

Для создания запутанного состояния, используется когерентное излучение в пределах узкополосной нулевой фононной линии (НФЛ), которая включает только 4% от общего объема излучения NV-центра. Оставшееся оптическое излучение происходит в сдвинутом по частоте фононе боковой полосы (ФБП), которое сопровождается излучением фононов, что приводит к ухудшению спин-фотонной запутанности.

Изолирующее слабое излучение НФЛ представляет значительную экспериментальную проблему из-за сильных отражений резонансного импульса возбуждения, достигающего детектор.

	A_1	A_2	E_1	E_2	E_x	E_y
${}^3A_2(m_s=-1)$	σ_+	σ_+	σ_-	σ_-		
${}^3A_2(m_s=0)$					y	x
${}^3A_2(m_s=+1)$	σ_-	σ_-	σ_+	σ_+		

Рис. 4. Правила оптического отбора

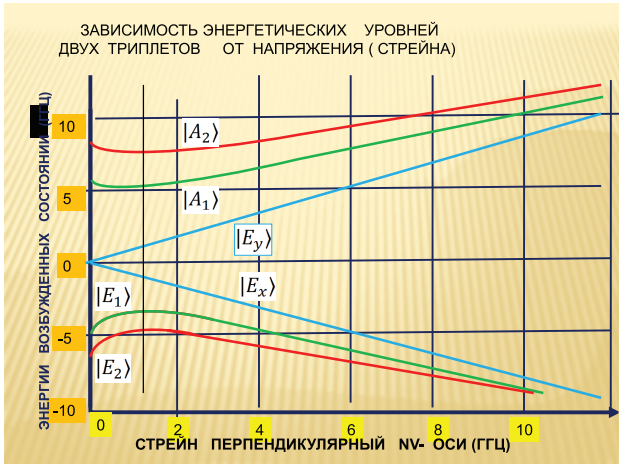


Рис. 5. Представлен энергетический спектр 6-уровней (два триплета S=1) возбужденного состояния в зависимости от напряжения-стрейна

Возбуждая центр NV с круговой поляризацией 2-нс-импульс, который короче шкалы времени излучения, можно использовать время обнаружения для отделения отражения от фотонов флуоресценции. Сочетание конфокального отклонения, модуляторов и конечной пропускной способности оптики подавляет отражения достаточно, чтобы четко обнаружить излучение НФЛ NV-центра за время ≈ 20нсек.

Для определения состояния фотонов, НФЛ фотоны в базисе $|\sigma_{\pm}>$ или

$$|H>=(1/2)^{1/2}(|\sigma^{+}>+|\sigma_{-}>),$$
$$|V>=(1/2)^{1/2}(|\sigma_{+}>-|\sigma_{-}>)$$

выбираются на стадии поляризационного анализа и обнаружения после подобранного оптического пути.

Возбужденные уровни могут быть сдвинуты, применяя напряжение, а также применяя электрические поля в центр NV (*рисунок 5*). Электрические поля вдоль оси N-V не влияют на расстояние между уровнями, но влияют на весь спектр. Электрические поля перпендикулярно этой оси нарушают C_{3v} симметрию и изменяют раздвижки между уровнями (*рисунок 5*). Это также влияет на компоненты спиновых уровней, которые все больше смешиваются с более высоким напряжением.

При температуре жидкого гелия оптические переходы центра NV сужаются близко к их ограниченным по времени значениям в несколько МГц.

Оптически разрешенные переходы и структуру возбужденного уровня можно определять с помощью резонансного оптического возбуждения в нулевой фононной линии комбинируя с управлением спином в основном состоянии с помощью микроволн. В эксперименте при низкой температуре длина волны возбуждающего лазера «подметается» при мониторинге флуоресценции излучения фононной боковой полосы, разделенной спектрально от резонансного излучения и лазерного отражения дихроичным фильтром. Кроме того, необходимо постоянно управлять

$$m_S = 0 \leftrightarrow m_S = \pm 1$$

спиновыми переходами в основном состоянии, чтобы заселять все спиновые состояния и, тем самым, позволят обнаружение переходов, связанных с любым спиновым состоянием [1,2].

Характеристика состояний возбужденного состояния NV-центров

Нулевая фононная линия центра NV составляет 637 нм. Сканирование лазера по этой длине волны при сборе флуоресценции фононной боковой полосы, показывает различные оптические переходы в структуре спинового состояния NV-центра.

Этот спектр зависит от деформации и отличается для разных центров NV. Каждый пик в спектре помечен переходом, который он представляет. Для доступа к переходам, которые соединяются с $m_S=\pm1$, а также значениям, которые соединяются с $m_S=0$, применяется непрерывное MW-возбуждение, резонансное переходу между этими основными состояниями. Представляющие интерес оптические переходы $m_S=0\rightarrow$Ey и $m_S=\pm1\rightarrow A_2$ NV-центра в проводимых экспериментах находятся под непрерывным микроволновым излучением [1,2,3] (*рисунок 6*).

Безусловная квантовая телепортация

Реализация надежной передачи квантовой информации между долгоживущими регистрами кубитов является ключевой задачей для квантовой информатики и техники. Демонстрация безусловной телепортации произвольных квантовых состояний между спиновыми кубитами алмаза, разделенными на 3 метра, была осуществлена через опосредованное фотонами геральдового запутывания между двумя удаленными электронными спинами и кодировке исходного кубита в одном ядерном спине азота [2].

Осуществляя полностью детерминистическое измерение состояния Белла в сочетании с прямой связью в реальном времени, телепортация была достигнута. При каждой попытке, получалась средняя величина, превышающая классический предел.

В протоколе телепортации (*рисунок 7*) Алиса изначально имеет для телепортации кубит 1, который чаще всего задается как

$$\left|\psi\right\rangle_1 = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

У Алисы и Боба есть по одному кубиту, запутанная пара (кубиты 2 и 3) в объединенном состоянии

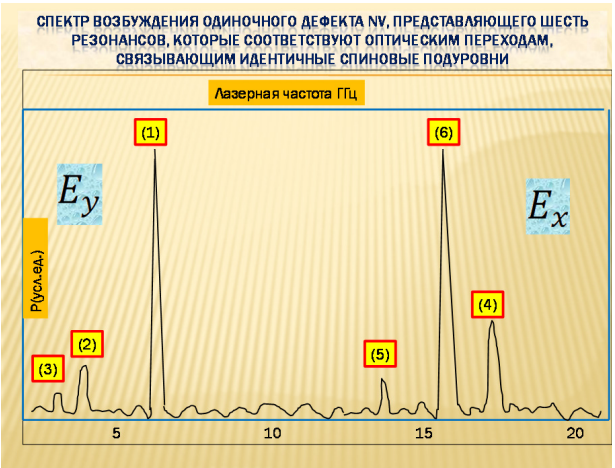


Рис. 6. Спектр возбужденного состояния для NV-центра

$$\left|\psi^{-}\right\rangle_{23}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|01\right\rangle_{23}-\left|10\right\rangle_{23}\right)$$

Комбинированное состояние всех трех кубитов может быть переписано как

$$\left|\psi\right\rangle_{1}\left|\psi^{-}\right\rangle_{23}=\frac{1}{2}\left(\left|\phi^{+}\right\rangle_{12}\left(\alpha\left|1\right\rangle_{3}-\beta\left|0\right\rangle_{3}\right)+\left|\phi^{-}\right\rangle_{12}\left(\alpha\left|1\right\rangle_{3}+\beta\left|0\right\rangle_{3}\right)\right)+$$
$$+\frac{1}{2}\left(\left|\psi^{+}\right\rangle_{12}\left(-\alpha\left|0\right\rangle_{3}+\beta\left|1\right\rangle_{3}\right)-\left|\psi^{-}\right\rangle_{12}\left(\alpha\left|0\right\rangle_{3}+\beta\left|1\right\rangle_{3}\right)\right)$$

где $\left|\phi^{\pm}\right\rangle_{12}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|00\right\rangle_{12}\pm\left|11\right\rangle_{12}\right),\left|\psi^{\pm}\right\rangle_{12}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|01\right\rangle_{12}\pm\left|10\right\rangle_{12}\right)$ – четыре состояния Белла. Для телепортиртации квантового состояния Алиса проводит совместное измерение своих кубитов (кубиты 1 и 2) в базисе Белла, проецируя кубит Боба в состояние, равное $|\psi>$ с точностью до унитарной операции, которая зависит от результатов измерения Алисы. Алиса отправляет результаты по классическому каналу связи Бобу, который затем может восстановить исходное состояние, применяя соответствующее локальное преобразование. Поскольку состояние исходного кубита на стороне Алисы навсегда исчезает, то, если протокол не работает, оно безвозвратно теряется всякий раз. Поэтому, чтобы гарантировать, что каждое состояние кубита, используемое для телепортации, безоговорочно появляется на стороне Боба, Алиса должна уметь различать все четыре состояния Белла в одном кадре измерения, и Боб должен сохранить последовательность передаваемого кубита во время получения результата и окончательного условного унитарного его преобразования.

Демонстрация безусловной телепортации между алмазными спиновыми кубитами, находящимися в независимых установках, разделенных на 3 метра, была проведена в [2]. Этот результат был достигнут путем генерации полного разделенного дистанционного запутывания, благодаря измерениям Белл-состояний с двумя кубитами, и прямой связи между Алисой и Бобом.

В частности, фотонный канал используется для генерации скрытого геральдового запутывания между спин-электронными состояниями двух азотно-вакансионных NV-центров, тогда как протокол телепортации исключительно эксплуатирует кубиты материи, которые, в отличие от фотонных кубитов – позволяют проводить детерминированные измерения состояний Белла с использованием современных технологий. Состояние источника закодировано в ядерном спине, ближайшем к электронным спинам одного из NV-центров. Этот протокол гарантирует, что исходное состояние успешно телепортируется в каждом из экспериментальных прогонов [2,3].

Безусловная телепортация произвольных квантовых состояний между алмазными спиновыми кубитами, разделенных на 3 метра [2] (*рисунок* 7). Телепортер приготавливается через фотон-опосредованное запутывание между двумя удаленными спинами электронов и последующее кодирование источника кубита в виде одного ядерного спина. Осуществляя полностью детерминированное измерение состояния Белла в сочетании с прямой связью в реальном времени, квантовая телепортация достигается на каждой попытке со средней верностью-точностью фиделите состояний, превышающей классический предел. Алиса и Боб используют независимую установку низкотемпературного конфокального микроскопа, которая адресована одному NV-центру. Два электронных спина NV (помеченные как кубиты 2 и 3) используются в качестве распределенной запутанной пары, которая является средой для телепортации. Эти спины могут быть инициализированы и считаны в одном кадре спин-разрешающим оптическим воз-

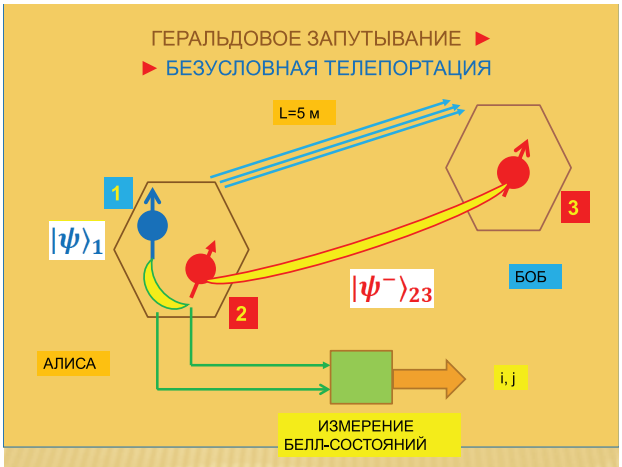


Рис. 7. Схема телепортации. Измерение состояния Белла. Результат связи. Операция прямой связи

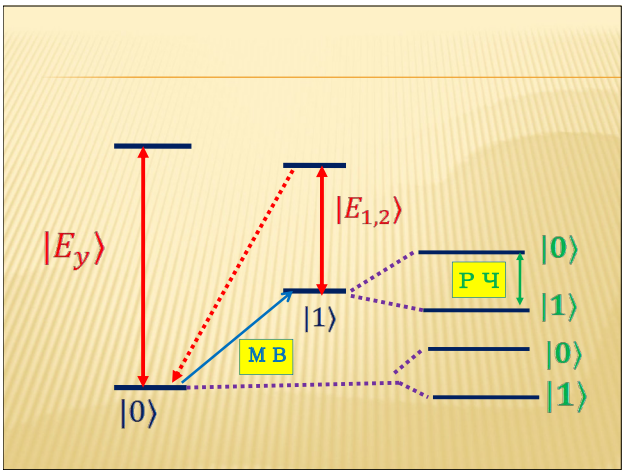


Рис. 8. Схема уровня энергии и методы управления кубитом

буждением и когерентно проманипулированы с помощью микроволновых (МВ) импульсов.

В эксперименте Алиса и Боб управляет своим одним NV-центром в монокристаллическом CVD-выращенном алмазе, используя независимый криогенный конфокальный микроскоп (T=8K для Алисы и T=4K для Боба) *(рисунок 7)*.

Состояние источника закодировано в спине азота-14N у Алисы (зеленый) с базовыми состояниями $|0>=m_I=0$, $|1>=m_I=-1$. Два удаленных NV электронных спина (фиолетового цвета) с базовыми состояниями, закодированными как $|0>=m_S=0$, $|1>=m_S=-1$, образуют удаленную запутанную пару, совместно используемую Алисой и Бобом. Спин электрона инициализируется оптической спиновой накачкой на $E_{1,2}$ NV-центров, 2-перехода (ярко-красные стрелки), и считывается с помощью спин-селективного оптического возбуждения через переход E_y (темно-красная стрелка) *(рисунок 8)*. Микроволновые (МВ) импульсы позволяют манипулировать спином электронов, а радиочастотные (РЧ) импульсы используются для манипулирования спином ядра, когда электрон находится в состоянии $|1\rangle$. Сканирующее электронное микроскопическое изображение алмазного устройства с твердотельной иммерсионной линзой для повышения эффективности сбора, полосковая линия для спиновых манипуляций с помощью магнитного резонанса и электроды для приведения оптических переходов Алисы и Боба в резонансе с использованием D.C. Старк-эффект.

В заключение отметим, что геральдово запутывание использует надежный протокол, основанный на создании зацепления спин-фотонов в каждом раунде и последующем совместном измерении фотонов. Обнаружение фотонов предвещает проекцию спиновых кубитов на запутанное состояние. Достигнутый прогресс на пути создания дальней связи, объединенной с операциями инициализации, считывания и запутывания на локальных долгоживущих ядерных спиновых регистрах, прокладывает путь для детерминированной дальней телепортации, квантовых повторителей и расширенных квантовых сетей [1-5]. Квантовая сеть может быть построена путем использования сцепления для соединения локальных вычислительных узлов, каждая из которых содержит регистр хорошо управляемых и долгоживущих кубитов. Твердые тела являются привлекательной платформой для таких регистров, так как использование нанообработки и дизайна материалов может обеспечить хорошо контролируемые и масштабируемые квантовые системы. Анализируя уже достигнутые результаты и дальнейшие исследования использования NV-центров для создания дальней квантовой сети надо выделить два направления, связанные с двумя различными температурными режимами (криогенные и комнатные температуры), в которых квантовые механизмы в соответствии с наблюдаемыми спектрами спиновых уровней *(рисунок 9)* запутывания пары спиновых кубитов различны, (сравни [1-5] и [6]), соответственно, уже известные и новые протоколы квантовой телепортации будут также значительно отличаться друг от друга [7,8].

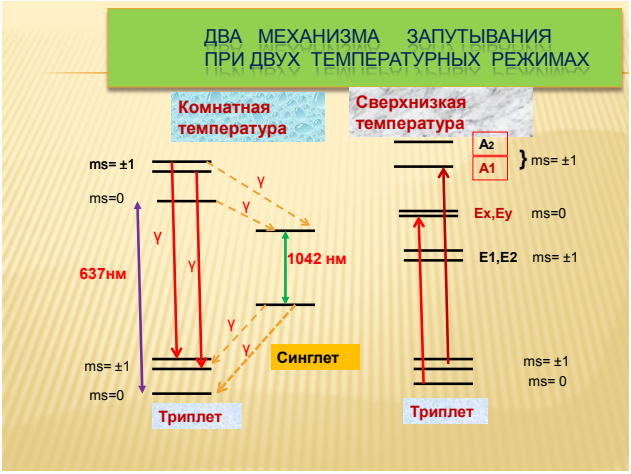
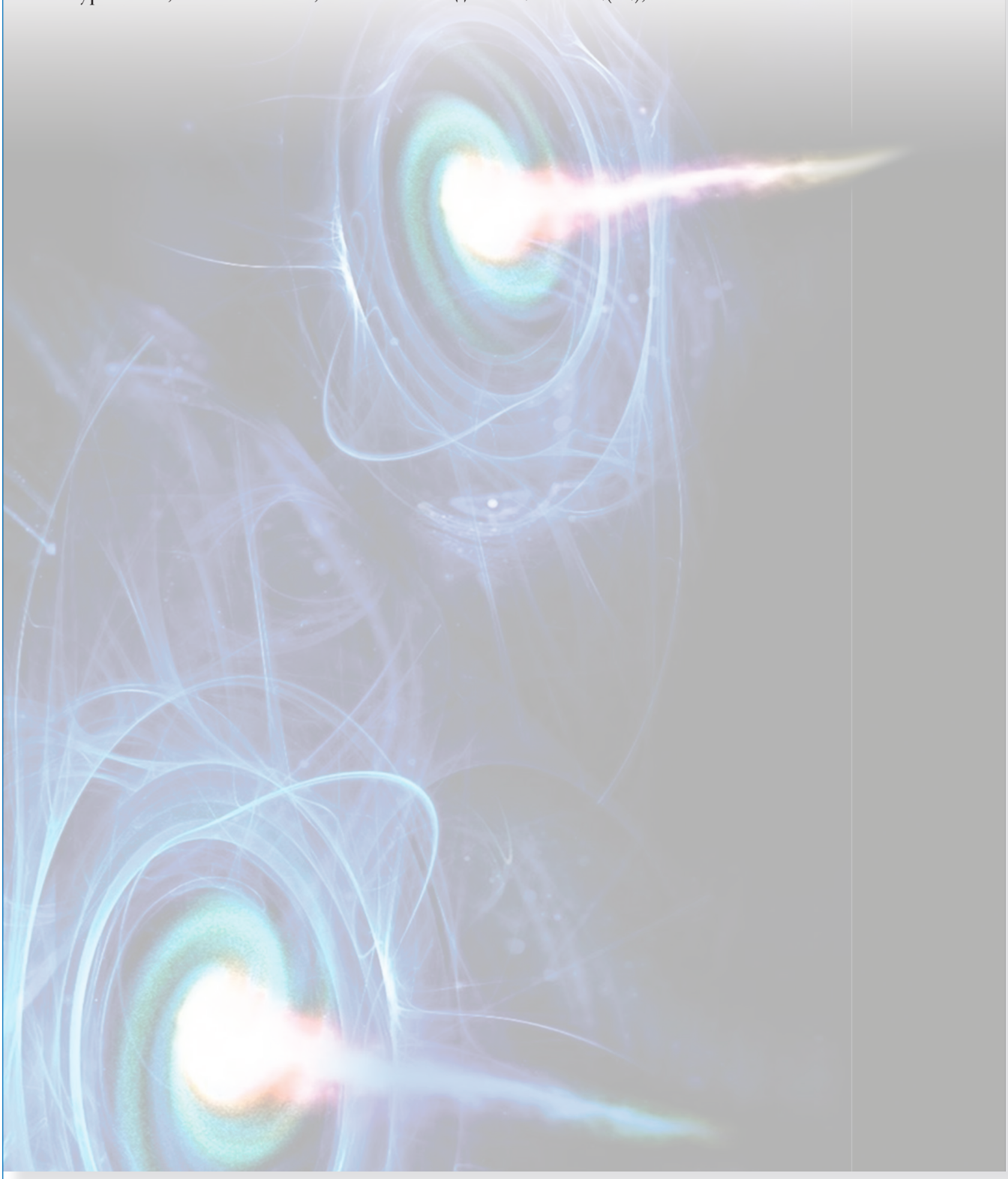


Рис. 9. Наблюдаемые спиновые уровни возбужденного состояния и оптические переходы при комнатной и криогенной температурах

Литература

1. Bernien H., Hensen B., Pfaff1 W., Koolstra G., Blok M.S., Robledo L., Taminiau T.H., Markham M., Twitchen D.J., Childress L., Hanson R. Heralded entanglement between solid-state qubits separated by three metres // Nature, 2013. Vol. 497. Pp.86-90.
2. Pfaff W., Hensen B., Bernien H., Dam S.B. van, Blok M.S., Taminiau T.H., Tiggelman M.J., Schouten R.N., Markham M., Twitchen D.J., Hanson R. Unconditional quantum teleportation between distant solid-state quantum bits // Science, 2014. Vol. 345. Issue 6196. Pp.532-535.
3. Hensen B. et al. Experimental loophole-free violation of a Bell inequality using entangled electron spins separated by 1.3 km // Quantum Physics, 2015.
4. Togan E., Chu Y., Trifonov A.S., Jiang L., Maze J., Childress L., Dutt M.V.G., Sorensen A.S., Hemmer P.R., Zibrov A.S., Lukin M.D. Quantum entanglement between an optical photonand a solid-state spin qubit // Nature, 2010. Vol. 466. Pp.730-734.
5. Tchebotareva A., Hermans S.L.N., Humphreys P.C., Voigt D., Harmsma P.J., Cheng Lun K., Verlaan Ad.L., Dijkhuizen N., Jong Wim de, Dreau A., Hanson R. Entanglement between a diamond

spin qubit and a photonic time-bin qubit at telecom wavelength // Quantum Physics, 2019.
6. Dolde F., Jakobi I., Naydenov B., Zhao N., Pezzagna S., Trautmann C., Meijer J., Neumann P., Jelezko F., Wrachtrup J. Room-temperature entanglement between single defect spins in diamond // Nature Phys, 2013. Vol.9. Pp.139-143.
7. Смуров С.В., Масликов А.А., Волков Г.Г. Идеи и методы генерации запутывания твердотельных спин-кубитов // Известия Института инженгерной физики, 2019. №1(51), С.58-67.
8. Волков Г.Г., Масликов А.А., Смуров С.В., Царьков А.Н. О многокубитных схемах запутывания и телепортации на основе NV-центров в алмазе // Известия Института инженерной физики, 2019. №2(52), С.103-105.



УДК 519.24

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ КРИТЕРИЕВ СТИМУЛИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ, НАУЧНОЙ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СУБЪЕКТАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

INFORMATION AND ANALYTICAL INSTRUMENTS OF EXPERT EVALUATION OF CRITERIA FOR STIMULATING INNOVATIVE DEVELOPMENT IN THE SPHERE OF EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND SCIENTIFIC-TECHNICAL ACTIVITY IN THE SUBJECTS OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

Юрий Николаевич Артамонов
кандидат технических наук, доцент
ведущий научный сотрудник
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 115093, Москва,
ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7 (499) 706-81-25
E-mail: junaart@mail.ru

Сергей Вячеславович Беспалов
кандидат физико-
математических наук, доцент
старший научный сотрудник
ФГБНУ «Госметодцентр»
115093, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7 (499) 706-81-25

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

Аннотация
В статье предложен информационно-аналитический инструментарий выделения региональных приоритетов на основе оценки значимости проектов, направленных на стимулирование инновационного развития в сфере образовательной, научной и научно-технической деятельности в субъектах Российской Федерации
Ключевые слова: информационная система, информационно-аналитическое обеспечение, база данных, критерии стимулирования, инновационное развитие.

Summary
The article proposes an information and analytical instruments for identifying regional priorities based on projects value assessment aimed at stimulating innovative development in the sphere of educational, scientific and scientific-technical activities in the subjects of the Russian Federation
Keywords: information system, information and analytical support, database, incentive criteria, innovative development.

Возрастающая актуальность задачи ускорения инновационного развития в сфере образовательной, научной и научно-технической деятельности в регионах Российской Федерации определяет рост требований к научно-методическому и экспертно-аналитическому обеспечению конкурентных механизмов процедур формирования мероприятий, направленных на стимулирование инновационного развития в этой сфере. При этом, исследование основных направлений и принципов обеспечения конкурентных механизмов стимулирования иннова-

ционного развития, разработка системы показателей и критериев оценки значимости проектов, предлагаемых к реализации в целях развития и создания инноваций, а также оценка эффективности механизмов стимулирования выдвигает на повестку дня разработку соответствующего информационно-аналитического инструментария экспертной оценки критериев стимулирования инновационного развития в субъектах Российской Федерации.

В целях информационного обеспечения экспертно-аналитической оценки конкурентных механизмов стимулирования инновационного развития в сфере образовательной, научной и научно-технической деятельности в субъектах Российской Федерации в ФГБНУ «Госметодцентр» была разработана, наполнена актуализированной информацией и введена в эксплуатацию информационная система «Инновационная инфраструктура субъектов Российской Федерации» [1] (ИАС), обеспечивающая удаленное взаимодействие пользователей системы и централизованное выполнение запросов пользователей по технологии «клиент–сервер».

В качестве среды хранения и доступа к данным в разработанной информационной системе используется СУДБ с открытым исходным кодом PostgreSQL, обеспечивающая высокий уровень надежности хранения и эффективности доступа к данным. База данных информационной системы включает 65 таблиц, более 50 из которых содержат информацию по состоянию и уровню развития научного и инновационного потенциала регионов Российской Федерация, а также деятельности организаций, осуществляющих подготовку специалистов по программам высшего образования и кадров высшей научной квалификации.

Также в информационный репозиторий системы включены данные по выполнению в регионах России целевых индикаторов реализации Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года (утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2011г. №2227-р) [2], сведения о научно-производственных комплексах наукоградов и государственных научных центрах Российской Федерации.

Вся представленная в базе данных информация структурирована по регионам (федеральным округам) Российской Федерации и годам, и охватывает промежуток времени с 2010 года по 2017 год.

Для примера на *рисунке 1* представлена одна из пользовательских форм ИАС по разделу «Финансирование науки и инноваций».

Структура информационной системы «Инновационная инфраструктура субъектов Российской Федерации» формально отражена в ее пользовательском меню, которое представлено на *рисунке 1* справа. С его помощью можно перейти в любой раздел информационной системы:

- Общие сведения;
- Наука и инновации;
- Высшее образование;
- Наукограды;
- ГНЦ (Государственные научные центры);
- Финансирование науки и инноваций;
- Целевые индикаторы реализации Стратегии инновационного развития Российской Федерации.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Работа в системе!
Здравствуйте, уважаемый пользователь.
Вы зарегистрированы в системе как
Пользователь
п п

Информационная система
"Инновационная инфраструктура субъектов Российской Федерации"

Финансирование науки и инноваций в регионах Российской Федерации

Федеральный округ: Центральный
Регион: Москва
Раздел информации: Внутренние текущие затраты
Показатели: - выбор показателя -
Показать

Меню
↑ В начало
Общие сведения
Наука и инновации
Высшее образование
Наукограды
ГНЦ
Финансирование науки и инноваций
Целевые индикаторы реализации Стратегии инновационного развития Российской Федерации
Рейтинги
Диаграммы
Изменить пароль
Выход

Внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки по видам работ
(Москва)

№ п/п	Наименование показателя	< 2005 >	< 2010 >	< 2011 >	< 2012 >	< 2013 >	< 2014 >	< 2015 >	< 2016 >	< 2017 >
3	Внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки (всего, млн. руб.), в том числе по видам работ:	82576.3	179281.1	206406.8	232286.1	250811.0	283104.9	301817.9	304398.9	334991.3
31	- фундаментальные исследования;	12374.9	39131.4	41328.7	40163.1	42093.9	48102.5	48509.8	51588.5	55572.0
32	- прикладные исследования;	13895.4	42983.7	52285.8	58071.1	59441.0	71679.4	76245.9	78880.1	69091.1
33	- разработки.	56306.0	97166.0	112792.3	134051.8	149276.1	163323.1	177062.3	173930.3	210328.2

Рис. 1. Внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки по видам работ

При выборе любого раздела из меню информационной системы для пользователя ИАС загружается экранная форма, с помощью полей которой он может выбрать параметры запроса к базе данных системы для вывода интересующей его информации. Первые два поля идентичны для всех разделов ИАС и позволяют выбрать федеральный округ Российской Федерации и входящий в него регион (республику, край, область и т.д.).

Остальные поля экранной формы позволяют выбрать определенные характеристики (показатели) вызываемой информации и являются специфическими для каждого раздела ИАС. Их общее количество превышает 50 единиц, условно сгруппированных в 15 информационных разделах.

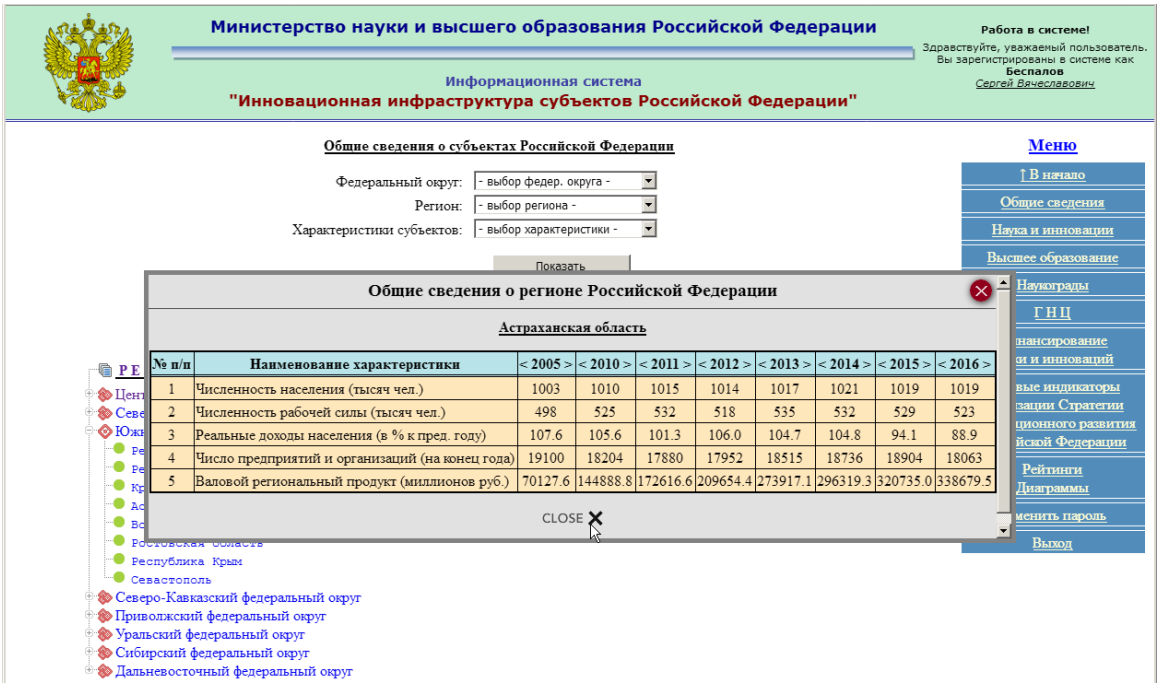


Рис. 2. Общие сведения о регионе РФ

Рис. 3. Целевые индикаторы реализации Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года

Нажатие на кнопку «Показать» без выбора каких-либо параметров в полях формы раскроет древовидную структуру регионов Российской Федерации. Клик мышкой по выбранному региону приведет к открытию дополнительного окна, в котором будет представлена сводная информация по всем основным характеристикам региона в разрезе соответствующего раздела ИАС (*рисунок 2*).

На *рисунке 3* представлена экранная форма раздела ИАС «Целевые индикаторы реализации Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года». В отличие от других разделов информационной системы в данном разделе вместе с полями для формирования запросов одновременно загружается html-документ с Целевыми индикаторами реализации Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года [2].

Таких индикаторов в Стратегии всего 45 (не считая их внутреннюю детализацию по ряду направлений), и в целом они охватывают гораздо больший круг вопросов инновационного развития регионов Российской Федерации, которые выходят за сферу рассматриваемой нами образовательной и научной деятельности. Поэтому в выпадающем списке поля «Показатели» их выбор ограничен только соответствующим рассматриваемой тематике набором показателей.

Для экспертной оценки могут быть выведены сведения по различным целевым индикаторам как для отдельного региона или федерального округа Российской Федерации, так и для всех ее регионов одновременно. Также можно сформировать отчет по сводному перечню индикаторов, как для отдельного федерального округа, так и региона России.

Таким образом, разработанная в ФГБНУ «Госметодцентр» ИАС, предоставляет собой удобный инструментарий для экспертно-аналитической оценки конкурентных механизмов стимулирования инновационного развития в сфере образовательной, научной и научно-технической деятельности в субъектах Российской Федерации.

Информационно-аналитический инструментарий исследования также имеет в своем составе экспертно-аналитическое обеспечение – комплекс исследований, включающих в себя экспертизу и оценку результатов инновационной деятельности на всех этапах её развития. Экспертно-аналитическое обеспечение направлено на выявление, экспертный отбор и распространение наиболее перспективных российских инноваций и разработок в сфере образовательной, научной и научно-технической деятельности в субъектах Российской Федерации.

Являясь федеративным государством, Россия состоит из 85 равноправных субъектов РФ, которые, с одной стороны, являются автономными образованиями, с другой стороны, в процессе создания и развития инноваций вступают во взаимодействие как друг с другом, так и с федеральными государственными органами. Рассматривая системные механизмы создания инноваций, целесообразно выделять и учитывать сложившиеся региональные приоритеты, а также кооперативные связи разных субъектов РФ. При этом системный подход к выделению региональных приоритетов задает ряд требований к возможной системе показателей, характеризующих значимость инновационных проектов:

- показатели должны синтезироваться с позиции достижения стратегических целей инновационного развития, стоящих перед Российской Федерацией, при синтезе системы показателей целесообразно использовать устоявшиеся статистические отчетные формы, собираемые Росстатом;
- нецелесообразно среди регионов выделять лидеров и аутсайдеров инновационного развития, следует уделять должное внимание финансовой поддержке на федеральном и региональном уровне каждому субъекту РФ, учитывая его особенности и текущее, потенциальное направления инновационного развития;
- для выделения региональных приоритетов (региональных проектов и инициатив) целесообразно проводить кластеризацию и группировку регионов по разным признакам, определяя для каждой такой группировки ключевые показатели качества развития и оценивая их вклад в стратегические приоритеты инновационного развития РФ.

Состав стратегических целей инновационного развития РФ определен в Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 года (Стратегия). Однако, анализируя результаты реализации Стратегии, например, за 2017 год, приходится констатировать крайне низкий уровень исполнения ее основных показателей: из 11 основных показателей исполнены или имеют положительный тренд только 3 показателя, не выполнены или находятся в зоне риска невыполнения 5 показателей, не учитываются по причине отсутствия методики расчета 3 показателя [3]. Все это требует всестороннего анализа с выявлением зон ответственности и формированием возможных стратегических приоритетов.

По результатам анализа 11 основных показателей Стратегии, данные по которым со-

Регион	ii1	ii2	ii3	ii4	ii5	ii6	ii7
Алтайский край	69	25	44	47	53	59	55
Амурская область	21	16	27	20	57	45	19
Архангельская	18	63	33	41	46	30	40
Астраханская область	67	44	41	24	67	37	30
Белгородская область	72	70	62	46	84	54	47
Брянская область	38	52	54	26	59	40	23
Владимирская область	68	61	57	58	17	62	58
Волгоградская область	22	19	52	60	41	69	57
Вологодская область	20	48	71	17	69	36	20
Воронежская область	66	74	64	65	52	77	75
Еврейская автономная область	23	16	8	1	78	9	1
Забайкальский край	17	16	35	18	64	14	13
Ивановская область	9	54	20	27	81	67	31
Иркутская область	27	67	46	61	55	63	59
Кабардино-Балкарская Республика	7	37	18	25	72	32	34
Калининградская область	8	31	19	36	60	27	38
Калужская область	64	78	47	72	4	44	69
Камчатский край	70	23	15	37	9	12	35
Карачаево-Черкесская Республика	3	16	7	23	29	10	14
Кемеровская область	14	45	60	44	62	61	44
Кировская область	61	16	43	40	27	46	37
Костромская область	40	16	25	9	85	19	5
Краснодарский край	37	66	51	64	14	75	72
Красноярский край	48	71	73	79	23	70	71
Курганская область	12	16	26	14	51	33	24
Курская область	43	16	53	56	34	64	46
Ленинградская область	56	62	56	68	3	31	66
Липецкая область	83	32	75	16	68	29	17
Магаданская область	77	22	22	30	7	8	16
Москва	82	85	85	85	38	85	85
Московская область	50	82	83	84	6	83	83
Мурманская область	52	16	30	52	10	18	43
Ненецкий автономный округ	16	35	1	3	3	2	3
Нижегородская область	78	80	80	82	8	73	82
Новгородская область	42	75	29	43	42	26	39
Новосибирская область	54	73	70	80	25	76	81
Омская область	39	51	59	63	35	68	56
Оренбургская область	62	24	45	28	73	38	32
Орловская область	49	18	21	21	77	41	15
Пензенская область	80	55	42	57	13	49	65
Пермский край	65	72	78	75	37	71	74
Приморский край	29	41	23	66	50	60	63
Псковская область	47	34	17	15	71	22	26
Республика Адыгея	33	17	28	11	66	6	8
Республика Алтай	55	15	3	7	82	5	6
Республика Башкортостан	53	47	79	69	32	78	68
Республика Бурятия	26	36	31	32	45	21	36
Республика Дагестан	36	58	13	31	70	56	48
Республика Ингушетия	35	16	2	4	49	3	11
Республика Калмыкия	2	33	4	5	12	13	9
Республика Карелия	31	53	14	33	63	24	27
Республика Коми	25	26	50	51	18	15	50
Республика Крым	28	16	16	34	31	35	41
Республика Марий Эл	34	28	40	10	83	43	7
Республика Мордовия	79	46	69	29	76	28	29
Республика Саха (Якутия)	41	27	37	53	43	34	52
Республика Северная Осетия - Алания	13	21	6	19	65	42	18
Республика Татарстан	84	79	84	74	61	82	78
Республика Тыва	5	16	5	13	20	4	10
Республика Хакасия	11	16	11	6	79	11	12
Ростовская область	57	69	76	76	47	79	77
Рязанская область	74	43	38	50	56	48	51
Самарская область	15	77	82	77	40	80	76
Санкт-Петербург	81	84	81	83	33	84	84
Саратовская область	24	64	48	55	48	65	62
Сахалинская область	6	50	58	39	24	7	25
Свердловская область	60	81	77	81	21	81	80
Севастополь	4	16	9	22	22	23	33
Смоленская область	32	49	34	38	36	20	21
Ставропольский край	30	30	66	45	75	52	54
Тамбовская область	58	16	32	49	44	39	28
Тверская область	44	38	39	62	19	47	61
Томская область	76	59	49	73	74	72	73
Тульская область	73	42	74	59	16	55	67
Тюменская область	75	56	67	71	30	57	70
Удмуртская Республика	59	68	68	35	58	50	45
Ульяновская область	10	60	63	70	11	66	60
Хабаровский край	63	57	65	48	54	53	49
Ханты-Мансийский автономный округ-Югра	19	20	36	54	39	25	53
Челябинская область	45	83	72	78	15	74	79
Чеченская Республика	1	40	10	12	80	16	22
Чувашская Республика	85	39	55	42	28	51	42
Чукотский автономный округ	71	29	12	2	5	1	2
Ямало-Ненецкий автономный округ	46	65	24	8	3	17	4
Ярославская область	51	76	61	67	26	58	64

Рис. 4. Региональные приоритеты по результативности в базисе системы инновационных показателей

бираются на федеральном уровне Росстатом и являются открытыми, был проведен расчет их взаимных корреляций. Для этих целей использовался массив исходных данных, содержащихся в разработанной ИАС [1] за 2014-2016 гг. В целях рассмотрения возможности сокращения количества показателей была проведена оценка их информационной значимости в соответствии с методикой, изложенной в [4,5].

В конечном итоге система показателей оценки значимости региональных инновационных проектов определяется по их влиянию на следующую группу показателей:

- *Показатель* «Удельный вес организаций, осуществлявших технологические, организационные, маркетинговые инновации, в общем числе обследованных организаций», ii_1;
- *Показатель* «Разработанные передовые производственные технологии», ii_2;
- *Показатель* «Объем инновационных товаров, работ, услуг», ii_3;
- *Показатель* «Внутренние затраты на исследования и разработки», ii_4;
- *Показатель* «Доля сектора высшего образования во внутренних затратах на исследования и разработки», ii_5;
- *Показатель* «Количество выданных патентов на изобретение и полезную модель», ii_6;
- *Показатель* «Численность исследователей в регионе», ii_7.

Сама система показателей не дает возможности отбора проектов, оценки их инновационной значимости. Для этих целей требуется разработка критериев, позволяющих проводить сравнительный анализ, отбор проектов в условиях ресурсных ограничений. При этом каждый проект должен оцениваться по вкладу в сформированную систему показателей с учетом региональных приоритетов.

Проведем оценку региональных приоритетов на основе подхода, изложенного в [6]. Это позволит выделить кластеры результативности, вплоть до монотонного ранжирования регионов по результативности по вкладу в выбранную систему показателей. Суть подхода состоит в разложении исходной оценочной матрицы показателей по базису главных компонент и итерационному выделению слоев Парето оптимальных решений [7]. Перед проведением оценки приведенные выше показатели были нормированы, а расчеты проводились отдельно по каждому показателю.

В целом полученные результаты позволяют выявить региональные приоритеты по вкладу в выбранную систему показателей. На *рисунке 4* представлены сводные данные по выявленным региональным приоритетам.

Полученные значения в таблице соответствуют значению результативности региона, которая в свою очередь противоположная номеру места при ранжировании региона по результативности (региону на 1 месте присваивается результативность 85 (при 85 регионах), региону на 2 месте – результативность 84 и т.д.).

Фактически изображенные доли в базисе показателей можно рассматривать как профиль типового инновационного проекта для региона. Это позволяет оценивать вклад проекта в инновационную активность региона и, как следствие, оценивать значимость инновационного проекта для региона. Проект следует признать значимым, если он меняет (улучшает) позиции региона среди других регионов при ранжировании. Подобная соревновательная практика уже применяется при оценке результативности вузов, научных организаций. Однако не следует забывать, что подобный тактический маневр лишен стратегических целей – во множестве регионов всегда будут лидеры и отстающие, как бы ни улучшались характеристики всех регионов. В рамках системного подхода нас должен интересовать показатель не региона, а всей генеральной совокупности. Поэтому более корректным будет проводить сравнение показателей региона с самим собой в прошлом периоде. Тогда проект следует признать значимым, если он в динамике улучшает значение показателей, по которым регион является отстающим. Для этих целей следует рассматривать относительные показатели динамики, а результативность региона по данному показателю среди других регионов целесообразно пересчитывать в вес данного относительного показателя.

Таким образом, для каждого проекта рассчитывается относительный показатель динамики, исключения составляют показатели ii_1, ii_5, которые сами являются относительными:

- если

$$ii_k(t\text{-}1)\neq 0,,$$

то

$$D_k = 1 + \frac{\Delta_k(t)}{ii_k(t-1)},$$

где $ii_k(t\text{-}1)$ – значение показателя ii_k по региону в прошлом году;

$\Delta_k(t)$ – плановый или фактический прирост показателя ii_k от выполнения соответствующего проекта, иначе, если $ii_k(t\text{-}1)=0$, то $D_k=1$, здесь $k=2,3,4,6,7$;

- для показателя ii_k, если организация в результате выполнения проекта становится организацией, осуществляющей технологические, организационные, маркетинговые инновации

и в прошлом не была таковой, то $D_2=1$, иначе $D_2=0$.

● для показателя ii_5, если организация, выполняющая проект, является организацией сектора высшего образования, то показатель

$$D_5 = 1 + \frac{\Delta_5(t)}{ii_4(t-1)},$$

где $\Delta_5(t)$ – плановый или фактический прирост внутренних затрат на исследования и разработки организации в условиях выполнения проекта, внутренние затраты на исследования и разработки по региону в прошлом периоде. Если организация, выполняющая проект, не является организацией сектора высшего образования, то $D_5=0$.

Окончательно, инновационная значимость проекта определяется взвешенной суммой:

$$I = \frac{D_1}{d_1} + \frac{D_2}{d_2} + \frac{D_3}{d_3} + \frac{D_4}{d_4} + \frac{D_5}{d_5} + \frac{D_6}{d_6} + \frac{D_7}{d_7}, \quad (1)$$

где значения $d_1,d_2,d_3,d_4,d_5,d_6,d_7$ берутся из *таблицы 1* для соответствующего региона. По результатам реализации проектов в текущем году значения в *таблице 1* целесообразно пересчитывать.

Формула (1) позволяет проводить сравнительный анализ проектов, как внутри региона, так и между регионами. Кроме этого, поскольку знаменатели $d_1,d_2,d_3,d_4,d_5,d_6,d_7$ выражения (1) одинаковы внутри региона, можно получить кумулятивную оценку инновационной значимости проектов для всего региона простым сложением показателей I по всем проектам региона:

$$I_{регион}=\sum I_i \quad (2)$$

Значения, рассчитанные по формуле (2), уже позволяют проводить сравнительный анализ самих регионов.

Литература

1. Инновационная инфраструктура субъектов Российской Федерации / Аляева Ю.В., Артамонов Ю.Н., Беспалов С.В., Карулин В.П. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019620280 от 14 февраля 2019; заявка № 2019620126 от 4 февраля 2019.

2. Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года. (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2011 г. N 2227-р). http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70006124/

3. Отчет «Мониторинг исполнения основных показателей и целевых индикаторов Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 года» / Аналитический центр при Правительстве РФ.

4. Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н., Мелихов В.О., Карулин В.П., Пьянков В.В. Комплексный анализ и оценка устойчивости системы научно-образовательных центров национальной нанотехнологической сети России // Российские нанотехнологии, 2011. Том 6. №9/10. С.6-9.

5. Артамонов Ю.Н., Каманин И.О. Метод анализа информационной значимости показателей. Сборник: Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн // Материалы IV Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. Немтинова В.А., 2017. С.371-376.

6. Артамонов Ю.Н., Каманин И.О. Модель оценки результативности научных и образовательных организаций на основе сингулярного разложения матрицы // Информационные и телекоммуникационные технологии, 2013. Т.17. С.3-9.

7. Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. М.: Наука, 1986. 296 с.

УДК 519.8

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ «РОЕВОГО» ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО В СРЕДНЕМ УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ*

APPLICATION OF «SWARM» INTELLIGENCE OPTIMIZATION ALGORITHMS TO NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS OPTIMAL CONTROL PROBLEMS

Андрей Владимирович Пантелеев
доктор физико-математических наук, профессор
заведующий кафедрой
«Математическая кибернетика»
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт»
(Национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: 8 (909) 679-45-80
E-mail: avpanteleev@inbox.ru

Аннотация

Предложен единый подход, позволяющий найти оптимальное в среднем управление пучком траекторий нелинейных детерминированных систем и оптимальное в среднем управление нелинейными непрерывными стохастическими системами, используя параметрическую оптимизацию на основе методов «роевого» интеллекта: метода стохастической диффузии и метода, имитирующего поиск группой людей. Получены результаты решения прикладной задачи каждым из описанных методов.

Ключевые слова: оптимальное управление, детерминированная система, стохастическая система, методы «роевого» интеллекта.

Summary

A unified approach is proposed that allows one to find optimal on average control of a bunch of trajectories of nonlinear deterministic systems and optimal on average control of nonlinear continuous stochastic systems using parametric optimization based on methods of «swarm» intelligence: a method of stochastic diffusion and a method imitating a search by a group of people. The results of solving an applied problem by each of the methods described are obtained.

Keywords: optimal control, deterministic system, stochastic system, methods of «swarm» intelligence.

Введение

Важным этапом процесса решения задач проектирования ракетно-космических и авиационных комплексов является осуществление расчетов по оптимизации основных параметров и синтезу оптимальных законов управления. В практических задачах часто становится неэффективным использование классических численных методов поиска экстремума и возникает необходимость применения таких методов оптимизации, которые позволяют находить близкое к оптимальному решение задачи оптимизации за приемлемое время. При этом широкое развитие получили метаэвристические методы оптимизации, которые объединяют в себе один или несколько эвристических методов и способны покидать окрестности локальных экстремумов и более полно исследовать множество допустимых решений. Среди метаэвристических методов выделяют группу методов «роевого» интеллекта, к которой относятся: метод, имитирующий поиск группой людей, метод стохастической диффузии [1–3] и др. Основная идея этих методов – это взаимодействие множества агентов системы «роевого» интеллекта между собой, которые обмениваются информацией с целью приближения к оптимальному решению.

Метод стохастической диффузии (Stochastic Diffusion Search) [2] является мультиагентным. Процедура использует прямую связь между

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-07-00419 А.

агентами, обеспечивающую поведение всей совокупности агентов, характеризуемое как «роевой интеллект». Она включает две фазы. На первой фазе (фазе тестирования) каждый агент проверяет потенциальное решение проблемы, на второй фазе (фазе диффузии) агенты обмениваются информацией друг с другом.

Метод, имитирующий поиск группой людей (Human group optimization) [3], моделирует поиск группой людей, использующих память, опыт, принятие решений в условиях неопределенности, взаимодействие друг с другом. Направление поиска определяется эгоистическим, альтруистическим и профессиональным поведениями. Величина шага определяется поведением при принятии решений в условиях неопределенности.

Метаэвристические алгоритмы оптимизации разных типов уже нашли применение в задачах поиска оптимального в среднем управления пучками траекторий нелинейных динамических систем [4-6]. В данной работе предлагается искать оптимальное в среднем управление нелинейными детерминированными и стохастическими системами, используя параметрическую оптимизацию на основе методов «роевого» интеллекта. Решение ищется путем подбора коэффициентов, входящих в функцию разложения компонент управления, представляющую собой сумму произведений элементов некоторой базисной системы и искомых коэффициентов. Ограничения на управления учитываются с помощью введения функции насыщения.

Постановка задачи

Поведение модели объекта управления описывается обыкновенным дифференциальным уравнением

$$\dot{x} = f(t, x(t), u(t)), \qquad (1)$$

где t – время, $t \in T=[t_0,t_N]$, начальный t_0 и конечный t_N моменты времени заданы;
x – вектор состояния системы, $x \in R^n$;
u – вектор управления, $u=(u_1,\dots u_q)^T \in U(t) \subseteq R^q$;
$U(t)$ – множество допустимых значений управления, для каждого значения t представляющее собой прямое произведение отрезков $[a_i(t),b_i(t)]$, $i=1,2,\dots,q$;
$f(t,x,u)$ – непрерывная вектор-функция.

Возможные начальные состояния заданы компактным множеством Ω положительной меры с кусочно-гладкой границей:

$$x(t_0) = x_0 \in \Omega \in R^n. \qquad (2)$$

Предполагается, что при управлении используется информация о непрерывном времени t и о части координат вектора состояния системы (предполагается, что это первые m координат). Таким образом, о компонентах вектора $x^1 \in R^m$ известна текущая информация, а о компонентах вектора $x^2 \in R^{n-m}$ она отсутствует, при этом $x=(x^1,x^2) \in R^n$, $0 \le m \le n$. Если $m=0$, информация о векторе состояния отсутствует, а если $m=n$, то имеется полная информация о векторе состояния. Множество допустимых управлений U_m образуют такие функции $u(t, x^1)$, что $\forall t \in T$ управление $u(t)=u(t,x^1(t)) \in U(t)$ кусочно-непрерывно, а функция $f(t,x,u(t,x^1))$ такова, что решение уравнения (1) существует и единственно.

Множество допустимых процессов $\boldsymbol{D}(t_0,x_0)$ – это множество пар $d=(x(t), u(t))$, включающих траекторию $x(t)$ и кусочно-непрерывное допустимое управление $u(t)$, где «t $u(t) \in T \in U(t)$, удовлетворяющих дифференциальному уравнению (1) и начальному условию (2).

На множестве допустимых процессов $\boldsymbol{D}(t_0,x_0)$ определен функционал качества управления

$$I(x_0,d) = \int_{t_0}^{t_N} f^0(t,x(t),u(t))dt + F\left(x(t_N)\right), \qquad (3)$$

где $f^0(t,x,u)$ и $F(x)$ – заданные непрерывные функции.

Каждому допустимому управлению $u(t,x^1) \in U_m$ и множеству Ω поставим в соответствие пучок траекторий уравнения (1):

$$X(t;u(t,x^1))=\mathrm{U}\{x(t;\, u(t,x^1(t)),x(t_0)) \mid x(t_0) \in \Omega\},\ t \in T,$$

т.е. объединение решений уравнения (1) по всем возможным начальным состояниям (2).

Качество управления пучком траекторий предлагается оценивать величиной функционала

$$J[u(t,x^1)] = \frac{\int_{\Omega} I(x_0,d)dx_0}{\mathrm{mes}\ \Omega}, \qquad (4)$$

где mes Ω– мера множества Ω.

Требуется найти такое управление $u^*(t,x^1) \in U_m$, что $J[u^*(t,x^1)] = \min\limits_{u(t,x^1) \in U_m} J[u(t,x^1)]$. (5)

Искомое управление называется оптимальным в среднем.

Замечание. Аналогичная постановка задачи может быть сформулирована для модели объекта управления, описываемой стохастическим дифференциальным уравнением Ито:

$$dX = f(t,X(t),u(t))dt + s(t,X(t),u(t))d\Omega,\ X(t_0)=X_0, \qquad (6)$$

где X_0 – случайный вектор;
$\Omega(t)$ – k-мерный стандартный винеровский случайный процесс;
$s(t,x,u)$ – заданная непрерывно-дифференцируемая матричная функция размером $n \times k$, а функционал качества управления

$$J[u(t,x^1)] = M\left\{\int_{t_0}^{t_1} f^0(t,X(t),u(t,X^1(t)))dt + F(X(t_1))\right\}, \qquad (7)$$

где M – знак математического ожидания.

Стратегия поиска решения

Предполагается, что:

а) множество начальных состояний Ω представляет собой параллелепипед, определенный прямым произведением отрезков $[a_i,b_i]$, $i=1,\ldots,n$, т.е. $\Omega=[a_1,b_1]\times\ldots\times[a_n,b_n]$. Все отрезки $[a_i,b_i]$, $i=1,\ldots,n$ с помощью шага Dx_i разбиваются на N_i отрезков, а параллелепипед Ω делится на $N=N_1\cdots N_n$ элементарных подмножеств Ω_j, $j=1,\ldots,N$. В каждом элементарном подмножестве Ω_j задается начальное состояние x^j_0 (центр Ω_j). Для стохастической модели (6) генерируются N начальных состояний с учетом заданного закона распределения начальных состояний;

б) компоненты закона управления ищутся в виде

$$u_l(t,x^1)=\mathrm{sat}\left\{\underbrace{\sum_{i_0=0}^{L_0-1}\sum_{i_1=0}^{L_1-1}\cdots\sum_{i_m=0}^{L_m-1}u^l_{i_0i_1\ldots i_m}\cdot q(i_0,t)p_1(i_1,x_1)\cdots p_m(i_m,x_m)}_{u^s_l(t,x^1)}\right\},\ l=1,\ldots,q,$$

где $\mathrm{sat}\{u_l(t,x^1(t))\}=\begin{cases}u^s_l(t,x^1(t)), & \text{если } a_l(t)<u^s_l(t,x^1(t))<b_l(t),\\ a_l(t), & \text{если } u^s_l(t,x^1(t))\le a_l(t),\\ b_l(t), & \text{если } u^s_l(t,x^1(t))\ge b_l(t);\end{cases}$

$u^l_{i_0i_1\ldots i_m}$ – неизвестные коэффициенты;

$L_0,L_1,\ldots,L_m$ – масштабы усечения по времени и координатам вектора состояния, используемым в управлении.

В качестве функций $q(i_0,t)$, $p_1(i_0,x_1),\ldots,$ $p_m(i_m,x_m)$, могут использоваться полиномы Лежандра, косинусоиды и др. [4-6], определенные на оценке множества возможных состояний

$$[\underline{x_1},\overline{x_1}]\times\cdots\times[\underline{x_n},\overline{x_n}],$$

где $\underline{x_i},\overline{x_i}$ – нижняя и верхняя границы по каждой координате соответственно;

в) для приближенного вычисления функционала (4) ((7) в стохастическом случае) требуется проинтегрировать уравнение (1) одним из численных методов, например, Рунге-Кутты 4 порядка (для уравнения (6) можно использовать метод Эйлера-Маруямы:

$$X^j_{k+1}=X^j_k+f(k,X^j_k,u_k)h+\sqrt{h}\,\sigma(k,X^j_k,u_k)\Delta W,$$

где h – шаг дискретизации;

$\Delta W\sim N(0,1)$ – случайный гауссовский k-мерный вектор) для одного из N начальных состояний, а затем определить среднее значение по множеству реализаций.

Стратегия решения заключается в переходе от задачи (5) к задаче поиска наилучшего вектора

$$u=\left(u^1_{i_0i_1\ldots i_m},\ldots,u^q_{i_0i_1\ldots i_m}\right)^T$$

и, как следствие, управления $u(t,x^1)$ одним из методов «роевого интеллекта».

Пример 1. Рассмотрим задачу оптимального управления химическим процессом [7]. Модель непрерывной детерминированной системы описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_1=x_2$$

$$\dot{x}_2=-x_1-x_2+u+100\,[H(t-0,5)-H(t-0,6)],$$

$$\dot{x}_3=5x_1^2+2,5x_2^2+0,5u^2,$$

где $0\le t\le t_N=2$;

$$H(x)=\begin{cases}1, & \text{если } x\ge 0;\\ 0, & \text{если } x<0.\end{cases}$$

Множество возможных начальных состояний:

$$x_1(0)\in[a_1,b_1],\ x_2(0)\in[a_2,b_2],\ x_3(0)=0.$$

Ограничения на управление: $-20\le u\le 20$. Критерий качества (3): $I(x_0,d)=x_3(t_N)$. Требуется минимизировать критерий качества управления пучком (4) при помощи выбора управления, удовлетворяющего заданным ограничениям, при разной информированности о координатах вектора состояния.

Для численного решения дифференциальных уравнений выберем метод Рунге-Кутты 4-го порядка, нестационарные косинусоиды в качестве системы базисных функций,

$$\Omega=[-0,05;0,05]\times[-0,05;0,05],$$

$x_3(0)=0$ в качестве множества возможных начальных состояний, параметр $N=8$.

Параметры метода, имитирующего стохастическую диффузию: $I_{max}=500$, $NP=50$, $\Omega=0,1$, $h=0,5$. Параметры метода, имитирующего поиск группой людей: $I_{max}=300$, $SN=90$, $m_{min}=0,1$, $m_{max}=1$.

На *рисунке 1* изображены графики изменения координат модели объекта и оптимального программного управления при решении задачи с помощью метода стохастической диффузии.

Таблица 1

Результаты решения *примера 1*

	$J[u(t)]$	$J[u(t,x_1)]$	$J[u(t,x_2)]$	$J[u(t,x_1,x_2)]$
1	2	3	4	5
Метод стохастической диффузии	62,1026932 $L_0=2$	62,0860019 $L_0=2$, $L_1=2$	61,9279951 $L_0=3$, $L_2=1$	61,898363 $L_0=3$, $L_1=1$, $L_2=1$
Метод, имитирующий поиск группой людей	61,767949 $L_0=4$	60,4583106 $L_0=4$, $L_1=2$	61,298617 $L_0=4$, $L_2=2$	60,118099 $L_0=4$, $L_1=2$, $L_2=2$

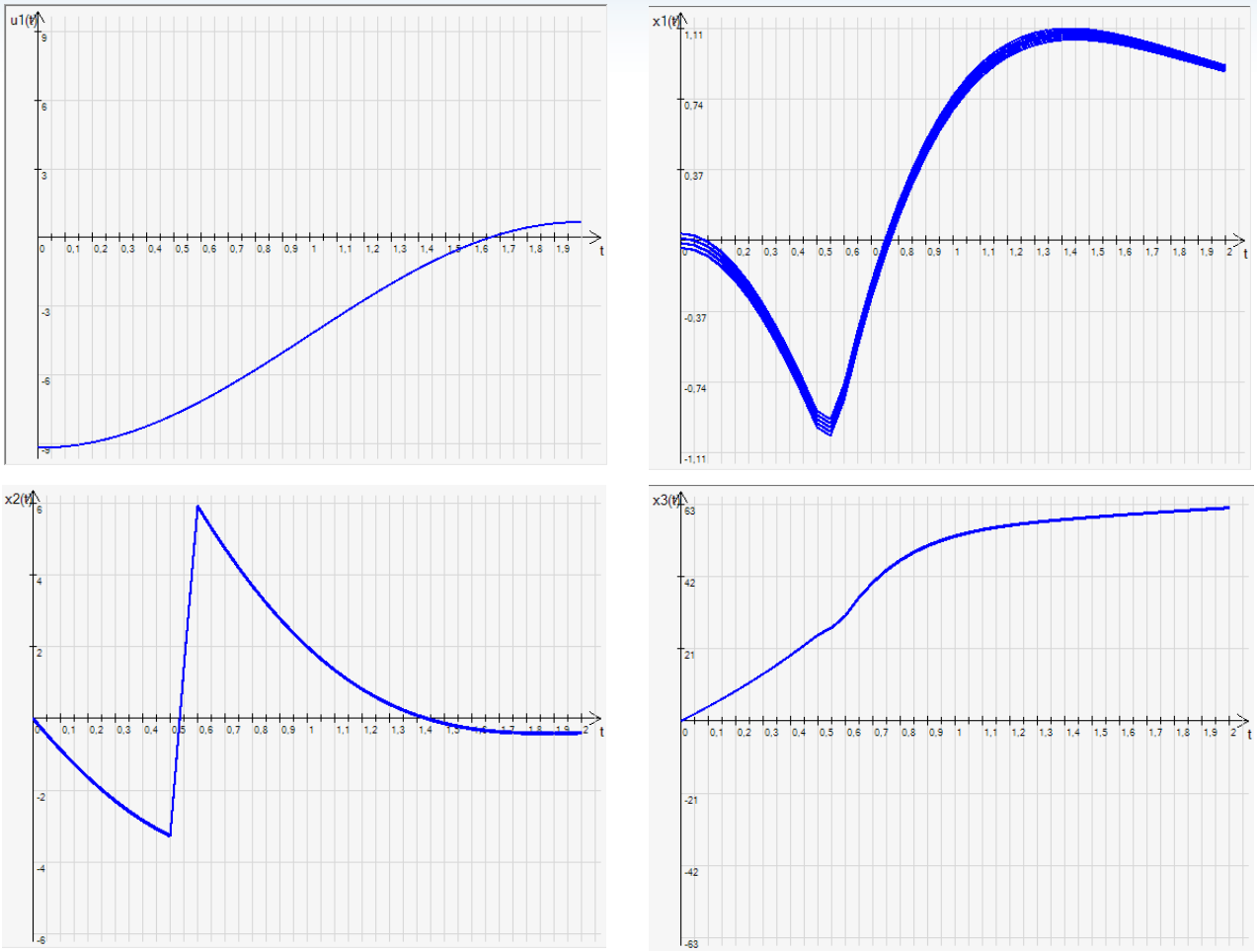


Рис. 1. Траектории и оптимальное управление в *примере 1*

Пример 2. Модель непрерывной стохастической системы описывается системой дифференциальных уравнений:

$$dx_1 = x_2 dt;$$
$$dx_2 = (-x_1 - x_2 + u + 100[H(t-0{,}5) - H(t-0{,}6)])dt + 0{,}5dW;$$
$$dx_3 = (5x_1^2 + 2{,}5\,x_2^2 + 0{,}5u^2)dt.$$

где все обозначения совпадают с используемыми в *примере 1*, начальное условие $x_{i0} \sim R[a_i, b_i]$, $i=1,2$; $x_3(0) = 0$, критерий (7): $J=M[x_3(t_N)]$.

Параметры метода, имитирующего поиск группой людей: $I_{max}=300$, $SN=90$, (при минимизации $J[u(t)]$ $SN=120$) $m_{min}=0{,}1$, $m_{min}=1$.

Параметры метода стохастической диффузии: $I_{max}=2000$, $NP=100$ (при минимизации $J[u(t, x)_1]$ $I_{max}=700$, при минимизации $J[u(t, x_1, x_2)]$, $NP=50$, $I_{max}=500$), $\Omega=0{,}1$; $h=0{,}5$.

На *рисунке 2* изображены графики изменения координат модели объекта и оптимального программного управления при решении задачи с помощью метода, имитирующего поиск группой людей. Анализ изменения величины функционала в *таблицах 1* и *2* показывает, что с ростом числа используемых в управлении координат результат улучшается.

Таблица 2

Результаты решения *примера 2*

	$J[u(t)]$	$J[u(t, x_1)]$	$J[u(t, x_2)]$	$J[u(t, x_1, x_2)]$
1	2	3	4	5
Метод стохастической диффузии	69,02129 $L_0=3$	65,16341 $L_0=3, L_1=2$	64,26413 $L_0=3, L_1=2$	63,20879 $L_0=3, L_1=2, L_2=2$
Метод, имитирующий поиск группой людей	62,71949 $L_0=4$	61,55568 $L_0=4, L_1=1$	60,92803 $L_0=4, L_2=2$	60,80628 $L_0=4, L_1=2, L_2=2$

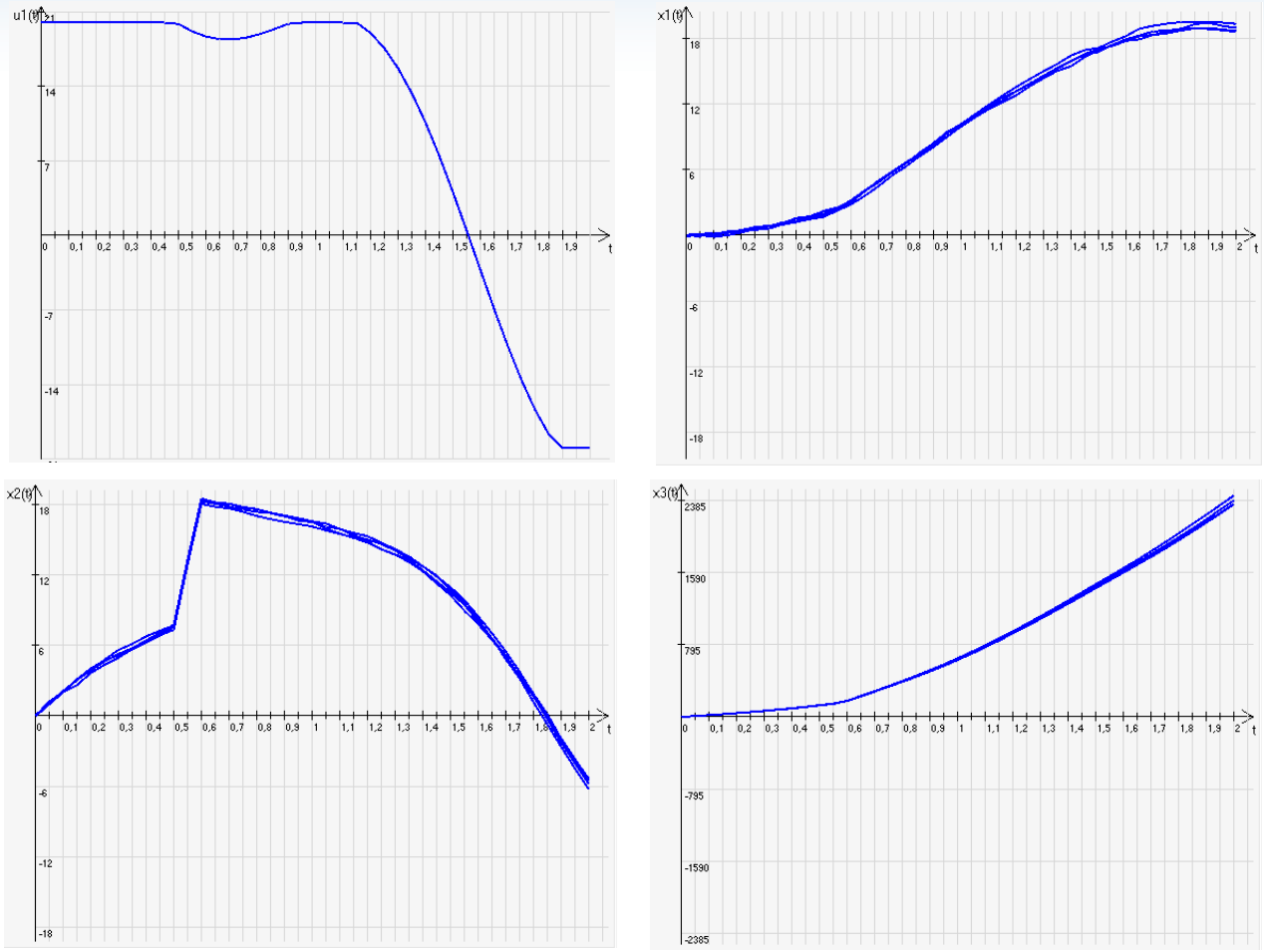


Рис. 2. Траектории и оптимальное управление в *примере 2*

Заключение

Предложен единый подход к нахождению оптимального в среднем управления пучками траекторий нелинейных детерминированных систем и оптимального в среднем управления нелинейными стохастическими системами с помощью метода стохастической диффузии и метода, имитирующего поиск группой людей, относящихся к методам «роевого интеллекта». Он проиллюстрирован на задаче оптимального управления химическим процессом в обеих постановках.

Автор выражает признательность М.Д. Евдокимовой за помощь в проведении численных расчетов.

Литература

1. Пантелеев А.В, Евдокимова М.Д. Методы «роевого» интеллекта в задачах оптимизации параметров технических систем // Научный вестник МГТУ ГА, 2017. Т.20. №2. С.6-15.
2. Omran M.G.H., Moukadem I., Salahal-Sharhan, KinaΩi M. Stochastic Diffusion Search for Continuous Global Optimization// Proc. Int. Conf. On SΩarm Intelligence, ICSI, 2011, id–13.
3. Tuba M., Brajevic I., Jovanovic R. Hybrid Seeker Optimization Algorithm for Global Optimization // Appl. Math. Inf. Sci. 7, No. 3, 2013, Pp.867-875.
4. Пантелеев А.В., Пановский В.Н. Метаэвристические интервальные методы поиска оптимального в среднем управления нелинейными детерминированными системами при неполной информации о ее параметрах // Известия РАН. Теория и системы управления, 2017. №1. С.53-64.
5. Пантелеев А.В., Письменная В.А. Применение меметического алгоритма в задаче оптимального управления пучками траекторий нелинейных детерминированных систем с неполной обратной связью // Известия РАН. Теория и системы управления, 2018. №1. С.27-38.
6. Пантелеев А.В., Орловская Н.М. Решение задачи о стабилизации спутника с помощью биоинспирированных методов оптимизации // Научный вестник МГТУ ГА, 2015. № 220 (10). С.5-12.
7. Luus R. Iterative Dynamic Programming. Monographs and Surveys in Pure and Applied Mathematics. L.: Chapman and Hall; CRC Press, 2000. 331 p.

УДК 519.248+629.7.01

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫХ И ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

MATHEMATICAL MODEL OF ESTIMATION OF EFFICIENCY OF INTELLIGENCE AND SEARCH AND RESCUE OPERATIONS WITH THE USE OF AIRCRAFT

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

Роман Олегович Ногин
заместитель начальника по учебной и научной работе
ВА РВСН имени Петра Великого
генерал-майор
Адрес: 143900, Московская обл.,
г. Балашиха, ул. Карбышева, д.8
Тел.: +7(495) 52408-14

Александр Юрьевич Юлдашев
кандидат технических наук
командующий войсками и силами на Северо-Востоке России
контр-адмирал

Аннотация
В статье представлены детерминированный и стохастический варианты математической модели поисково-спасательных операций, которые являются информационными компонентами системы поддержки принятия решений. Универсальность предлагаемых подходов, позволяет адаптировать модели к ситуационным задачам технической разведки и оценки обстановки в позиционных районах дислокации войск и районах чрезвычайных ситуаций. При моделировании использовался пакет прикладных программ системы Mathcad.
Ключевые слова: риск, безопасность, поисково-спасательные операции, системы поддержки принятия решений, чрезвычайные ситуации.

Summary
The article presents deterministic and stochastic variants of a mathematical model of search and rescue operations, which are information components of decision making support system. The universality of the proposed approaches makes it possible to adapt the models to the situational tasks of technical Intelligence and to assess the situation in the positional areas of deployment of troops and areas of emergency situations. The package of application programs of the Mathcad system was used for modeling.
Keywords: risk, security, search and rescue operations, decision making support system, emergencies.

В настоящее время при решении задач всех видов разведки (например, военной, экологической, технической, радиационной, химической, пожарной), оценки обстановки в районах чрезвычайных ситуаций (ЧС), дислокации войск, поиска и оказания экстренной помощи пострадавшим, оперативной доставки в лечебные учреждения все шире используются пилотируемые и беспилотные летательные аппараты (БЛА). При этом характерной особенностью данных операций являются неопределенность обстановки, высокая динамичность всех процессов, многовариантность сценариев их развития и возможных последствий, что определяет жесткие требования к их эффективности, безошибочности и своевременности принимаемых решений.

Для прогнозирования рисков и оценки эффективности комплекса мероприятий (операций), связанных с оценкой обстановки при чрезвычайных (кризисных) ситуациях, обоснования

и принятия мер по предупреждению аварий, катастроф, минимизации ущерба, определения сил и средств и разработки планов восстановления объектов и ликвидации последствий необходим научно-методический аппарат (НМА), позволяющий автоматизировать процессы разработки управленческих решений на основе современных информационных технологий.

В качестве примера рассмотрим, один из информационных компонентов системы поддержки принятия решений (СППР) – детерминированную и стохастическую модели оценки эффективности разведывательных и поисково-спасательных операций с применением летательных аппаратов (ЛА) [3, 4].

Постановка задачи. Поисково-спасательный вертолет со скоростью V=110 км/час осуществляет осмотр заданного района поиска (акватории моря, лесного массива, позиционного района) площадью S_{Σ}=1200 км^2, с целью обнаружения малоразмерного объекта (например, членов экипажа затонувшего судна, потерпевшего аварию летательного аппарата, заблудившихся людей в лесном массиве, обнаружения целей и т.п.). Объекты поиска (ОП) с равной вероятностью могут находиться в любой точке обследуемого района S_{Σ} (*рисунок 1*). Радиус R визуального обнаружения объекта и время T проведения поисково-спасательных работ (ПСР) ограниченны, как физиологическими способностями к выживанию человека, определяемых метеоусловиями (температурой воздуха, воды и степенью волнения моря, длительностью нахождения объекта в районе поиска), так и эффективностью (дальностью обнаружения) применяемых технических средств поиска в сложившейся ситуации.

Ограничения, связанные с эксплуатационно-техническими характеристиками поисково-спасательных средств (дальность полета летательных аппаратов, запасы топлива и т.п.) в задаче не учитываются, так как непрерывность операции (работ) обеспечивается за счет сменной работы вертолетов. Кроме того, в случае полного обследования заданного района поиска (S_0=S_{Σ}), поисково-спасательная операция (в данном районе) прекращается, т.е. соблюдаются условия (ограничения)

$$S_0 \in S_{\Sigma} \text{ и } S_0 \le S_{\Sigma}.$$

Согласно наставлению по действиям поисково-спасательных сил при проведении ПСР, визуальный поиск самолетами выполняется на высоте полета 500-600 м, вертолетами – на высоте 200-300 м над рельефом местности (препятствиями, водной поверхностью). Высота полета (h) может уточняться в зависимости от особенностей районов поиска, метеорологических условий, уровня подготовки экипажа и дальности обнаружения объектов на местности.

Необходимо оценить вероятность обнаружения малоразмерного объекта поиска при условии, что:

1) параметры R,T являются детерминированными величинами. При этом радиус визуального обнаружения объекта, с борта вертолета, летящего на высоте 200 м, при данных метеоусловиях, равен R=700 м, а время поиска ограничено T=6 час;

2) параметры R,T являются случайными величинами. Радиус обнаружения R, подчиняется логарифмически нормальному (или логнормальному) закону распределения вероятностей с медианой, равной $Me(R_1)$=800 м, и модой, равной $Mo(R_1)$=550 м. Сравнить как изменится вероятность обнаружения объекта из-за изменения по-

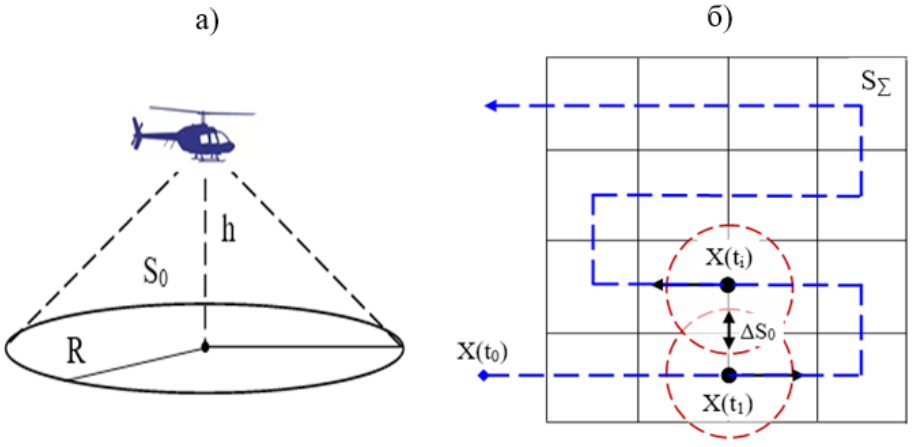


Рис. 1. Схема организации поисково-спасательных работ:
а) площадь S_0 визуального обнаружения объекта поиска при зависании вертолета на высоте h; б) схема организации полетов с перекрытием зон ΔS_0 визуального наблюдения (обнаружения)

годных условий поиска, характеризующихся параметрами $Me(R_2)=600$ м и $Mo(R_2)=500$ м.

Время T проведения поисковых работ распределено по закону равномерной плотности с параметрами $a=t_1$ и $b=t_2$. Время $t_1>0$ начала поисковых работ, определяется временным интервалом, связанным с оповещением и прибытием ПСС в район поиска, а время $t_1>t_2$ – это среднестатистическое время успешного завершения (окончания) поисково-спасательных операций обусловленных, способностью выживания человека в данных метеоусловиях и его физиологическими особенностями (возраст, пол, выносливость, психологическая стойкость), так и другими факторами (например, наличие спасательных средств, степень волнения моря и т.п.).

Решение. Очевидно, что за время T вертолет осмотрит акваторию моря площадью

$$S_0 = \pi R^2 + 2RVT, \qquad (1)$$

где R – радиус визуального обнаружения объекта поиска;
V,T – скорость осмотра и время проведения поисково-спасательных работ, соответственно.

Факт обнаружения терпящих бедствие (обозначим, как событие A) эквивалентен факту попадания точки (так как размеры объекта поиска значительно меньше района поиска), равномерно распределенной в области S, в область S_0 (событие B). Тогда вероятность события B, состоящего в том, что объект поиска, попадет в область S_0, которая является частью области S, равна

$$P(B) = \frac{S_0}{S_\Sigma}. \qquad (2)$$

Благополучный исход поисковых работ (событие A) возможет только тогда, когда осуществится событие B, следовательно

$$P(A) = P(B) = \frac{S_0}{S_\Sigma}. \qquad (3)$$

Если принять, что все параметры поисковой операции являются детерминированными величинами, то в результате, получим

$$P(A) = P(R,T) = \frac{\pi R^2 + 2RVT}{S_\Sigma}. \qquad (4)$$

Подставив исходные данные (см. вариант а) в итоге, имеем

$$P(A) = \frac{\pi R^2 + 2RVT}{S_\Sigma} = \frac{3{,}142\cdot 0{,}6^2 + 2\cdot 0{,}6\cdot 110\cdot 6}{\cdot 1200} = \frac{793{,}13}{1200} = 0{,}661$$

Листинг детерминированной модели поисково-спасательной операции с графическими результатами моделирования, представлен на

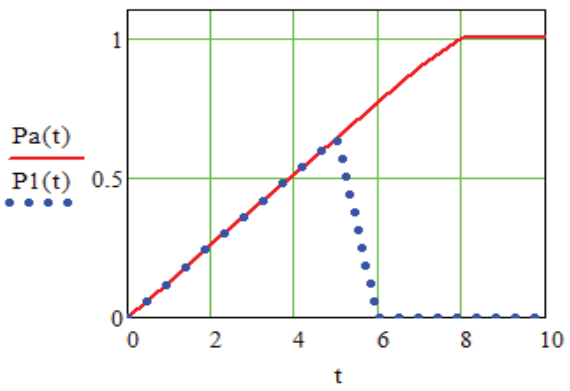
Детерминированная модель поисково-спасательной операции

Исходные данные (вариант а): $R := 0.7$ $V := 110$ $t := 0..10$ $S := 1200$ $T := 6$

Решение: $S0(t) := (\pi\cdot R^2 + 2\cdot R\cdot V\cdot t)$ $P(t) := \frac{(\pi\cdot R^2 + 2\cdot R\cdot V\cdot t)}{S}$ $P(T) := \frac{(\pi\cdot R^2 + 2\cdot R\cdot V\cdot T)}{S}$

$Pa(t) := \begin{cases} 1 \text{ if } (\pi\cdot R^2 + 2\cdot R\cdot V\cdot t) \geq S \\ \frac{(\pi\cdot R^2 + 2\cdot R\cdot V\cdot t)}{S} \text{ otherwise} \end{cases}$ $S0(t) := \begin{cases} S \text{ if } (\pi\cdot R^2 + 2\cdot R\cdot V\cdot t) \geq S \\ (\pi\cdot R^2 + 2\cdot R\cdot V\cdot t) \text{ otherwise} \end{cases}$

$P1(t) := \begin{cases} \frac{(\pi\cdot R^2 + 2\cdot R\cdot V\cdot t)}{S} \text{ if } 0 < t < 6 \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$ Ответ: $P(T) = 0.771$



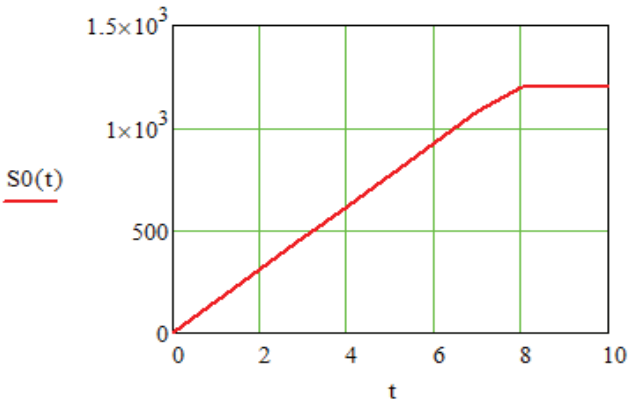


Рис. 2. Листинг детерминированной модели поисково-спасательных работ (операций)

рисунке 2, где $P_a(t)$, $P_1(t)$ – вероятность обнаружения объекта поиска, соответственно, при неограниченном $(t>0)$ и ограниченном времени поиска $(0<t\le T)$, а индекс (a) – это вариант исходных данных; $S_0(t)$ км^2 – площадь района поиска, обследованная за время $(t>0)$.

В действительности дальность визуального обнаружения R и время T успешного завершения ПСР (своевременного обнаружения и оказания помощи пострадавшим) – случайные величины (СВ). Соответственно и вероятность обнаружения $P(R,T)$ является случайной величиной. Поэтому вычислим математическое ожидание $P(R,T)$ как безусловную (полную) вероятность $\overline{p}$ обнаружения объекта поиска.

При логарифмически нормальном распределении случайной величины радиуса R обнаружения объекта, функция плотности имеет вид

$$f(r)=f(r,r_0,\sigma)=\begin{cases}0 & \text{при } r\le 0;\\ \dfrac{1}{r\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\dfrac{(\ln r-\ln r_0)^2}{2\sigma^2}\right\} & \text{при } r>0,\end{cases} \quad (5)$$

где r_0 – параметр масштаба μ;
σ – параметр формы распределения.

Необходимо помнить, что если случайная величина R имеет логарифмически нормальное распределение, с функцией плотности $f(r,r_0,\sigma)$, то аргументы r_0 и σ не являются средним и стандартным отклонением логнормальной СВ R, а представляют собой математическое ожидание и СКО случайной величины lnR, т.е.

$$\mu=M(\ln R)\ne M(R) \text{ и}$$
$$\sigma=\sigma(\ln R)\ne\sigma(R).$$

При этом если в нормальном законе параметр r_0 выступает в качестве среднего значения случайной величины, то в логнормальном – в качестве медианы [2, 5].

В результате имеем:

$$Me(R_1)=e^{\mu_1}=800 \text{ или } \mu_1=\ln 800=6{,}685;$$
$$Mo(R_1)=\exp(\mu_1-\sigma_1^2)=550 \text{ или}$$
$$(\mu_1-\sigma_1^2)=\ln 550=6{,}31,$$

следовательно,

$$\sigma_1^2=6{,}685-6{,}31=0{,}375 \text{ и } \sigma_1=\sqrt{0{,}375}=0{,}612.$$

Аналогично, вычислим:

$$Me(R_2)=e^{\mu_2}=600, \text{ или } \mu_2=\ln 600=6{,}397;$$
$$Mo(R_2)=\exp(\mu_2-\sigma_2^2)=500, \text{ или}$$
$$(\mu_2-\sigma_2^2)=\ln 500=6{,}215,$$

следовательно,

$$\sigma_2^2=6{,}397-6{,}215=0{,}182, \text{ и}$$
$$\sigma_2=\sqrt{0{,}182}=0{,}427.$$

В Mathcad, вычисления, связанные с логарифмически нормальным распределением, реализуются с помощью встроенных функций *$lnorm(r,\mu,\sigma)$ – где обозначение * задает смысловую часть встроенной функции [1].

Плотности вероятности

$$f_1(r)=dlnorm(r,\mu_1,\sigma_1),$$
$$f_2(r)=dlnorm(r,\mu_2,\sigma_2)$$

и функции распределения

$$F_1(r)=plnorm(r,\mu_1,\sigma_1),$$
$$F_2(r)=plnorm(r,\mu_2,\sigma_2),$$

представлены на *рисунке 3*.

Из графиков видно, что логнормальное распределение одномодально, имеет правостороннюю асимметрию и положительный эксцесс. При уменьшении параметра формы $\sigma_1>\sigma_2$, асимметрия и эксцесс уменьшаются.

Квантиль порядка $p=0{,}03$ логарифмически нормального распределения с параметрами $\mu_1=6{,}685$, $\sigma_1=0{,}612$ и $\mu_2=6{,}397$, $\sigma_2=0{,}427$ равен

$$r_{0,05}=qlnorm(0.05,\mu_1,\sigma_1)=292{,}3 \text{ и}$$
$$r_{0,05}=qlnorm(0.05,\mu_2,\sigma_2)=297{,}3.$$

Время непосредственного поиска T распределено по закону равномерной плотности в диапазоне $[a,b]=[t_1;t_2]$:

$$g(t)=g(t,a,b)=\begin{cases}0 & \text{при } t\le a,\ t>b;\\ \dfrac{1}{b-a} & \text{при } a<t\le b.\end{cases} \quad (6)$$

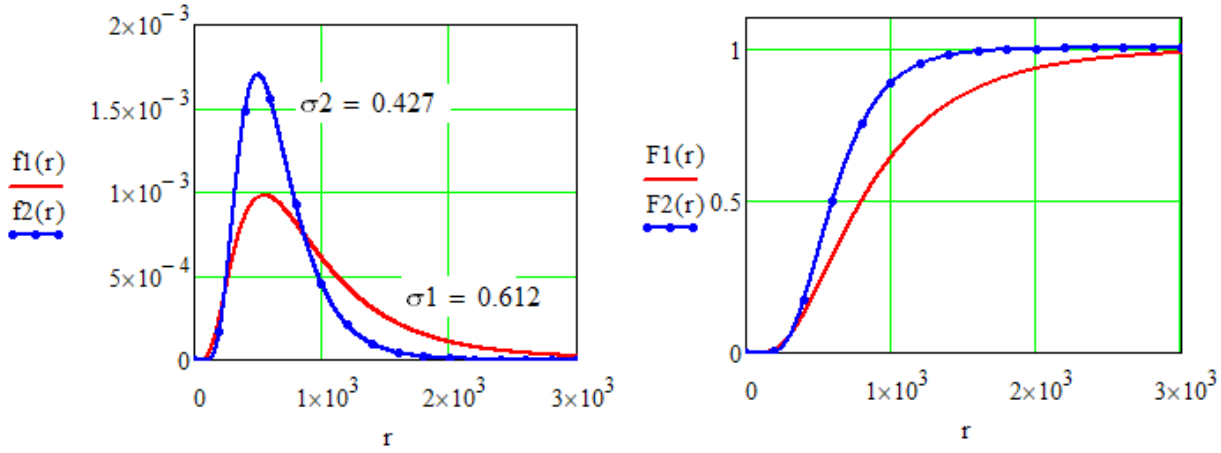


Рис. 3. Плотности вероятностей $f_1(r)$, $f_2(r)$ и функций распределения $F_1(r)$, $F_2(r)$ логарифмически нормального распределения СВ R

Математическое ожидание, дисперсия и коэффициент вариации времени поиска T, соответственно, равны:

$$M(T)=\bar{t}=\frac{b+a}{2}=\frac{t_2+t_1}{2};$$

$$D(T)=\frac{(b-a)^2}{12}=\frac{(t_2-t_1)^2}{12};$$

$$\nu_t=\frac{(t_2-t_1)}{\sqrt{3}\cdot(t_2+t_1)}.$$

Для вычисления матожидания функции случайных аргументов $p(R,T)$, полагая случайные величины R и T независимыми, воспользуемся так называемой интегральной формулой полной вероятности [4]

$$\bar{p}=M\left[p(R,T)\right]=\int_0^{\infty}\int_a^b p(r,t)\,f(r)\,g(t)\,dt\,dr, \quad (7)$$

где $f(r)$, $g(r)$ – плотности распределения СВ R и T, соответственно.

После подстановки функциональной зависимости $p(r,t)$, получим

$$\bar{p}=\int_0^{\infty}\int_a^b\frac{(\pi r^2+2rVt)}{S_\Sigma}f(r)\,g(t)\,dt\,dr=\frac{1}{S_\Sigma}\int_0^{\infty}\int_{t_1}^{t_2}(\pi r^2+2rVt)\,f(r)\,g(t)\,dt\,dr \quad (8)$$

Вычисление двойного интеграла сведем к двум последовательным интегрированиям. Для этого сначала вычислим внутренний интеграл с переменной интегрирования t (при этом переменная r считается постоянной), а затем полученную функцию переменной r проинтегрируем в пределах от 0 до ∞:

$$\int_a^b(\pi r^2+2rVt)\,f(r)\,g(t)\,dt=f(r)\int_a^b(\pi r^2+2rVt)\cdot\frac{1}{(b-a)}\,dt=$$

$$=f(r)\int_a^b\frac{(\pi r^2+2rVt)}{(b-a)}dt=\frac{f(r)}{(b-a)}\left[\int_a^b(\pi r^2+2rVt)\,dt\right]=$$

$$=\frac{f(r)}{(b-a)}\left[\pi r^2\int_a^b dt+2rV\int_a^b t\,dt\right]=\frac{f(r)}{(b-a)}\left[\pi r^2 t\Big|_a^b+rVt^2\Big|_a^b\right]=$$

$$=f(r)\left[\frac{\pi r^2(b-a)}{(b-a)}+\frac{2rV(b^2-a^2)}{2(b-a)}\right]=f(r)\left[\pi r^2+\frac{2rV(b-a)(b+a)}{2(b-a)}\right]=$$

$$=f(r)\left[\pi r^2+2rV\underbrace{\frac{(b+a)}{2}}_{M[T]=\bar{t}}\right]=f(r)\left[\pi r^2+2rV\cdot\bar{t}\right] \quad (9)$$

Далее, с учетом подстановки (9) и основных свойств определенного интеграла (интегрирование алгебраической суммы и вынесение постоянного множителя за знак интеграла), получим выражение

$$\bar{p}=\frac{1}{S_\Sigma}\int_0^{\infty}(\pi r^2+2rV\bar{t})\,f(r)dr=\frac{1}{S_\Sigma}\left[\int_0^{\infty}\pi r^2 f(r)dr+\int_0^{\infty}2rV\bar{t}\cdot f(r)dr\right]=$$

$$=\frac{1}{S_\Sigma}\left[\pi\int_0^{\infty}r^2 f(r)dr+2V\cdot\bar{t}\int_0^{\infty}r\,f(r)dr\right] \quad (10)$$

Преобразовав выражение (10) с учетом формулы начального момента s-го порядка для непрерывной случайной величины X

$$\alpha_s[X]=\int_{-\infty}^{\infty}x^s f(x)\,dx, \quad (11)$$

а также, учитывая, что первый начальный момент СВ X, представляет собой нечто иное как математическое ожидание, получим

$$\bar{p}=\frac{1}{S_\Sigma}\left[\pi\underbrace{\int_0^{\infty}r^2 f(r)dr}_{\alpha_2[R]}+2V\bar{t}\underbrace{\int_0^{\infty}r\,f(r)dr}_{\alpha_1[R]=M[R]}\right]=\frac{1}{S_\Sigma}(\pi\cdot\alpha_2[R]+2V\bar{t}\,M[R]) \quad (12)$$

Числовые характеристики случайной величины R, распределенной по логнормальному закону, вычислим по формулам

$$M[R]=\bar{r}=r_0e^{\sigma^2/2}=\exp\left\{\mu+\frac{1}{2}\sigma^2\right\}; \quad (13)$$

$$D[R]=r_0^2e^{\sigma^2}(e^{\sigma^2}-1)=\bar{r}^2\left[\left(\frac{r_0^2e^{\sigma^2}}{r_0^2}\right)-1\right]=\bar{r}^2\left[\left(\frac{\bar{r}}{r_0}\right)^2-1\right];$$

$$D[R]=\exp\left\{\mu+\frac{1}{2}\sigma^2\right\}$$

Подставив исходные данные μ_1,σ_1 и μ_2,σ_2, вычислим

$$M[R_1]=\bar{r}_1=\exp\left\{\mu_1+\frac{1}{2}\sigma_1^2\right\}=\exp\left\{6{,}685+\frac{1}{2}(0{,}612)^2\right\}=\exp\{6{,}872\}=964{,}9$$

$$M[R_2]=\bar{r}_2=\exp\left\{\mu_2+\frac{1}{2}\sigma_2^2\right\}=\exp\left\{6{,}397+\frac{1}{2}(0{,}427)^2\right\}=\exp\{6{,}488\}=657{,}2$$

Для вычисления второго начального момента $\alpha_2[R]$ воспользуемся формулой, выражающей дисперсию СВ через ее второй начальный момент

$$D[R]=\alpha_2[R]-M[R]^2. \quad (14)$$

Соответственно, преобразовав ее к виду

$$\alpha_2[R]=D[R]+M[R]^2$$

и подставив формулы D[R] и M[R], имеем

$$\alpha_2[R]=D[R]+M[R]^2=\bar{r}^2\left[\left(\frac{\bar{r}}{r_0}\right)^2-1\right]+\bar{r}^2=\bar{r}^2\left(\frac{\bar{r}}{r_0}\right)^2 \quad (15)$$

После подстановки выражения (15) в формулу (12) получим

$$\bar{p}(r,t)=\frac{(\pi\alpha_2[R]+2V\bar{t}\,M[R])}{S_\Sigma}=\frac{1}{S_\Sigma}(\pi\bar{r}^2\left(\frac{\bar{r}}{r_0}\right)^2+2V\bar{t}\,\bar{r})=\frac{1}{S_\Sigma}\bar{r}\left[\pi\bar{r}\left(\frac{\bar{r}}{r_0}\right)^2+2V\bar{t}\right] \quad (16)$$

Подставив в формулу (16) исходные данные (см. вариант b), окончательно получим

$$\bar{p}_1(r_1,t)=1{,}0 \text{ и } \bar{p}_2(r_2,t)=0{,}724.$$

Аналогичные результаты можно получить с помощью пакета встроенных функций системы Mathcad, задающих: логарифмически нормальное распределение – $f(r)=\mathrm{dlnorm}(r,\mu,\sigma)$, где μ и $\sigma>0$ – натуральный логарифм, соответственно, математического ожидания и среднеквадратичного отклонения; равномерное распределение

$$g(t)=\mathrm{dunif}(t,a,b),$$

Продолжение

$$p(r,t) := \frac{\left(\pi \cdot r^2 + 2 \cdot r \cdot V \cdot t\right)}{S} \qquad g(t) := dunif(t, a1, b1) \qquad f1(r) := dlnorm(r, \mu1, \sigma1) \qquad f2(r) := dlnorm(r, \mu2, \sigma2)$$

$$p1(r,t) := \int_0^{\infty} \int_{a1}^{b1} p(r,t) \cdot f1(r) \cdot g(t)\, dt\, dr \qquad p1(r,t) := \begin{cases} 1 & \text{if } p1(r,t) \geq 1 \\ p1(r,t) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$p2(r,t) := \int_0^{\infty} \int_{a1}^{b1} p(r,t) \cdot f2(r) \cdot g(t)\, dt\, dr \qquad p2(r,t) := \begin{cases} 1 & \text{if } p2(r,t) \geq 1 \\ p2(r,t) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$p1(r,t) =$

1
1

$p2(r,t) =$

0.724
0.724

Результат: $Pb1(r,t) = p1(r,t) = 1 \qquad Pb2(r,t) = p2(r,t) = 0.724$

Рис. 4. Вычисление вероятности обнаружения объекта поиска с помощью встроенных функций распределения пакета Mathcad

Стохастическая модель поисково-спасательной операции

Исходные данные (вариант b): $V := 110 \cdot 10^3 \qquad S := 1200 \cdot 10^6 = 1.2 \times 10^9 \qquad r := 0..3000 \qquad t := 0..10$

$Me(R1) = 800 \qquad Mo(R1) = 550 \qquad Me(R2) = 600 \qquad Mo(R1) = 500 \qquad a1 := 4 \qquad b1 := 8$

Обозначения: $Me(R1) = Ro1 \qquad M(R1) = Rc1 \qquad Me(R2) = Ro2 \qquad M(R2) = Rc2$

$$Ro1 := 800 \qquad Mo1 := 550 \qquad Ro2 := 600 \qquad Mo2 := 500 \qquad Tc := \frac{b1 + a1}{2} = 6$$

Решение: $M(R) = Ro \cdot e^{\sigma^2 \cdot 0.5} \qquad Me(R) = e^{\mu} \qquad Mo(R) = e^{(\mu - \sigma^2)} = Ro \cdot e^{-\sigma^2} \qquad D = \alpha2 - M(R)^2$

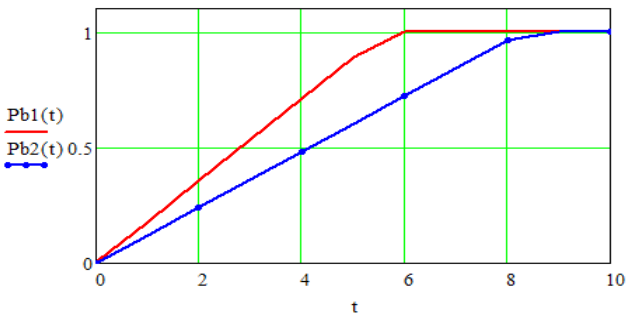
$\mu1 := \ln(Ro1) \qquad \sigma1 := \sqrt{\mu1 - \ln(Mo1)} = 0.612 \qquad \mu1 = 6.685 \qquad \sigma1 = 0.612 \qquad f1(r) := dlnorm(r, \mu1, \sigma1)$

$\mu2 := \ln(Ro2) \qquad \sigma2 := \sqrt{\mu2 - \ln(Mo2)} = 0.427 \qquad \mu2 = 6.397 \qquad \sigma2 = 0.427 \qquad f2(r) := dlnorm(r, \mu2, \sigma2)$

$F1(r) := plnorm(r, \mu1, \sigma1) \qquad F2(r) := plnorm(r, \mu2, \sigma2)$

$$Rc1 := Ro1 \cdot e^{\left[0.5(\sigma1)^2\right]} \qquad Rc2 := Ro2 \cdot e^{\left[0.5(\sigma2)^2\right]} \qquad D1 := Rc1^2 \cdot \left[\left(\frac{Rc1}{Ro1}\right)^2 - 1\right] \qquad D2 := Rc2^2 \cdot \left[\left(\frac{Rc2}{Ro2}\right)^2 - 1\right]$$

$$Pb1(t) := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{1}{S} \cdot Rc1 \cdot \left[\pi \cdot Rc1 \cdot \left(\frac{Rc1}{Ro1}\right)^2 + 2 \cdot V \cdot t\right] \geq 1 \\ \frac{1}{S} \cdot Rc1 \cdot \left[\pi \cdot Rc1 \cdot \left(\frac{Rc1}{Ro1}\right)^2 + 2 \cdot V \cdot t\right] & \text{otherwise} \end{cases} \qquad Pb2(t) := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{1}{S} \cdot Rc2 \cdot \left[\pi \cdot \frac{(Rc2)^3}{(Ro2)^2} + 2 \cdot V \cdot t\right] \geq 1 \\ \frac{1}{S} \cdot Rc2 \cdot \left[\pi \cdot \frac{(Rc2)^3}{(Ro2)^2} + 2 \cdot V \cdot t\right] & \text{otherwise} \end{cases}$$



$$Pb1 := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{1}{S} \cdot Rc1 \cdot \left[\pi \cdot Rc1 \cdot \left(\frac{Rc1}{Ro1}\right)^2 + 2 \cdot V \cdot Tc\right] \geq 1 \\ \frac{1}{S} \cdot Rc1 \cdot \left[\pi \cdot Rc1 \cdot \left(\frac{Rc1}{Ro1}\right)^2 + 2 \cdot V \cdot Tc\right] & \text{otherwise} \end{cases} \qquad Pb2 := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{1}{S} \cdot Rc2 \cdot \left[\pi \cdot \frac{(Rc2)^3}{(Ro2)^2} + 2 \cdot V \cdot Tc\right] \geq 1 \\ \frac{1}{S} \cdot Rc2 \cdot \left[\pi \cdot \frac{(Rc2)^3}{(Ro2)^2} + 2 \cdot V \cdot Tc\right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

Результаты моделирования: $Pb1 = 1 \qquad Pb2 = 0.724 \qquad Rc1 = 964.836 \qquad Rc2 = 657.267$

$qlnorm(0.05, \mu1, \sigma1) = 292.294 \qquad 1 - plnorm(292, \mu1, \sigma1) = 0.95$

$qlnorm(0.05, \mu2, \sigma2) = 297.255 \qquad 1 - plnorm(297, \mu2, \sigma2) = 0.95$

$\Delta Pb = 27.6\%$

Рис. 5. Листинг стохастической модели поисково-спасательной операции

где $a<b$ – границы временного интервала [1].

Подставив приведенные функции, с учетом их параметров в формулу (7), вычислим искомую вероятность (*рисунок 4*).

Листинг с результатами моделирования представлен на *рисунке 5*, где для удобства, приняты следующие обозначения:

$$\overline{p}_1(r_1,t) = Pb1;$$
$$\overline{p}_2(r_2,t) = Pb2;$$
$$\overline{r} = R_c \text{ и } \overline{t} = T_c,$$

а индекс (b) – это вариант исходных данных.

Из результатов моделирования видно, что из-за ухудшения условий проведения поисково-спасательных работ, обусловивших уменьшение дальности визуального обнаружения, вероятность благоприятного исхода операции за время $T=6$ час, снизилась более чем на 27% (см. *рисунок 5* $\Delta Pb=27{,}6\%$). Поэтому для обеспечения заданной эффективности операций, необходимо привлечение дополнительных поисково-спасательных средств.

Таким образом, результаты моделирования подтвердили универсальность и эффективность разработанных математических моделей с точки зрения учета ситуационных особенностей планируемых поисково-спасательных операций и их чувствительность к исходным данным. Представленные модели могут легко быть адаптированы к задачам, связанными с применением беспилотных летательных аппаратах при ведении авиационной разведки на поле боя, радиационной и технической разведки в позиционных районах соединений (дислокации войск), оценки пожарной, химической и радиационной обстановки в районах чрезвычайных ситуаций.

Литература

1. Кирьянов Д.В. Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 432 с.
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
3. Майструк А.В. Системный анализ и военное прогнозирование: учеб. пособ. Балашиха: ВА РВСН им. Петра Великого, 2017. 109 с.
4. Майструк А.В., Ногин Р.О. Математическая модель поисково-спасательной операции // Научно-технический сборник «Известия» №279. Балашиха: ВА РВСН, 2018. С.336-347.
5. Справочник по теории вероятности и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. 640 с.

УДК 004.932.2

ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЕ ГИСТОГРАММЫ НА ОСНОВЕ ОПОРНЫХ КОНТУРОВ В МЕДИЦИНСКИХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

THERMAL HISTOGRAM BASED ON MESHES IN MEDICAL THERMOGRAPHY

Андрей Константинович Никитин
инженер-программист
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: ex_nik@mail.ru

Лариса Николаевна Хижняк
кандидат медицинских наук
научный сотрудник
Институт теоретической и
экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл.,
г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: 8 (495) 632-78-69
E-mail: office@iteb.ru

Аннотация
В работе осуществляется построение тепловой гистограммы. Рассматривается способ использования геометрии сетки для наложения на медицинские ИК-изображения и построения тепловой гистограммы с использованием тепловой маски.
Ключевые слова: цифровая медицина, цифровая термография, обработка изображений.

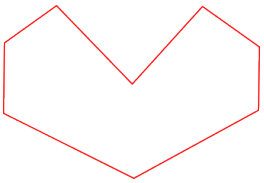
Summary
Building of thermal histogram is carried out in the current work. We consider a way to use geometry of mesh for overlay on medical IR images and building thermal histogram by using thermal mask.
Keywords: digital medicine, digital thermography, image processing.

Современная медицина развивается, предлагая все более новые подходы к анализу и диагностике состояния пациента. В подавляющем случае диагностические результаты и показания о состоянии пациента основываются на базе лабораторных анализов и исследований. Параллельно с классическими методами медицинских исследований, формируются более прогрессивные и современные направления диагностики, одним из которых является медицинский анализ термографических изображений. Применение термографического анализа изображений показало свою высокую эффективность на практике при лечении, профилактике и наблюдении большого количества заболеваний на западе [2], но пока не применяется массово в Российской Федерации. Следует отметить, что вместе с развитием методов и подходов термографического анализа изображений, развивались технологии изготовления инфракрасных сенсоров. Технологическое развитие индустрии производства инфракрасных сенсоров позволило сделать методы термографического медицинского анализа доступнее для более широких слоев населения. На сегодняшний день высокая эффективность инфракрасных исследований [1, 3] показывает достойный и устойчивый уровень развития и готова к внедрению для широкого использования. В свою очередь, эффективность инфракрасных медицинских технологий не может быть полностью раскрыта без специализированного программного обеспечения, в котором, безусловно, должны применяться современные методы подготовки и анализа данных.

В настоящей статье рассматривается формирование данных для термографических гистограмм на основе опорных контуров для точного и высокоэффективного диагностирования состояния пациента. Расчет гистограмм сложных медицинских контуров рассмотрен на примере термографических изображений.

На *рисунке 1* представлено входное инфракрасное изображение и изображение опорного контура, определенное пользователем для вычисления термографической гистограммы.

Входное термографическое изображение



Опорный контур

Рис. 1. Входные данные

Обозначим входное инфракрасное изображение как:

$$\{p_{rgb}(x,y)\}_{x=1:w,y=1:h}, \quad (1)$$

где $p_{rgb}(x,y)$ – значение пикселя в соответствующей точке входного инфракрасного изображения;

w – ширина входного инфракрасного изображения;

h – высота входного инфракрасного изображения.

Изображение опорного контура будет иметь вид:

$$\{m_{rgb}(x,y)\}_{x=1:w,y=1:h}, \quad (2)$$

где $m_{rgb}(x,y)$ – соответствующие координаты опорного контура на входном инфракрасном изображении (1);

w – ширина входного инфракрасного изображения;

h – высота входного инфракрасного изображения.

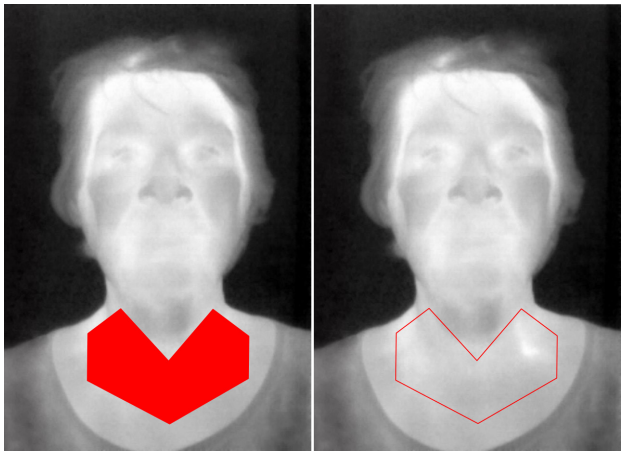


Рис. 2. Контур и опорная маска

Использование опорного контура, а не маски, обусловлено прикладной задачей, при которой медицинскому $m_{rgb}(x,y)$ специалисту необходим визуальный контроль области обработки, которая при использовании маски просто не доступна. Чтобы показать использование опорного контура наглядно, обратимся к *рисунку 2*.

На основе входного инфракрасного изображения (1) и изображения опорного контура (2) формируется обтравочный слой. Для этого определяются граничные условия области интереса для оптимизации и ограничения вычислительного процесса:

$$\begin{cases} p_x = \min(x) \in \{m_i(x,y), m_n(x,y)\} \\ p_y = \min(y) \in \{m_i(x,y), m_n(x,y)\} \\ p_w = (\{\max(x) \in m_i(x,y), m_n(x,y)\}) - p_x \\ p_h = (\{\max(y) \in m_i(x,y), m_n(x,y)\}) - p_y \end{cases}, \quad (3)$$

где p_x – смещение области интереса по оси x;

p_y – смещение области интереса по оси y;

p_w – ширина области интереса;

p_h – высота области интереса.

Используя условие (3) и изображение (1), формируется обтравочный слой:

$$\{I_{rgb}(x,y)\}_{x=p_x:p_x+p_w, y=p_y:p_y+p_h}, \quad (4)$$

причем таким образом, чтобы

$$\begin{aligned} &\forall x,y : p_{rgb}(x,y) \in \{m_{rgb}\} \Leftrightarrow \\ &\left|\forall m_{rgb}(x,y) : m_{rgb}(y) \le p_{rgb}(y)\right| = 2n+1, n \in \mathrm{Z} \Leftrightarrow \\ &\left|\forall m_{rgb}(x,y) : m_{rgb}(x) \le p_{rgb}(x)\right| = 2n+1, n \in \mathrm{Z} \end{aligned}, \quad (5)$$

где $|\ |$ – операция определения количества элементов.

В соответствии с (5), в (4) попадают все точки изображения (1), у которых по горизонтали и вертикали существует нечетное количество точек опорного контура (2). Таким образом, применяя (3) на (1) с использованием (2), получаем наложение, изображенное на *рисунке 3*.

В свою очередь обтравочный слой (4), полученный с учетом условий (3) и (5) изображен на *рисунке 4*.

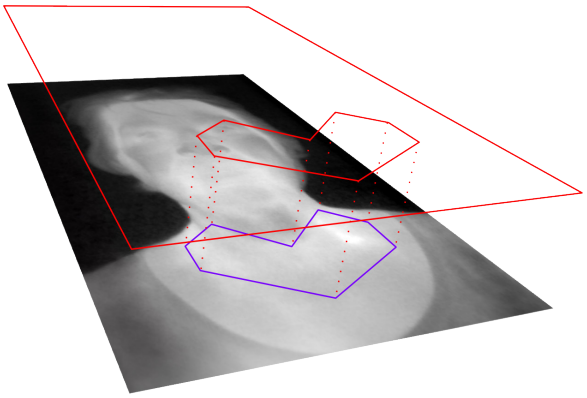


Рис. 3. Наложение условий на входные данные

Рис. 4. Обтравочный слой

С учетом (5), используя обтравочный слой (4), находим предельные отклонения:

$$\begin{cases} I_{\max} = \max(x,y) \in \{I_i(x,y), I_n(x,y)\} \\ I_{\min} = \min(x,y) \in \{I_i(x,y), I_n(x,y)\} \end{cases}, \quad (7)$$

Используя температурные характеристики изображения (1), введем коэффициенты t_{min} и t_{max} (8), отображающие предельные температурные отклонения в (1).

Таким образом, используя (7) и (8), вычисляем значение термографической гистограммы для каждого из элементов (4):

$$\forall I_{rgb}(x,y) \to H_i = \sum_{i=1}^{|I_{rgb}(x,y)|} I_{rgb}(x,y) \cdot \left(\frac{t_{\max} - t_{\min}}{2^b} \right), \quad (9)$$

где b – максимальная глубина яркости входного изображения (1);

i – индекс элемента термографической гистограммы.

Рассмотренный подход к определению термографических гистограмм позволяет использовать вместо непосредственного наложения маски формирование обтравочного слоя по опорным контурам. В свою очередь, применение обтравочных слоев, позволяет использовать опорные контуры любой геометрической формы в ортогональном пространстве, достигая при этом высокой эффективности в быстродействии при расчете гистограмм.

Литература

1. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хижняк Е.П., Хижняк Л.Н., Анализ теплового рельефа на теле человека // Технология живых систем, 2007. Т.4. №5-6. С.45-50.

2. The Medical Use of Infrared-Thermography History and Recent Applications, Reinhold BERZ, Deutsche Gesellschaft für Thermographie und Regulationsmedizin, Hilders/Rhön Helmut SAUER, Deutsche Gesellschaft für Thermographie und Regulationsmedizin, Waldbronn, Thermografie-Kolloquium 2007, Vortrag 04.

3. Thermal Imaging in Medical Science, N.Dey, A. S. Ashour, A.S.Althoupety, IGI Global, DOI 10.4018/978-1-5225-5204-8, 2017.

УДК 616

ПОРТАТИВНАЯ ПОЛЕВАЯ ПОВЯЗКА ДЛЯ НАЛОЖЕНИЯ НА РАНУ НА ПОЛЕ БОЯ

PORTABLE FIELD DRESSING FOR APPLYING TO A BATTLEFIELD WOUND

Валерий Кузьмич Курочка
заслуженный врач Российской Федерации
заслуженный врач Республики Бурятия
академик Академии проблем безопасности, обороны и правопорядка
кандидат медицинских наук, профессор
генерал-майор медицинской службы в отставке
руководитель Секции медико-биологических проблем обороны Экспертного совета Комитета ГД РФ по обороне
советник Президента
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (916) 990-38-98
E-mail: kvk1942@mail.ru

Борис Михайлович Рачков
доктор медицинских наук, профессор
консультант
Медицинский институт им. С.М. Березина
Адрес: 191144, Санкт-Петербург, 6-я Советская улица, д. 24
Тел.: +7 (960) 251-80-84
E-mail: nivaniva85@yandex. ru

Аннотация
Предлагается вариант оригинальной портативной и давящей повязки с подвижным ватно-марлевым блоком и специальными крючками-держателями, позволяющими легко закрепить ее на теле пострадавшего. Требования к повязке: должна создавать необходимый давящий эффект на рану, обеспечивать остановку кровотечения, частичное обезболивание и профилактику раневых инфекций.
Ключевые слова: военная медицина, портативная полевая повязка, ватно-марлевый блок, рана, кровотечение, обезболивание, профилактика раневых инфекций.

Summary
A version of the original portable and pressure bandage with a movable cotton-gauze block and special hooks-holders, allowing it to be easily fixed on the victim's body, is offered. Requirements for the dressing: it must create the necessary pressing effect on the wound, provide for stopping bleeding, partial anesthesia and prevention of wound infections.
Keywords: military medicine, portable field dressing, cotton-gauze block, wound, bleeding, anesthesia, prevention of wound infections.

«...в условиях большой войны достижение победы над врагом зависит в немалой степени и от успешной работы военно-медицинской службы»
Маршал Советского Союза Г.К. Жуков

В современной военной медицине есть ключевое понятие «**золотой час**» для оказания помощи раненым на поле боя. При этом, если в течение первого часа после ранения будет оказана полноценная помощь раненым, это спасет жизни 90% пострадавших. Промедление смерти подобно – задержка в оказании помощи только на два часа приводит к тому, что число выживших после ранения стремительно падает до10% [1].

Опыт Великой Отечественной войны показал, что среди раненых, умерших на поле боя, 50% погибли от кровопотери [2]. Из группы умерших от неостановленного наружного кровотечения 45,2% имели ранения бедра, а 25% – ранения голени и стопы. Основным способом остановки кровотечения на поле боя являлось наложение давящей повязки и кровоостанавливающего жгута [2].

По прошествии многих лет после Великой Отечественной войны, наглядно показавшей важность решения проблемы остановки кровотечения у раненых на поле боя и у пострадавших при других ситуациях, как основной причины их гибели, до настоящего времени основными табельными средствами остановки кровотечения остаются индивидуальный пере-

вязочный пакет (ИПП) и жгут Эсмарха, изобретенный еще в 19 веке.

По данным Всемирной организации здравоохранения, на 1 миллион человек еженедельно приходится 30 случаев внезапной смерти [3]. Значимой причиной является внезапная сердечная смерть. Число умерших в Российской Федерации от внезапной сердечной смерти составляет десятки тысяч человек в год. Другой, следующей за этой причиной внезапной смерти в России, является травма. При этом по данным исследований в России первая помощь оказывается пострадавшим менее чем в 2% случаев, в то время как мероприятия первой помощи требуются не менее чем 65% пострадавших при таких угрожающих состояниях как: травма, кровотечения, переломы, нарушения дыхания и кровообращения, термические и химические ожоги и др. По данным различных исследователей в Российской Федерации около 25% пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях, умерших до прибытия скорой медицинской помощи, имели шанс выжить, если бы им была своевременно оказана первая помощь. Поэтому дальнейшее изучение и применение максимально эффективных способов остановки кровотечения у военнослужащих и гражданских лиц, пострадавших в ДТП, при разрушениях зданий, в результате террористических актов и т.д., является и сегодня важным разделом в совершенствовании всей системы догоспитальной помощи пострадавшим.

В данной статье предлагается вариант оригинальной портативной и давящей повязки с подвижным ватно-марлевым блоком и специальными крючками-держателями, позволяющими легко закрепить ее на теле пострадавшего. Требования к повязке: должна создавать необходимый давящий эффект на рану, обеспечивать остановку кровотечения, частичное обезболивание и профилактику раневых инфекций.

Огнестрельная рана является инфицированной раной, имеет все клинические признаки воспаления и может перейти в гнойную рану, а это уже другая тяжесть течения и длительность лечения. Заживление гнойной раны протекает по типу вторичного натяжения, которое имеет длительный период лечения и иногда тенденцию к переходу в хронический процесс и к дисбалансу репаративных процессов в виде развития келоидных рубцов. Потому основной целью применения всех повязок является максимальное приближение внутренней среды открытой раны к условиям, характерным при закрытой ране.

Хорошо наложенная на рану повязка должна остановить или уменьшить потерю крови из раны за счет механического сдавления поврежденных сосудов (в результате компрессионного воздействия на ткани, окружающие рану: подкожную жировую клетчатку, мышцы и их покрывающие фасции и др.), в результате чего уменьшается ток крови в сосудах травмированной области, что снижает кровопотерю до минимума. В таком случае отпадает необходимость в наложении кровоостанавливающего жгута на конечность.

Прошедшая Великая Отечественная война показала важность владения всем личным составом элементарными медицинскими знаниями и умениями спасения раненых на поле боя, в том числе и умения накладывать кровоостанавливающие жгуты и повязки прямо на поле боя в первые минуты после полученного огнестрельного ранения, поскольку массивная кровопотеря своим последствием имеет развитие шокового состояния с последующей смертью, в лучшем случае – к нагноению раны и длительному ее заживлению.

Обучение наложению повязок на раненые конечности, голову, грудь и другие части тела человека может быть крайне полезным для предотвращения кровопотери и спасения жизни пострадавших. В предвоенные годы в СССР во всех вузах страны студенты получали медицинские навыки в рамках работы медицинской сестры или фельдшера, а по окончании института им выдавали, наряду с дипломом по основной специальности, диплом медицинской сестры или фельдшера. С началом Великой Отечественной войны тысячи бывших студентов были направлены в действующую армию. Имея необходимые врачебные знания, они успешно накладывали кровоостанавливающие повязки раненым на поле боя бойцам и офицерам, тем самым спасая их жизни.

Анализ потерь США в Ираке и Афганистане показал, что тяжелораненые бойцы имели гораздо больше шансов выжить на более поздних стадиях этих войн, чем на начальных этапах. Во многом ситуацию удавалось исправить благодаря усилиям, направленным на остановку кровопотери среди раненых. Выживаемость среди тех, кто получил наиболее тяжелые ранения, увеличилась в три раза – с почти 9% в начале войны в Ираке до 33% к концу 2017 года. В Афганистане увеличение выживаемости было еще более значительным, всего с 2% в 2001 году до 40% к концу 2017-го. Эти данные приведены в исследовании, проведенном в США профессором Техасского университета в Сан-Антонио Джеффри Ховардом. Они говорят о важности

подготовки медицинского состава по этим вопросам еще до начала боевых действий войск и они же определяют, что использование повязок на рану, кровоостанавливающих жгутов – турникетов, переливание крови перед госпитализацией и наличие транспорта для доставки пострадавшего в больницу в течение 60 минут от момента ранения, были основными факторами повышения выживаемости.

В качестве примера. Военно-медицинская служба израильской армии сегодня по праву считается одной из передовых. Недавно она усовершенствовала систему спасения жизней раненых на поле боя, сократив «золотой час» до 43 минут, что сразу привело к заметному росту числа спасенных жизней. Так, если во время Войны Судного дня в 1973 году умерли до 35% раненых солдат, то во время операции «Несокрушимая скала» в июле-августе 2014 года безвозвратные потери среди раненых не превысили 6% [1]. В Израиле считают, что проблема «золотого часа» может быть решена только в результате радикального изменения всей многоуровневой системы оказания помощи раненым. Тут важно все: индивидуальные аптечки, перевязочные средства, медицинское снаряжение, время и способы эвакуации раненых [1].

Мы также считаем, что комплексный подход к подготовке и оснащению медицинского состава войск, работающих на поле боя по спасению жизни раненых, является неоспоримым и главным в этом деле. Задача командования – обеспечить медицинский состав всем необходимым для выполнения ими своих обязанностей, включая специальную подготовку каждого по своему функциональному предназначению. Поэтому мы настоятельно рекомендуем обратить особое внимание в процессе занятий с личным составом войск по военно-медицинской подготовке на получение им навыков оперативного наложения кровоостанавливающих повязок прямо на поле боя, ибо от качества и скорости наложения повязки на поле боя зависит жизнь раненного.

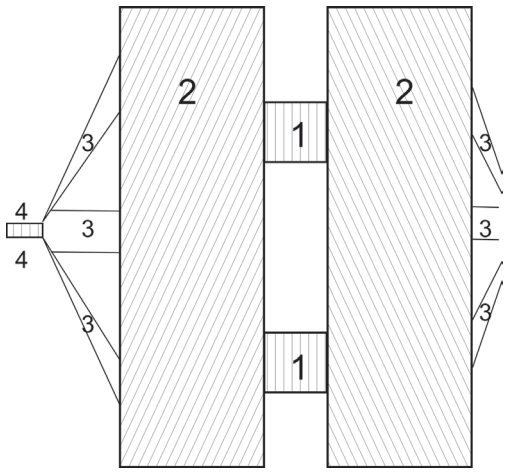


Рис. 1. Портативная полевая повязка: 1. Эластические соединители, растяжимые до 8 см. 2. Ватно-марлевая повязка размером 10х20 см (15 см). 3. Матерчатые держатели повязки (эластические). 4. Эластические держатели с крючком (или липучкой) для стягивания и фиксации повязки. 5. Поле для отметки времени наложения повязки. Размеры (длина и ширина) повязок должны быть разные в зависимости от места раны (нога, рука, шея, голова)

С целью ускоренного наложения повязки на рану пострадавшего предлагается использовать оригинальную портативную повязку, предложенную авторами статьи. Повязка состоит из двух ватно-марлевых блоков, соединенных друг с другом эластическими соединителями, позволяющими создать сдавливающий эффект на мягкие ткани верхней или нижней конечности, или черепа и легко сомкнуть эти блоки вокруг раневой поверхности с помощью специальных держателей с крючком (*рисунок 1*).

Наложение такой повязки на рану конечности займет не более одного-двух десятков секунд, тогда как традиционное бинтование раненой конечности или головы требует гораздо большего времени. К тому же во время осадков бинтовая повязка намокает, что создает условия для нагноения раны. Для профилактики нагноения раны внутренняя поверхность портативной повязки должна заранее быть обработана противовоспалительными и кровоостанавливающими препаратами.

Наложение такой повязки на раны головы также проводится очень быстро (*рисунок 2*). Выполнение той же задачи путем бинтования на поле боя требует перемещения головы или ее фиксации руками бинтующего человека, так как часто ранения в голову приводят к потере сознания пострадавшего и его обездвиженности. Заметим, что все это происходит на поле боя и связано с опасностью для жизни оказывающего

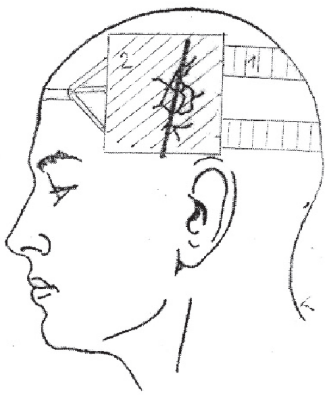


Рис. 2. Схема наложения повязки, используемой при ранении головы

помощь медицинского работника или товарища, поскольку он должен находиться в положении «сидя», представляя собой удобную мишень для снайпера. Предлагаемая же портативная полевая повязка может накладываться оказывающим помощь в положении «лежа», что существенно уменьшает опасность подвергнуться снайперскому выстрелу, поскольку в лежащих на земле бойцов снайпер, как правило, не стреляет («лежачих не бьют»).

В случае промокания повязки кровью можно наложить вторую такую же повязку на предыдущую и сильнее стянуть ее крючками, что увеличит силу сдавливания кровоточащих сосудов и приведет к прекращению кровотечения.

Такую повязку можно легко и быстро наложить на рану лобной области, теменно-височной и затылочной области, а практика применения ее на различных учениях показывает, что медицинскому персоналу на этапах эвакуации пострадавшего в случае необходимости быстро и просто снять ее и заменить на другую. Такая необходимость может возникнуть в случае подозрения на усиление кровотечения или при направлении раненого для хирургического лечения в специализированный нейрохирургический госпиталь с целью удаления пули, осколка снаряда или гематомы.

Различные ранения верхних и нижних конечностей часто сопровождаются травмой крупных сосудов и нервов. Ранения сосудов конечностей требуют незамедлительного наложения давящей повязки или жгута. Так, в нижней части бедра и в подколенной ямке проходят крупные сосуды и нервные стволы, ранение которых приводило ко многим тяжелым осложнениям вплоть до паралича голени и стопы, отеку или гангрене. Ранения и повреждения структур передне-верхней трети бедра таит в себе угрозу повреждения крупной бедренной артерии и ветвей бедренного нерва, имеющих очень важное значение в обеспечении двигательной функции бедра и всей нижней конечности, что может привести к полному параличу конечности или гангрене.

Поэтому раны этой области требуют особого внимания и самого высокого уровня их лечения, тщательности в наложении кровоостанавливающих повязок. И в этих случаях может быть полезно использование портативной полевой повязки (*рисунок 3*). При отсутствии промокания поверхности повязки кровью отпадает необходимость в наложении кровоостанавливающего жгута.

Может быть так, что наложенная портативно-полевая повязка на область бедра (*рисунок 4*) начнет смещаться под влиянием сокращения мощных мышц. Тогда ее положение следует укрепить липким пластырем, наложенным выше верхнего края и ниже дистального края повязки с таким расчетом, чтобы полосы липкого пластыря пришлись на кожные покровы по длине не менее 10 см, что существенно укрепит повязку.

Несомненно, навыки по применению такой повязки у медицинского состава и личного состава воинских частей следует прививать на занятиях по ВМП.

Сроки нахождения портативных повязок на поврежденных конечностях должны определяться врачами воинских частей при работе в условиях боевых действий и оказании медицинской помощи на поле боя и на этапах медицинской эвакуации раненых.

Рис. 3. Наложение повязки на рану при ранениях нижней конечности: а) на область подколенной ямки (1 – седалищный нерв, 2, 3 – сосуды); б) на область верхней трети голени)

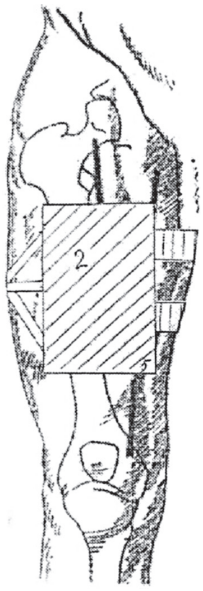


Рис. 4. Наложение повязки на область ранения бедра

Литература

1. Шульман А. Заметки по еврейской истории, №6. 21.06.2012.
2. Опыт советской медицины в Великой Отечественной войне 1941-1945гг. М: Медгиз, 1953. Т.3. С.171-172.
3. 10 ведущих причин смерти в мире // Информационный бюллетень Всемирной организации здравоохранения, 2017. С.18.

УДК 377

ПОДХОД К АДАПТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ОСВОЕНИЕМ ГРАММАТИКИ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА СТУДЕНТАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

APPROACH TO THE ADAPTIVE MANAGEMENT OF LEARNING FOREIGN LANGUAGE GRAMMAR BY TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS

Лилия Германовна Вахрова
старший преподаватель кафедры «Иностранные языки»
Московский автомобильно-дорожный государственно-технический университет (МАДИ)
Адрес: 125319, Москва, Ленинградский проспект, д. 64
Тел.: 8 (499) 346-01-68
E-mail: vakhrova@yandex.ru

Аннотация
В статье рассматриваются вопросы адаптивного управления освоением грамматики иностранного языка студентами технического университета. Даются рекомендации по интеграции материала учебника английского языка для инженеров авторов Т.Ю. Поляковой, Е.В. Синявской, О.И. Тынковой, Э.С. Улановской и теоретической и практической частями тренажера «Профессор Хиггинс. Английский без акцента».
Ключевые слова: качество образования, интернет-технологии обучения, тестовый контроль, интеграция, адаптивное управление.

Summary
The article deals with adaptive management issue of learning foreign language grammar by technical university students, also it provides recommendations on integration of the textbook materials «English for Engineers» by authors T.Y. Polyakova, E.V. Sinyavskaya, O.I. Tynkova, E.S. Ulanovskaya and the theoretical and practical parts of the multimedia trainer «Professor Higgins. English without accent».
Keywords: quality of education, online learning technology, test control, integration, adaptive management.

Внедрение на различных уровнях высшего образования новых методов обучения и воспитания, образовательных технологий, обеспечивающих освоение обучающимися базовых навыков и умений, повышение их мотивации к обучению и вовлечённости в образовательный процесс – таковы основные задачи, решаемые в ходе реализации национального проекта «Образование» [1]. И именно интеграция новых методов обучения студентов и их мотивации к обучению является одним из приоритетных направлений совершенствования образовательного процесса в вузах.

Немаловажная роль в обучении студентов технических вузов отводится освоению студентами иностранных языков, которые позволят их использовать для получения новых знаний. Использование новых информационных технологий, в частности, внедрение мультимедийных учебников английского языка (English Gold, English Platinum, EnglishToday и др.), создание медиатеки с участием самих студентов, материалов интернета, в том числе и обучение online, общение в чатах, составление компьютерных тестов преподавателями кафедры, а также разработка материалов учебно-методического пособия по применению мультимедийного тренажера «Профессор Хиггинс. Английский без акцента», охватывающего разделы грамматического материала, предусмотренные учебником английского языка для инженеров авторов Т.Ю. Поляковой, Е.В. Синявской, О.И. Тынковой, Э.С. Улановской [2] – всё это позволяет студентам находить ответы на интересующие их вопросы и совершенствовать знания.

Быстрый доступ как к материалу учебника, так и к содержанию теоретической и практиче-

Таблица 1
Фрагмент таблицы

Английский для инженеров			Мультимедийный тренажер «Профессор Хиггинс»			
Раздел, тема	Параграф	Грамматический материал	Раздел	Упражнение	Задание к упражнению	Ключи
Unit 1. Value of Education	4	Степени сравнения прилагательных и наречий	X(7)	1	Дополните предложения, употребляя сравнительную степень слов в скобках.	1- brighter than; 2- bigger than; 3- warmer, - than; 5- lighter than; 6-better,- than; 7- larger than; 8- better, than; 9- more than.
			X(8)	2	Вставьте слова в нужной форме	1. John is more generous than his father. 2. The movie was better tnan the book. 3. part of the country is drier than the eastern part. 4. which is longer the Mississippi river or the Amazon 5. I think Dorothy is younger than she pretends to be.

ской части мультимедийной образовательной программы можно обеспечить с помощью данных, представляемых в табличной форме [3], фрагмент которых приведен в *таблице 1*. Там же обозначены задания к упражнениям и ключи к ним.

Ежегодный входной контроль показывает, как разнятся знания поступивших в вуз. Если учесть, что новое поколение студентов, поколение *Z*, зачастую талантливое и заинтересованное в технике, разбирающееся в ИКТ, но со знанием иностранного языка ниже уровня своих сверстников с гуманитарным уклоном, то перед преподавателем встает первоочередная задача восполнения пробелов в знаниях обучающихся.

Первые уроки учебника для инженеров предполагают повторение школьного базового курса по иностранному языку. Обращение к тренажеру сокращает время повторения и закрепления грамматического материала, если воспользоваться следующим порядком, указанным в таблице «Подготовка и контроль студентов по грамматике английского языка с использованием мультимедийного тренажера «Профессор Хиггинс».

После работы с грамматическими правилами, упражнениями по учебнику проводится отработка материала с его контролем на компьютере; определяется рейтинг студентов, исходя из количества допущенных ошибок. Далее формируются дополнительные задания, вносятся, если это необходимо, коррективы в планирование изучения грамматики. Окончательное закрепление материала, тренировочные и контрольные упражнения на тренажере дают значительно лучший результат, что подтверждается ежегодными исследованиями, проводимыми в группах студентов 1 курса. Независимо от уровня подготовки абитуриентов, а также выбранного ими факультета, результат оказывался намного лучше в сравнении с параллельными группами, в которых проводилась проверка. Статистика в среднем показывает повышение качества усвоения грамматического материала не менее чем на 50%.

Исходя из практического опыта, владение грамматической компетенцией как одной из базовых компонентов коммуникативной компетенции дает студенту значительное преимущество в устной и письменной речи, открывает ему доступ к переводу технических текстов с английского языка на русский, что является важной составной частью подготовки квалифицированного инженера.

Поэтапная технология формирования указанной компетенции стимулирует развитие её когнитивного, деятельностного, мотивационного и рефлексивного компонента. Занятия на тренажере побуждают познавательную деятельность студентов, благодаря самостоятельной возможности проверить свой уровень знаний в определенном разделе грамматики, получив ответы сразу или после 2 попыток выполнения задания. При необходимости найти разъяснения в теоретической части тренажера, обучаемый, не испытывая беспокойства перед возможностью получить на данном этапе неудовлетворительную оценку преподавателя, имеет возможность сам восполнить свои пробелы в знаниях. Легкий доступ к справочной литературе с демонстрацией наглядных примеров, вывод статистических данных по результатам контроля на экран активизирует познавательную и мыслительную деятельность обучающихся.

Кроме того нельзя не отметить, что положительная сторона использования заданий - тестов в практике преподавания, быстрота контроля за уровнем подготовки студентов, возможность существенно снизить эмоциональную нагрузку на преподавателя и студентов, широкий охват материала – это те дополнительные возможности, которые даёт нам рассматриваемая мультимедийная программа. При организации обучения грамматике согласно вышеизложенной последовательности создается возможность адаптивного управления освоением грамматики иностранного языка студентами путём гармоничного взаимодействия двух систем – системы преподавания и системы учения, обеспечивающих динамичное развитие предметных знаний, умений и навыков и контроль с последующей корректировкой и закреплением пройденного. Алгоритм адаптивного управления освоением грамматики представлен на *рисунке 1*.

Предлагаемый алгоритм адаптивного управления освоением грамматики иностранного языка студентами технического университета внесёт определенный вклад в решение одной из важнейших задач наших дней: улучшения качества образования, что, безусловно, влияет на развитие потенциала всей страны.

Рис. 1. Алгоритм адаптивного управления освоением грамматики

Литература

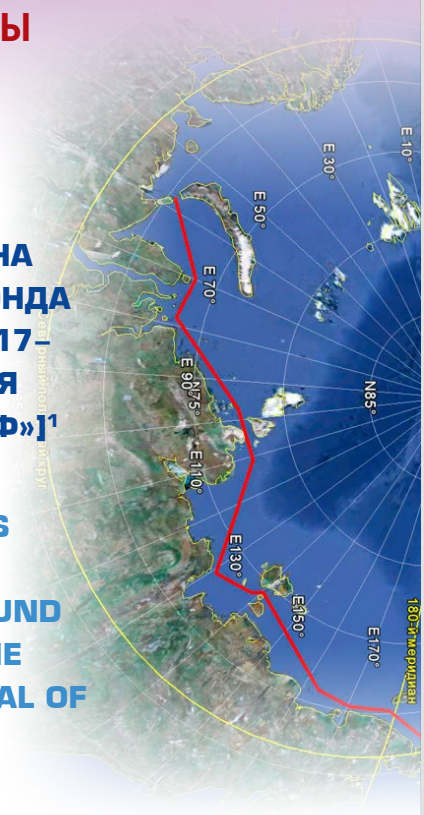
1. Национальный проект «Образование» [Электронный ресурс] / Министерство просвещения Российской Федерации. Раздел «Национальный проект «Образование»» URL: https://edu.gov.ru/national-project/

2. Английский язык для инженеров: Учеб./ Т.Ю. Полякова, Е.В. Синявская, О.И. Тынкова, Э.С. Улановская. 7-е изд., испр. М.: Высшая школа, 2007. 463с.

3. Профессор Хиггинс. Английский без акцента! Версия 3.45 [Электронный ресурс]: мультимедийная обучающая программа / ЗАО «ИстраСофт». - Электрон. текстовые дан. Прогр. Истра: ИстраСофт, 2002. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): цв., зв. + 2 л. вкл. - (1С Образовательная коллекция).

УДК 332.1

ЭКОЛОГО-СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: ДРАЙВЕРЫ ЭКОЛОГИЗАЦИИ[СТАТЬЯ ПОДГОТОВЛЕНА ПРИ ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ РОССИЙСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОЕКТ № 17-02-00683 «УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ»][1]



ECOLOGO-SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION: DRIVERS OF ECOLOGIZATION[THE ARTICLE IS PREPARED WITH ASSISTANCE OF THE RUSSIAN FEDERAL PROPERTY FUND (PROJECT NO. № 17-02-00683 «CONDITIONS FOR THE USE AND DEVELOPMENT OF THE RESOURCE POTENTIAL OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION»][2]

Елена Петровна Воронина
кандидат экономических наук, доцент
старший научный сотрудник
Институт системного
анализа ФИЦ ИУ РАН
Адрес: 119333, Москва,
ул. Вавилова, д .44, корп. 2
Тел.: +7 (499) 135-62-60
E-mail: vep73@rambler.ru

Аннотация
В настоящие время Россия осуществляет реализацию приоритетных проектов на территории Арктической зоны РФ, играющих важную социально-экономическую роль в развитии национальной экономики. В статье рассматривается процесс трансформации арктической экономики на основе «зеленых» стандартов с помощью драйверов экологизации для эколого-социо-экономического развития арктических территорий в условиях глобальных изменений климата и возрастающих техногенных нагрузок.
Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации, трансформация арктической экономики на основе «зеленых» стандартов, драйверы экологизации.

Summary
At present, Russia is to implement priority projects in the Arctic zone of the Russian Federation, representing an important socio-economic role in the development of the national economy. The article discusses the process of transformation of the Arctic economy based on «green» standards through drivers of ecologization for the ecologo-socio-economic development of the Arctic territories in the context of global climate change and increasing man-made pressures.
Keywords: Arctic zone of the Russian Federation, the transformation of the Arctic economy based on «green» standards, drivers of ecologization.

В настоящее время идеи экономической, социальной и экологической сбалансированности развития, гармонизации природы и общества – уже не новы, однако трансформация экономики на основе «зеленых» стандартов и доминанта системного развития приобретают особую актуальность для эколого-социо-экономического развития российского общества с учетом глобальных тенденций макросреды.

Россия – крупнейшая арктическая держава, своей историей, основными жизненными интересами тесно связанная с Арктикой. Арктиче-

[1] Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-02-00683 «Условия использования и развития ресурсного потенциала Арктической зоны РФ»
[2] The article is prepared with assistance of the Russian Federal Property Fund (project No. № 17-02-00683 «Conditions for the use and development of the resource potential of the Arctic zone of the Russian Federation»

ская зона Российской Федерации (АЗРФ) – особый регион, вместе с морской экономической зоной и континентальным шельфом занимает 30% территории страны. Интерес к Арктике, ее проблемам и путям их решения вполне естествен и весьма значителен, что обусловлено, во-первых, геополитическими, экономическими и социальными масштабами присутствия страны в указанном регионе, во-вторых, арктические проекты представляют важную социально-экономическую роль в развитии национальной экономики.

Рассматривая регион как сложноструктурированое образование с многомерными и многоаспектными связями, неправомерно ограничиться разрешением проблем только экономической эффективности функционирования, региональный процесс воспроизводства включает также воспроизводство самого человека и качества окружающей его природной среды. Сбалансированное развитие региона включает три равнозначные составляющие: экономическую, социальную и экологическую, взаимообусловленность которых постоянно возрастает. В последнее время природный фактор (качество окружающей среды) все ощутимее влияет на размещение производительных сил. Социально-экономическое развитие должно приобрести ориентацию на достижение гармонии между обществом и природой и в целом приобрести характер экоразвития.

Для решения проблем охраны окружающей среды и рационального природопользования необходим междисциплинарный синтез знаний: экономико-социодемографические, эколого-экономические, энерго-экономические. При таком подходе сбалансированное социально-экономическое развитие регионов, для которого выбираются рациональные принципы и методы управления, рассматривается как коэволюционное развитие природы и общества [1]. Важнейшими принципами такого развития считаются: сохранение высокого качества окружающей среды, экономический рост при равновесном природопользовании, решение социальных проблем (создание благоприятных условий жизни). Равновесное природопользование ориентировано на сбалансированное потребление и воспроизводство природных ресурсов, качество социальной среды выражается в повышении благосостояния, улучшении качества жизни при выделении необходимых ресурсов для поддержания экологического баланса, что возможно лишь на основе эффективного, экологически безопасного экономического развития. При этом важно принимать во внимание два обстоятельства. Во-первых, экономический рост усиливает антропогенное воздействие на природную среду путем изъятия ресурсов. Во-вторых, внедрение только безотходных, ресурсосберегающих и природоохранных технологий не решает проблемы сохранения равновесного состояния экосистем при эксплуатации (сверх допустимых пределов) природных ресурсов. В качестве политики сбалансированного природопользования должно выступать выявление и сохранение таких характеристик природной среды, которые определяют ее способность поддерживать устойчивость, вернее коэволюционное развитие природы и общества.

При этом следует заметить, что на протяжении многих лет в регионах России наблюдаются приводящие к негативным воздействиям факторы: существенная разбалансированность и несогласованность коэволюционного развития, дисбаланс между экономическим ростом и рациональным природопользованием.

Природно-климатические и демографические особенности, отраслевая специфика, неравномерность обеспечения основными средствами производства и неразвитость инфраструктуры обусловили направления развития АЗРФ. В настоящее время прослеживается отсутствие согласованности отраслевого и территориального управления эколого-социо-экономическим развитием, что является одной из главных причин существующих диспропорций. Для существующей практики планирования и управления характерно преобладание ресурсно-отраслевого подхода. Парадигмой социально-экономического развития арктических регионов РФ должны стать знание, инновации, модернизация, в интересах национальной безопасности, сбалансированного природопользования, сбережения уникальных экологических систем Арктики и ее жизнеспособности.

Соответственно, приоритетными направлениями трансформации экономики должны быть инновации, в том числе природоохранного характера, которые вносят глубокие изменения в характер труда и производства, а также в средства и форму удовлетворения материальных и духовных потребностей человеческого капитала, включая и природные блага, формирующие среду обитания людей, их здоровье и отдых. В связи с этим, возникает насущная потребность в применении более современных экологически чистых технологий, создании новых высокотехнологичных производств, внедрении более высоких требований в области охраны окружающей среды при осуществлении хозяйственной деятельности. Необходима трансформация эко-

номики на основе «зеленых» стандартов, с учетом устойчивого природопользования и экоэффективности, что обусловлено рядом причин:

● обеспечение национальной экологической безопасности, целями государственной политики являются сохранение и восстановление природной среды, обеспечение качества окружающей среды, необходимого для благоприятной жизни человека и устойчивого развития экономики, ликвидация накопленного вреда окружающей среде вследствие хозяйственной и иной деятельности в условиях возрастающей экономической активности и глобальных изменений климата [2];

● сбалансированное решение задач устойчивого природопользования и экоэффективности на перспективу, необходимость сохранения благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потенциала в целях удовлетворения жизненных потребностей, как ныне живущих, так и будущих поколений людей;

● жизненно важным условием экологически сбалансированного развития является интеграция природоохранных целей в экономические и отраслевые подходы (например, в таких отраслях, как энергетика, добыча природных ресурсов, транспорт, жилищно-коммунальный комплекс), необходима экологизация видов и результатов хозяйственной деятельности, что позволит снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду и уменьшить вредное воздействие на здоровье населения.

Трансформация социально-экономической системы задается определенными драйверами и должна исходить из тенденций развития социально-ориентированного общества, нацеленного на экономически, экологически и социально эффективном взаимосвязанном сочетании элементов общества. При этом следует обратить внимание, что социально-экономической система – сложно структурирована и образуется разнородными, но очень взаимообусловленными элементами, и ослабление какой-нибудь связи неизбежно влечет за собой снижение уровня целостности всей системы. Целостность социально-экономической системы в значительной степени обусловлена влиянием множества процессов, которые обычно рассматривается с точки зрения совокупности целей.

Следовательно, эколого-социо-экономическое развитие должно опираться на коэволюционное развитие, с соблюдением обязательных требований экологизации. Для этого необходимо институциональные и структурные изменения, реализуемые путем использования различных механизмов. При этом драйверами в системе институтов выступают перспективные направления реформирования нормативной базы экологической политики и хозяйственной деятельности, драйверы структурных преобразований – инновации и инвестиции, то есть инвестиционные проекты на основе государственно-частного партнерства для выработки и внедрения инноваций с помощью научно-образовательные учреждений и бизнес-структур. Соответственно, драйверами эколого-социо-экономического развития должны выступать: совершенствование организационных и экономических инструментов рационального природопользования и охраны окружающей среды; достижение социальной обеспеченности (улучшение среды обитания человека); использование высоких технологий субъектами деятельности для экологичности процессов производства.

Выделяют четыре основных направления экологизации социально-экономического развития *(рисунок 1)* [3]:

● *«экология производства»*, в основе которого – поэтапное сокращение уровней воздействия на окружающую среду от всех антропогенных источников

● *«экология человека»*, предусматривающая создание экологически безопасной и комфортной среды проживания населения, мест его работы и отдыха, иной социальной активности;

● *«экология бизнеса»*, включающая создание эффективного экологического сектора экономики: конкурентоспособный бизнес в области машиностроения, бизнес-девелопмента, экологического консалтинга, широкое внедрение экологического менеджмента, организации мониторинга динамики экологических показателей экономики.

● *«экология природной среды»*, предусматрива-

Рис. 1. Направления экологизации

ющая сохранение и защиту природной среды, основанных на применении новых методов территориального планирования, землепользования и застройки, учитывающие экологические ограничения.

Экологизация социально-экономического развития является системой, обусловленной последовательностью процессов и базирующейся на взаимосвязи и взаимообусловленности всех ее направлений (*рисунок 2*).

Барьерами эколого-социо-экономического развития арктической зоны России являются ее чрезвычайно ранимая природа, специфические качества природной среды, влияющие на все виды деятельности человека и связанные с этим экологические ограничения хозяйственной активности. Этим обусловлена необходимость использования адаптированных к арктическим условиям современных технологий и экологически дружественных систем природопользования, что накладывают на хозяйственную деятельность в арктической зоне особые требования в части экологической дисциплины экономического поведения.

В связи с этим возникают новые задачи для экономической деятельности в Арктике в соответствии современным геополитическим и экономическим требованиям по защите окружающей среды для поддержания природного потенциала и экологичности процессов производства. Что подразумевает применение эффективных технических и технологических решений, координацию деятельности ресурсопользователей, их взаимодействие при разработке программ экономического развития и перспективного планирования, поддержка и внедрение ресурсосберегающих и природоохранных технологий

Специфика подготовки и осуществления арктической деятельности обусловлена физико-географическими и природно-климатическими особенностями, с учетом низкой устойчивости экологических систем, которые нужно учитывать вместе с социальными, экономическими и научно-техническими факторами. Соответственно, активизация промышленной деятельности в АЗРФ в современной геоэкономической обстановке (в первую очередь из-за введения санкций в отношении России с 1 августа 2014 г. на поставку оборудования для глубоководной разведки и добычи нефти, работ на Арктическом шельфе, а с 12 сентября 2014 г. запрещено предоставлять услуги для таких проектов [4]) возможна только на основе использования результатов фундаментальных исследований и достижений прикладной науки, новейших инновационных технологий.

Рис. 2. Система экологизации социально-экономического развития

Таблица 1

Область применения	Материалы	Результат драйверов экологизации
Морские, речные суда ледового класса (перевозка людей, грузов, спасательные операции, ледовая разведка): ледоколы, включая атомные; наливные танкеры и газовозы; буксиры; грузовые транспортные суда, контейнеровозы Полярная авиация (перевозка грузов и людей, экстренная эвакуация людей; ледовая, геофизическая и поисковая разведка): самолёты; вертолёты; беспилотные летательные аппараты; аэросани; суда на воздушных подушках и экранопланы	Металлы: металлы и сплавы Керамика: термостойкие стёкла для систем сигнализации спасательных средств, для различных покрытий и изделий Полимеры: высокомолекулярные материалы; фторорганические антиобледенительные покрытия; гидрофобные полимерные и олигомерные материалы; морозостойкие и огнестойкие резины Горюче-смазочные материалы: жидкие топлива и смазки, работающие при отрицательных температурах Композиты: металлические, керамические, полимерные композиционные материалы (КМ) для несущих конструкций; композиционные протекторные гидро- и льдофобные покрытия	Предотвращение экологических катастроф. Обеспечение безопасности перевозок
Добыча и транспортировка углеводородов горнодобывающая техника; вспомогательное оборудование; специальные виды техники	Металлы: стали с достаточной прочностью и морозостойкостью; стали антикоррозионные; металлы и сплавы со специальными функциональными свойствами; трубные стали, долотные стали, наплавочные материалы для упрочнения рабочих поверхностей буровых долот; свариваемые материалы Полимеры: СВМПЭ (с высокой ударной вязкостью, трещиностойкостью); радиационно-модифицированный ПТФЭ с повышенными эксплуатационными характеристиками; нефте-, топливо- и морозостойкие резины Композиты: МКМ/ ПКМ, твёрдые сплавы; клеи, герметики, компаунды; защитные покрытия	Предотвращение экологических катастроф Охрана труда и обеспечение техники безопасности
Материалы для строительства жилых и производственных помещений и дорог	Металлы: металлы, сплавы (в том числе обычные стали) Полимеры: термопласты и морозостойкие пластики; клеи и герметики для низких температур, сетки для дорожных покрытий (геотекстиль) Композиты: ПКМ (в том числе гибрид пластиков с резиной); кровельные материалы; гидрофобные материалы, устойчивые к перепадам температур; композиты на основе льда; железобетон с достаточной прочностью и морозостойкостью; хладостойкие строительные композиционные материалы; композиционные теплоизоляционные материалы на основе минеральных армирующих наполнителей; атмосферостойкие, антикоррозионные, декоративные покрытия	Обеспечение комфортных условий проживания, условий проезда и работы жителей

На сегодняшний день значительная часть техники и высокотехнологичного оборудования, использующегося для осуществления арктических проектов России, разработана и выпущена иностранными производителями. Однако, в рамках импортозамещения и при применении современных российских научных разработок возможен долгосрочный эффект для технологического развития в большом числе отраслей России. В данном случае, может быть достигнут значительный результат в экологизации производственной деятельности в Арктике (энергетике, транспорте, добыче и освоении природных ресурсов, систем жизнеобеспечения). В качестве примера можно рассмотреть возможные варианты экологизации экономической и социальной деятельности, улучшения качества среды обитания общества и биоразнообразия АЗРФ на основе высокотехнологичных разработок российских ученых по арктическому материаловедению (*таблица 1* [5]).

Для арктической зоны проблема эколого-социо-экономического развития прежде всего основана на оценке специфики этого региона, которая неизбежно будет влиять на все процессы хозяйствования, и на анализе взаимообусловленных социальных, экономических, научно-технических и экологических факторов развития.

В принципиальном отношении использование природных ресурсов арктических территорий, обеспечение достойного уровня жизни населения и организация хозяйственной деятельности в соответствии с природно-экологическими условиями представляет собой сложную целостную интегрированную систему (*рисунок 3*).

Эколого-социо-экономическое развитие АЗРФ есть последовательность действий, когда каждый шаг обеспечивает реализацию последующего шага, интеграции и кооперации механизмов обеспечения, применении административных, технологических, правовые рычагов для повышения эффективности управления.

В связи с активизацией промышленной деятельности в АЗРФ, представленной в качестве национальных проектов, значимость экологически ответственного хозяйственного поведения и соблюдения требований охраны природной среды особенно значимы, в связи с опасностью глобальных климатических изменений и их влияния на многолетнемерзлые породы, развитие опасных природных процессов, увеличение уровня рисков и масштабов ущерба от техногенных аварий и природных катастроф.

Хозяйство арктических территорий должно в большей мере основываются на прогрессивных научно-технических достижениях в области химии, физики, микробиологии и других наук. Освоение Арктики с экстремальным и сложным климатом выражается не столько в увеличении численности населения и трудовых ресурсов, росте ВРП, сколько в активной работе по освоению и использованию новых знаний, во внедрении прогрессивных технологий. Необходимо усиление связи в системе «наука-производство» – организации научно-технической и инновационной деятельности, в своевременной реакции на научно-технические достижения и использовании их для оптимизации осуществления арктических проектов.

Таким образом, можно отметить, что эколого-социо-экономическое развитие во многом зависит от адаптивной и успешной трансформации экономики на основе «зеленых» стандартов с помощью драйверов экологизации, которые

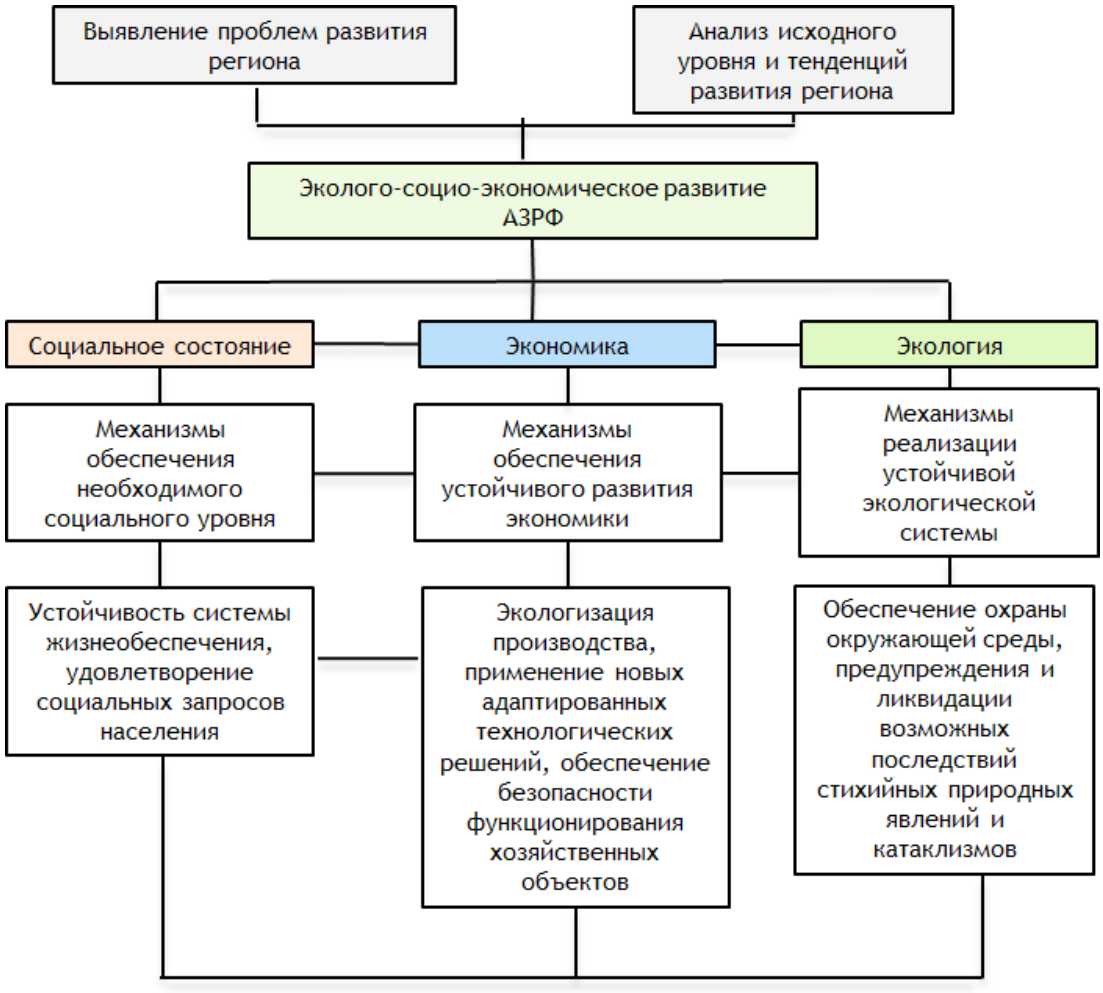


Рис. 3. Эколого-социо-экономическое развитие АЗРФ

позволяют системно организовать природную среду, экономическую и социальную деятельность, снять между ними противоречия и обеспечить устойчивость, сбалансированность и социальную ориентацию функционирования. Указанная система является современной формой организации жизни общества интеграционно-синтезирующего характера. В сущности, происходит формирование новой среды обитания, в котором все четыре направления экологизации должны во всех отношениях реализовывать свой потенциал и свои возможности. Драйверы эколого-социо-экономического развития модифицируют эту среду от старого формата взаимодействия общества и природы к новому, способствуют расширению и углублению взаимосвязей и взаимозависимостей между элементами, всеми сферами общества и в результате дают существенный экономический и социальный эффект. Все это позволяет наиболее эффективно удовлетворять материальные и духовные потребности населения, рационально осуществлять общественное воспроизводство. Соблюдение всех требований к экологичности хозяйствования в Арктике станет одновременно и экзаменом на зрелость, и существенный резерв развития экономики страны, так как наукоемкие отрасли способствует формированию высокопроизводительной материально-технической базы, способствуют переходу от чистого сырьевого к ресурсно-инновационному сценарию развития

Литература

1. Лаженцев В.Н. Методологические подходы к стратегическому планированию устойчивого развития территориальных хозяйственных систем // Известия Коми научного центра УрО РАН, 2013. Вып.1(13).
2. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года // URL: http://docs.cntd.ru/document/420396664
3. Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года (распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 №1662-р (ред. от 08.08.2009) «Об утверждении концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года»// URL: http://www.consultant.ru/online/base/?req=doc;base=LAW;n=90601
4. Приоритеты России в Арктике. Специальный доклад к Международному форуму технологического развития «Технопром-2016» // Новосибирск, 2016. 64с.
5. Бузник В.М., Каблов Е.Н. Состояние и перспективы арктического материаловедения //Вестник Российской академии наук, 2017. Т. 87. №9. С.827-839.
6. «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (утв. Президентом РФ 30.04.2012)/ URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&cacheid=A9202CF15464BE4BB2C2B27829B797D7&mode=backrefs&div=LAW&opt=1&SORTTYPE=0&BASENODE=1-1&ts=1720215516322521296 4&base=LAW&n=129117&rnd=082BFBDC8D315A2CB1BDA42A599A28D5#3x14x20k3ts

УДК 001

НОВЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ ИЗДАНИЙ ВЫШЕЛ – ЧТО ЖЕ ДАЛЬШЕ?

NEW LIST OF PEER-REVIEWED PUBLICATIONS HAS BEEN RELEASED – WHAT'S NEXT?

Николай Михайлович Емелин
заслуженный деятель науки и техники РСФСР
доктор технических наук, профессор
главный научный сотрудник
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 117997, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7 (499) 706-81-24

Аннотация
Проведен экспресс-анализ нового Перечня рецензируемых изданий, его качественная и количественная оценка. Предлагаются подходы к формированию и контролю качества Перечня.
Ключевые слова: рецензируемые научные издания, перечень, научные специальности, диссертационные советы, оценка, рейтингование.

Summary
The dynamics of changes in the new List of peer-reviewed publications, its qualitative and quantitative assessment are considered. Approaches to implementation of quality control of the List are proposed.
Keywords: peer-reviewed scientific publications, list, scientific specialties, dissertation councils, assessment, rating.

Вышел Перечень рецензируемых изданий (от 7 мая 2019 г., *https://vak.minobrnauki.gov.ru*), сформированный в соответствии с требованиями приказа Минобрнауки от 12 февраля 2018 г. №99. Как мы и прогнозировали [1], Перечень растет: теперь в нем 2348 изданий.

И осталась только одна научная специальность:

- 02.00.12 (Бионеорганическая химия),

по которой нет ни одного журнала в Перечне, а по специальностям:

- 01.03.03 (Физика Солнца);
- 01.03.04 (Планетные исследования);
- 02.00.09 (Химия высоких энергий);
- 02.00.14 (Радиохимия) –

всего по два журнала.

В целом, продолжается рост количества журналов по специальностям. Самое большое представительство принадлежит специальностям:

- 08.00.05 (Экономика и управление народным хозяйством) – 377 журналов;
- 08.00.10 (Финансы, денежное обращение и кредит) – 192 журнала;
- 13.00.08 (Теория и методика профессионального образования) – 178 журналов;
- 12.00.01 (Теория и история права и государства; история учений о праве и государстве) – 166 журналов.

Вроде, многовато. Но журналы, входящие в Перечень, работают для диссертационных советов по заявленным специальностям. Вот и надо смотреть с этих позиций на их достаточность или избыточность.

Для этого предлагается использовать показатель избыточности журналов по отдельным специальностям – отношение количества журналов, входящих в Перечень, к количеству диссертационных советов по этим специальностям. Анализ значений показателя избыточности показывает, что можно выделить зону внимания (показатель избыточности находится в пределах 10-17) и зону повышенного внимания (показатель избыточности равен 18 и более).

В зону внимания попадают журналы по 23 специальностям:

- 01.04.18 (Теплофизика и теоретическая теплотехника);
- 05.11.10 (Приборы и методы для измерения ионизирующих излучений и рентгеновские приборы);
- 05.23.19 (Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства);
- 05.23.20 (Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия);
- 05.23.22 (Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов);
- 05.26.06 (Химическая, биологическая и бактериологическая безопасность);

- 05.27.03 (Квантовая электроника);
- 06.01.03 (Агрофизика);
- 06.01.06 (Луговодство и лекарственные, эфирно-масличные культуры);
- 06.02.04 (Ветеринарная хирургия);
- 08.00.10 (Финансы, денежное обращение и кредит);
- 09.00.05 (Этика);
- 10.02.22 (Языки народов зарубежных стран Европы, Азии, Африки, аборигенов Америки и Австралии);
- 12.00.04 (Финансовое право; налоговое право; бюджетное право);
- 12.00.10 (Международное право; Европейское право);
- 12.00.14 (Административное право; административный процесс);
- 12.00.15 (Гражданский процесс; арбитражный процесс);
- 14.01.22 (Ревматология);
- 14.02.05 (Социология медицины);
- 14.03.04 (Токсикология);
- 17.00.04 (Изобразительное и декоративно-прикладное искусство и архитектура);
- 17.00.09 (Теория и история искусства);;
- 19.00.06 (Юридическая психология).

В зону же повышенного внимания попадают журналы по 11 специальностям:

- 01.04.15 (Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика);
- 05.02.11 (Методы контроля и диагностика в машиностроении);
- 05.07.10 (Инновационные технологии в аэрокосмической деятельности);
- 09.00.07 (Логика);
- 10.02.03 (Славянские языки);
- 12.00.06 (Земельное право; природоресурсное право; экологическое право; аграрное право);
- 12.00.07 (Корпоративное право; энергетическое право);
- 12.00.13 (Информационное право);
- 14.03.10 (Клиническая лабораторная диагностика);
- 22.00.05 (Политическая социология),
- 23.00.05 (Политическая регионалистика. Этнополитика).

Заметим, что в эти зоны не попали журналы, имеющие большое количество по отдельным специальностям:

- 08.00.05 (Экономика и управление народным хозяйством);
- 12.00.01 (Теория и история права и государства; история учений о праве и государстве);
- 13.00.08 (Теория и методика профессионального образования).

Можно в качестве показателя избыточности рассмотреть отношение количества журналов, входящих в Перечень, к количеству защит по этим специальностям. Правда, если количество защит небольшое, то надо закрывать не журнал, а рассмотреть деятельность диссертационного совета.

Но вернемся к количеству изданий в Перечне 2348 – это много или мало?

Если исходить из нового порядка формирования Перечня, когда уменьшено количество возможных для заявления изданиями групп специальностей до трех (заметим, количество специальностей не ограничено), можно было бы ожидать и большего увеличения количества изданий в Перечне. Можно говорить и о том, что в начале XXI века журналов в Перечне было около 700 изданий. Но тут же заметим, в середине XX века никакого Перечня вообще не было. А диссертации-то, в большинстве своем, были – не сравнить с нынешними.

Именно низкое качество диссертаций, снижение требований диссертационных советов обоснованно привело, с одной стороны, к необходимости контроля за деятельностью диссертационных советов, в частности, со стороны Высшей аттестационной комиссии (ВАК), с другой стороны – к привлечению широкой научной общественности к обсуждению научных результатов, полученных в диссертациях, путем формирования Перечня, где эти результаты должны быть опубликованы.

Становится очевидным, что подходы как к членам диссертационных советов, так и к членам редакционных советов/коллегий изданий, вошедших в Перечень, должны быть практически одинаковыми: и те, и другие дают оценку научным результатам, полученным в диссертациях. К примеру, при защите диссертации на соискание ученой степени доктора наук необходимо участие в заседании диссертационного совета не менее 5 докторов наук, являющихся специалистами по проблемам каждой научной специальности защищаемой диссертации, а при защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук – не менее 3 докторов наук, являющихся специалистами по проблемам каждой научной специальности защищаемой диссертации. Так вот и в составе редакционных советов/коллегий изданий логично было бы иметь по каждой научной специальности не менее 3-5 докторов наук. Тогда, может, не будут появляться в Перечне «многопрофильные» издания. Ведь 7,1% изданий заявили от 11 до 56(!) специальностей, в частности, от 11 до 15 – 3,2%, от 16 до 20 – 1,8%, от 21 до 25 – 0,9% и от 26 и

более – 1,2%. Да и спрос с редколлегий, которые публикуют научные результаты, полученные в диссертационных исследованиях, должен быть таким же, как и с диссертационных советов, к примеру, при отмене их решений [1].

И все-таки, как же остановить рост количества изданий в Перечне, предотвратить его избыточность?

Некоторые подходы [1-4] были вынесены читателям на обсуждение. Интересным, по-нашему мнению, является предложение по рейтингованию изданий, входящих в Перечень.

Предлагаемая процедура рейтингования [1] предполагает, прежде всего, определение рейтинга всех изданий. Конечно, принципиальным является вопрос выбора показателей, как единичных, так и интегральных, на основании которых будет строиться рейтинг. Но опустим этот вопрос: он требует серьезных исследований. Остановимся на том, как можно использовать этот рейтинг.

Самое простое: обосновать пороговое значение выбранного интегрального показателя изданий и исключить из Перечня те, у которых значение интегрального показателя ниже порогового. Не лучший вариант: в исключенных изданиях могут быть специальности, по которым издания занимают лидирующие позиции, а вниз их потянули остальные заявленные специальности (зачем они их заявляли?). Поэтому выводы по общему рейтингу делать преждевременно.

Надо посмотреть на рейтинг журналов внутри каждой научной специальности. Прежде всего, надо определить, сколько журналов приходится на действующие диссертационные советы по этой специальности. С этой целью и предлагается использовать отношение количества журналов, входящих в Перечень, к количеству диссертационных советов по этим специальностям [2] и установить его пороговое значение. Те журналы, у которых значение этого отношения меньше порогового (к примеру, меньше 10), из рассмотрения надо исключить. Для оставшихся журналов можно найти, например, медианное значение интегрального показателя, которое и будет являться пороговым значениям для данной специальности. В тех журналах, у которых значение интегрального показателя будет ниже порогового, рассматриваемая специальность должна быть исключена из Перечня.

Организацию проведения такого рейтингования легко осуществить, если пойти опять же по пути оценки деятельности диссертационных советов: необходимо ежегодно обязать редакционные советы/редколлегии представлять отчеты о своей деятельности по показателям, необходимым для рейтингования, а раз в три года подтверждать статус издания, входящего в Перечень.

Использование рейтинга журналов позволит выявить избыточные по специальностям издания. Но к уменьшению количества журналов в Перечне это может и не привести. А надо ли?

К сожалению, полную картину распределения журналов по специальностям на сегодняшний день мы получить не можем, так как журналы, входящие в международные реферативные базы данных и системы цитирования и считающиеся включенными в Перечень, не привязаны к научным специальностям. Это относится и к другим авторитетным базам данных, которые могли бы войти (а не заменить!) в Перечень: ведь Перечень – это инструмент ВАК и направлен на решение, прежде всего, задач ВАК.

Приглашая к обсуждению представленных предложений, остается еще целый ряд не поднятых нами вопросов, вопросов принципиальных, которые требуют решения.

Литература

1. Емелин Н.М. Как повысить эффективность контроля качества Перечня рецензируемых изданий // Известия Института инженерной физики, 2019. № 2(52). С.101-102.

2. Емелин Н.М. Качественный прорыв в формировании Перечня рецензируемых изданий // Известия Института инженерной физики, 2019. № 1(51). С.102-103.

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

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

AUTHORS

Aksionov Victor E. Honoured scientist of Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Alyaeva Yulia V. Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of the Research Department of Planning and Coordination of Programs and Projects of FSBSI «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

Ananyev Aleksandr V. Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher PC SPE «Polet» (city of Nigniy Novgorod), Assistant Professor of Department at the Air Force MESC «Air Force Academy» (city of Voronezh). Voronezh, Staryh Bolshevikov, 54a.

Artamonov Yuri N. Candidate of Technical Sciences, FSBSI «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya str. 51.

Bespalov Sergey V. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, FSBSI «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya str 51.

Dmitriev Vladimir G. Candidate of Technical Sciences. Leading Researcher. Institute of Dynamics of Geospheres RAS. Moscow, Leninsky Prospect, 38, building 1.

Durnov Artyom S. Job seeker. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Emelin Nikolay M. Honored Scientist of the RSFSR, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of FSBSE «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

Goncharenko Vladimir I. Doctor of Technical Sciences, assistant Professor, Director of HE of FSBEI MAI (NRU), Leading Researcher of V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences. Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

Gordeev Gennadiy A. Head of Division. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Karulin Vladimir P. Honored Worker of Higher School of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher of FSBSE «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya st., 51.

Khizhnyak Larisa N. Candidate of Medical Sciences. Researcher. Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences. Moscow Region, Pushchino, ul. Institutskaya, 3.

Kolombet Eugeniy V. Junior scientist. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Kolombet Valeriy A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Korchevaya Irina O. Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Korzhuk Nikolai L. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor. Tula State University. Tula, Lenin Prospekt, 92.

Kotov Dmitriy Y. Head of testing laboratory, industrial safety expert. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Krekhov Evgeny V. Candidate of Technical Sciences, chief consultant of «Almaz-Antey anagement consulting». Moscow, Mira avenue, 125, building 3, associate professor of the KB-5 «Department of hardware, software and mathematical computing system» Moscow Technological University (MTU), Institute of integrated security and special instrument making (MIREA), Moscow, Stromynka street, 20.

Krekhov Igor V. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, head of department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Krekhov Victor E. Head of computing department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Kukin Nikolay S. Candidate of Technical Sciences. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Kuleshov Vladimir V. Candidate of Technical Sciences, associate professor, associate professor of Devices and biotechnical systems chair of Tula State University. Tula, Lenin Prospekt, 92.

Kuprijanov Alexander I. Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor. Moscow Aviation Institute (National Research University). Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

Kurochka Valery K. The candidate of medical Sciences. Head of Section medical-biological problems of defense of the Former expert Council of the State Duma of the Russian Federation on defense. Major General of medical service, retired. Advisor to the President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Lesnykh Vadim N. Junior scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Maistruk Aleksander V. Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Moscow Polytechnic University. FGBOU IN Moscow Polytechnic University. Moscow, st. Bolshaya Semenovskaya, 38.

Maslikov Alexander A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor. Senior Researcher. Branch «Protvino» State University «Dubna». Moscow region, Protvino, Severny passage, 9.

AUTHORS

Moiseyev Konstantin A. Candidate of technical Sciences, associate Professor. Professor of chair «Materials science and repair of weapons». Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Nikitin Andrey K. Software engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Nogin Roman O. Deputy head of Military Academy of Strategic Rocket Forces for academic and scientific work, major General. Moscow Reg., Balashikha, ul. Karbysheva, 8.

Panteleev Andrei V. Doctor of physical and mathematical sciences, professor. Head of the Department «Mathematical Cybernetics» FSBEI of HE «Moscow Aviation Institute» (National Research University). Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

Perunov Uriy M. Doctor of Technical Sciences, Professor. General designer of electronic warfare. Chief Researcher. Institute of Dynamics of Geospheres RAS. Moscow, Leninsky Prospect, 38.

Piskulin Eugeniy V. Candidate of Technical Sciences, associate professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Ponomareva Alina S. Candidate of physical and mathematical Sciences, senior researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Popov Vasiliy V. Head of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Poryadin Aleksey U. Candidate of Technical Sciences. Lecturer. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Rachkov Boris M. Doctor of Medicine, Professor. Consultant. Medical Institute Berezina. St. Petersburg, 6-th Sovetskaya Street, 24.

Rybalko Andrei G. Postgraduate Officer at the Air Force MESC «Air Force Academy» (city of Voronezh). Voronezh, Staryh Bolshevikov, 54a.

Sergeev Viktor A. Candidate of Technical Sciences, assistant professor. VKA named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Shmyrin Evgeny V. Candidate of Technical Sciences. Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Sinitsyn Sergey V. Candidate of Technical Sciences, associate Professor of the Department of software and hardware of specialized computer systems of automated systems of combat use. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Smurov Sergey V. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, professor. First Vice President of the Institute – Chief Designer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Turbal Ruslan A. Candidate of Technical sciences. Chief of department of the informatively-measuring checking systems after nuclear explosions. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Tzar'kov Alexey N. Honoured scientist of Russia, Doctor of Technical Sciences, professor. President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Vakhrova Liliya G. Senior lecturer, Moscow Automobile And Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Leningradsky prosp., 64.

Volkov Gennadiy G. Doctor of physical and mathematical sciences, professor. Senior Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Voronina Elena P. Candidate of Economic Sciences. Associated Professor, Senior Researcher. Institute of System Analysis of FITs IU of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Vavilov St., 44, building 2.

Yadrenkin Andrei A. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Head of the Department of Onboard Information and Measuring Complexes VKA named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

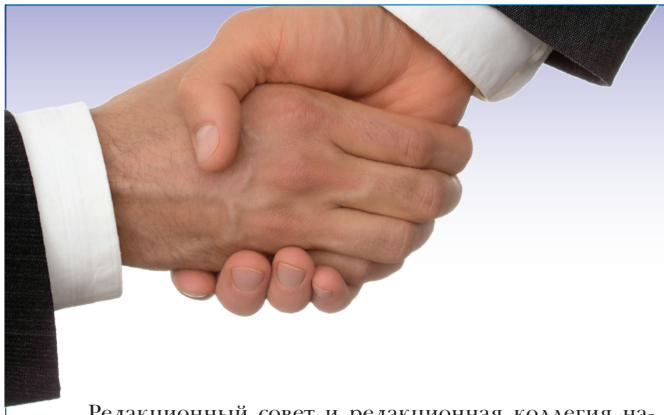
Yuldashev Aleksander Y. Candidate of Technical Sciences. Commander of troops and forces in the North-East of Russia, rear Admiral.

Zakharov Vladimir L. Doctor of Military Sciences, professor. Full member of the Academy of Military Sciences. Professor. FSBEI of HE MAI (NRU). Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

Zelenevsky Anatoly V. Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of Department. CJSC «Firm of Scientific and Technical Center «KAMI». Moscow, Heroes Panfilovtsev st., 10.

Zelenevsky Vladimir V. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation Doctor of Technical Sciences, Professor, professor of the department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Zelenevsky Yury V. Doctor of Technical Sciences, associate professor, is at the disposal of the head. Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow Reg., Balashikha, Karbysheva st., 8.



ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

Редакционный совет и редакционная коллегия научно-технического журнала «Известия Института инженерной физики» придерживаются принятых международным сообществом принципов публикационной этики, отраженных, в частности, в рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).

Все статьи, предоставленные для публикации в журнале «Известия Института инженерной физики», проходят рецензирование на оригинальность, этичность и значимость. Соблюдение стандартов этического поведения важно для всех сторон, принимающих участие в публикации: авторов, редакторов журнала, рецензентов, издателя.

ОБЯЗАННОСТИ РЕДАКТОРА

Редактор в своей деятельности обязуется:

- постоянно совершенствовать журнал;
- следовать принципу свободы мнений;
- стремиться к удовлетворению потребностей читателей и авторов журнала;
- исключать влияние интересов бизнеса или политики на принятие решений об опубликовании материалов;
- принимать решения на основании принципа справедливости и беспристрастности, обеспечивать прозрачность редакционной деятельности на всех ее этапах;
- не раскрывать информацию о предоставленных материалах никому, кроме соответствующих авторов, рецензентов, других редакционных консультантов;
- оценивать рукописи исключительно по их научному содержанию;
- принимать решение о публикации материалов, руководствуясь следующими главными критериями: соответствие рукописи тематике журнала; актуальность, новизна и научная значимость представленной статьи; ясность изложения; достоверность результатов и законченность выводов. Качество исследования и его актуальность являются основой для решения о публикации;
- принимать меры для обеспечения высокого качества публикуемых материалов и защиты конфиденциальности персональной информации. При обнаружении содержательных, грамматических, стилистических и иных ошибок редакция обязуется предпринимать все меры для их устранения;
- обосновать свое решение в случае принятия или отклонения статьи;
- предоставить автору рецензируемого материала возможность для обоснования своей исследовательской позиции;
- поощрять дискуссии и предоставлять возможность для изложения точки зрения оппонентов;
- не использовать в собственных исследованиях информацию из неопубликованных материалов.

ОБЯЗАННОСТИ ЧЛЕНОВ РЕДСОВЕТА (РЕДКОЛЛЕГИИ)

Решение о публикации.

Редсовет (редколлегия) журнала «Известия Института инженерной физики» являются ответственными за принятие решения о том, какие статьи будут опубликованы в журнале. Решение принимается на основании представляемых на статью рецензий

Редсовет (редколлегия) придерживаются политики журнала и действуют в рамках законных требований, поскольку несут ответственность за нарушение авторских прав.

Конфиденциальность.

Рецензенты или кто-либо из сотрудников редакции не должны разглашать никакую информацию о предоставленной рукописи кому-либо, кроме самого автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, членов редакционного совета (коллегии) и издателя, поскольку она является конфиденциальной.

Раскрытие информации и конфликт интересов.

Неопубликованные материалы, находящиеся в предоставленной статье, не должны быть использованы в собственном исследовании научного редактора и рецензентов без специального письменного разрешения автора.

ОБЯЗАННОСТИ РЕЦЕНЗЕНТОВ

Рецензенты оказывают помощь членам редакционного совета (редколлегии) при принятии редакционного решения, а также помогают автору усовершенствовать работу.

Конфиденциальность.

Любые рукописи, полученные для рецензирования, должны восприниматься как конфиденциальные документы. Они не могут быть показаны либо обговорены с другими лицами, кроме тех, которые уполномочены редакцией.

Подтверждение источников.

Рецензенты должны идентифицировать опубликованную работу, которая не была процитирована автором. Любое утверждение, что наблюдение, происхождение либо аргумент ранее были сообщены, необходимо сопровождать соответствующей ссылкой. Рецензент должен также донести до сведения редакции о любой существенной схожести или частичном совпадении между рукописью, которая рецензируется, и другой уже опубликованной работой, которая ему знакома.

Раскрытие информации и конфликт интересов.

Приватная информация или идеи, возникшие в процессе рецензирования, должны остаться конфиденциальными и не могут быть использованы в личных интересах. Рецензент не должен рассматривать рукопись, если имеет место конфликт интересов в результате его конкурентных, партнерских либо других отношений или связей с кем-либо из авторов, компаний или организаций, связанных с материалом публикации.

ОБЯЗАННОСТИ АВТОРОВ

Оригинальность и плагиат.

Авторы должны гарантировать, что они написали полностью оригинальную работу. Если авторы использовали работу и/или слова других авторов, это должно быть соответственно указано и процитировано.

Доступ к данным и сохранность.

Автор должен быть готов обеспечить доступ к данным, связанными с материалом публикации, если таковой возможен. Во всяком случае, автор должен быть готов сохранять такие данные на протяжении разумного периода времени после опубликования.

Многоразовая, избыточная или конкурирующая публикация.

Автор не должен публиковать работы, которые описывают по сути одно и то же исследование, более чем один раз или более чем в одном журнале.

Предоставление рукописи более чем в один журнал одновременно означает неэтичное издательское поведение и является недопустимым.

Подтверждение источников.
Необходимо предоставлять должное подтверждение работ других авторов. Авторы должны процитировать публикации, которые имели значение при создании заявленной работы.

Авторство материала.
Авторство необходимо ограничить теми лицами, которые внесли ощутимый вклад в концепцию, проект, исполнение или интерпретацию заявленной работы. Всех, кто внес ощутимый вклад, следует внести в список соавторов.

Автор должен гарантировать, что список авторов содержит только действительных авторов и в него не внесены те, кто не имеет отношения к данной работе, а также то, что все соавторы ознакомились и одобрили окончательную версию статьи и дали согласие на ее публикацию.

Раскрытие информации и конфликт интересов.
Все авторы должны сообщать, если в их работе имеется финансовый либо другой конфликт интересов, который может повлиять на результаты или интерпретацию их рукописи.

Ошибки в опубликованных работах.
Если автор обнаружит существенную ошибку или неточность в своей опубликованной работе, его обязанность – незамедлительно сообщить об этом в редакцию журнала или издателю и сотрудничать с редакцией при исправлении ошибок.

НАРУШЕНИЯ

При возникновении ситуации, связанной с нарушением публикационной этики со стороны редактора, автора или рецензента, требуется ее обязательное рассмотрение. Редакционный совет (редколлегия) обязана потребовать разъяснения, без привлечения лиц, которые могут иметь конфликт интересов с одной из сторон.

Если материал, содержащий значительные неточности, был опубликован, он должен быть незамедлительно исправлен в форме, доступной для читателей и систем индексирования.

ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются статьи на русском языке. Рекомендуемый объем статьи – 0,2–0,4 п.л. (8000–16000 знаков).

Тексты должны быть представлены:
- в электронном виде (Word 2003). Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!
- на бумажном носителе формата А4.

Текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

Простые символы и формулы не набирать в математическом редакторе!

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:
- рубрика журнала (см. *Приложение 1*);
- УДК;
- название статьи с переводом на английский язык;
- имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (**Литература**) размещается в конце статьи.

После литературы помещаются:
- список ключевых слов, краткая аннотация (на русском и английском языках).

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):
- ФИО;
- ученая степень, ученое звание, должность и место работы с переводом на английский язык;
- адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

Обращаем особое внимание на:
- точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);
- выверенность статьи в компьютерном наборе;
- полное соответствие файла на электронном носителе и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

Приложение 1

РУБРИКАЦИЯ ЖУРНАЛА «Известия Института инженерной физики»

Постоянные рубрики

- **Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы.**
- **Радиотехника и связь.**
- **Информатика, вычислительная техника и управление.**

Разовые рубрики

- **Техника специального назначения.**
- **Инновационные проекты.**
- **Техническое регулирование.**
- **Профессиональное образование.**
- **Искусственный интеллект и робототехника.**
- **Медицина и фармацевтика.**
- **Диагностические системы.**
- **Научные обзоры. Научные рецензии. Отзывы.**

В соответствии с Решением Межведомственной комиссии РФ по защите государственной тайны №69 от 26 февраля 2001 г., требованиями законов №5485-1 «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г., №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27 июля 2006 г. статьи для публикации принимаются только при наличии экспертного заключения с разрешением на открытое опубликование.

INTERREGIONAL PUBLIC INSTITUTION
"INSTITUTE OF ENGINEERING PHYSICS"
(SCIENTIFIC, EDUCATIONAL AND INDUSTRIAL INSTITUTION)

CONTENTS

INSTRUMENT MAKING, METROLOGY AND INFORMATION–MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

Kolombet V.A., Lesnykh V.N., Kolombet E.V.
Observation of a universal system of tripling periods in experiments with generators of periodic oscillations 2

Poryadin A.U., V.E. Aksionov, Piskulin E.V.
The optimization algorithm of the measurement mode during a comprehensive prelaunch calibration of accelerometers 8

Zakharov V.L.,Yadrenkin A.A.
To the question of solving the problem of noise filtering in information optoelectronic means 12

Zakharov V.L., Sergeev V.A.
Methods for determining the plan for carrying out field tests of autonomous control systems 16

Korzhuk N.L., Kuleshov V.V.
Mathematical model for converting analog information to digital code in a measuring system 20

Gordeev G.A., Popov V.V., Kotov D.Y., Ponomareva A.S.
Computational simulation of testing electronic equipment in a vacuum chamber 22

Moiseev K.A.
Method of step-by-step development of mathematical models of dynamic interconnected shell-and-beam system 28

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION

Zelenevsky V.V., Zelenevsky Y.V., Zelenevsky A.V., Shmyrin E.V., Durnov A.S.
Method of estimating the noise immunity of the transmission system with orthogonal data compression code when exposed to Gaussian noise and impulse noise 33

Perunov Y.M., Dmitriev V.G., Kuprijanov A.I.
Analysis of methods and technical solutions of systems of functional destruction of REM 38

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

Krekhov E.V., Krekhov V.E., Krekhov I.V., Turbal R.A.
Ensuring the integrity of a computer unitary code with a rigid logic to meet the requirements of a unitary transformation above kubits of a quantum computer 43

Sinitsyn S.V., Pisckulin E.V.
Simplified accelerometer scaling algorithm 48

Kukin N.S.
Building identification systems based on an algorithm for optimally extracting information from physically non-cloned optical functions 52

Kukin N.S., Korchevaya I.O.
Identifying links between points by series of images 56

Emelin N.M., Artamonov Y.N.
Methodology for assessing the quality of projects based on a meaningful analysis of the results 59

Ananyev A.V., Goncharenko V.I., Rybalko A.G.
Rational distribution of fire influence of free-falling uncontrollable containers of unmanned aerial vehicles on the basis theories of risks 66

Volkov G.G., Maslikov A.A., Smurov S.V., Tzar'kov A.N.
From geralded entaglement towards the non-conditional teleportation 73

Alyaeva Y.V., Artamonov Y.N., Bespalov S.V., Karulin V.P.
Information and analytical instruments of expert evaluation of criteria for stimulating innovative development in the sphere of educational, scientific and scientific-technical activity in the subjects of the Russian Federation 82

Panteleev A.V.
Application of «swarm» intelligence optimization algorithms to nonlinear dynamic systems optimal control problems 89

Maistruk A.V., Nogin R.O., Yuldashev A.Y.
Mathematical model of estimation of efficiency of intelligence and search and rescue operations with the use of aircraft 94

Nikitin A.K., Khijnyak L.N.
Thermal histogram based on meshes in medical thermography 101

MEDICINE AND PHARMACEUTICS

Rachkov B.M., Kurochka V.K.
Portable field dressing for applying to a battlefield wound 104

PROFESSIONAL EDUCATION

Vakhrova L.G.
Approach to the adaptive management of learning foreign language grammar by technical university students 108

INNOVATIVE PROJECTS

Voronina E.P.
Ecologo-socio-economic development of the Arctic zone of the Russian Federation: drivers of ecologization 111

SCIENTIFIC REVIEWS. SCIENTIFIC CRITIQUES. COMMENTS

Emelin N.M.
New List of peer-reviewed publications has been released – what's next? 118

AUTHORS 121
THE ETHICS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS 123
REQUIREMENTS TO AUTHORS 124

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

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

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

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-26650 от 20 декабря 2006 г.
Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ».
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
Подписано в печать 18.06.2019.
Дата выхода в свет 20.06.2019. Тираж 2000 экз. Цена свободная.
© Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики» (ИИФ), 2019

Межрегиональное общественное учреждение

«Институт инженерной физики»

(МОУ «ИИФ»)

научное, образовательное и производственное учреждение

142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный переулок, д. 1а
http://www.iifrf.ru e-mail:info@iifmail.ru
Тел.: +7(4967) 35-31-93, 35-13-71 факс: +7(4967) 35-44-20 моб.: +7 (499) 400-05-75