№ 1 +0
2018 [47]

научно-технический журнал

Известия

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

8 февраля

День российской науки

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

В НОМЕРЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО–ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

2 **Авдеева М.М., Ананьев Е.М., Коровин О.В., Подвигин С.В.**
Выбор показателя эффективности термоэлектроволокна для обогрева воздушных линий электропередач в зависимости от целевой направленности его разработки

7 **Злобин А.Ю., Ларкин В.В.**
Применение электронноуправляемых муфт в автономных источниках питания с ерестраиваемой системой привода

11 **Безродный Б.Ф., Безродный И.Ф., Виноградов А.С., Смирнов Д.В.**
Методика определения оптимального варианта инновационного проекта для модернизации системы обеспечения пожарной безопасности

18 **Калюжный А.А., Поздняков А.Д., Поздняков В.А.**
Восстановление периодического сигнала при несинхронизированном стробировании в виртуальном анализаторе амплитудно-частотной характеристики

23 **Дорожков П.А., Лужецкий С.В., Репях А.П., Шаранов А.В.**
Математическое моделирование системы восстановления агрегатов ракетного комплекса

26 **Никитин А.В.**
Математическая модель определения параметров системы непрерывного поддержания температуры масла ходового двигателя

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

32 **Сальников Д.В., Мешков И.С., Долгая А.А.**
Оценка интегральной доступности глобальной навигационной спутниковой системы

39 **Шевченко В.А., Снедков Д.М.**
Критическая скорость кодирования для некогерентных каналов связи с группированием ошибок, вызванным замираниями и воздействием импульсной помехи

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

47 **Попов А.Н, Быстров Д.Е., Лычагов А.С.**
Оценка информативности поля железных дорог для навигации подвижного состава по информации систем технического зрения

52 **Казарян Г.Э., Казарян Э.Л.**
Задача Неймана для уравнения Лапласа в прямоугольнике

55 **Коваленко М.П., Рязанцев А.М., Нижниковский А.В., Игнатенко И.А.**
Использование цифровых водяных знаков для защиты авторского права на электронные документы

58 **Лягин М.А., Хоптар В.В.**
Постановка и решение задачи Лагранжа применительно к оптимизации скорости в канале передачи данных направления «беспилотный летательный аппарат – земля» на сеансе связи

63 **Коломбет В.А., Лесных В.Н., Бондарь А.Т.**
Треугольник Серпинского как удобная математическая модель для описания универсальной системы утраивающихся периодов

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

69 **Мелихов В.О.**
Системный анализ условий и показателей, определяющих инновационность деятельности наукоградов

75 **Мурашов А.Г., Руднев Д.С., Бутранов А.С.**
Применения инновационных систем локального обогрева в условиях низких температур

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА

78 **Протасов В.И., Потапова З.Е., Шаронов А.В.**
Система коллективного самоуправления транспортными средствами

82 **Умников Е.В., Горковенко В.П.**
Риски моделирования и симуляции робототехнических комплексов

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

86 **Блаженков В.В., Емелин Н.М.**
Оптимизация процесса воспроизводства кадров высшей квалификации в высшей школе

91 **Сивоплясова С.Ю., Сивоплясов Д.В., Мосягина Г.П.**
Место России в международной системе высшего образования

97 **Утробин Г.Ф., Обыночный И.А.**
Обоснование педагогических управленческих функций профессорско-преподавательского состава на основе анализа математической модели усвоения учебного материала в образовательном процессе вуза

101 **AUTHORS**

103 **ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ**

104 **ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ**

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ
Института инженерной физики

№1 (47) 2018

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

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

Главный редактор,
председатель редакционного совета
и редакционной коллегии

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

Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

научно-технический журнал
Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
№ 1 (47)
2018

Редакционная коллегия

Олег Николаевич Андрух
кандидат технических наук, доцент
Борис Фёдорович Безродный
доктор технических наук, профессор
Сергей Борисович Беркович
почетный геодезист РФ
доктор технических наук, профессор
Владимир Эрнестович Бородай
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Игорь Александрович Бугаков
заслуженный изобретатель РФ,
доктор технических наук, профессор
Вадим Геннадьевич Грибунин
доктор технических наук
Сергей Григорьевич Данилюк
доктор технических наук, профессор
Владимир Владимирович Зеленевский
доктор технических наук, профессор
Николай Николаевич Казаков
член Союза писателей России
выпускающий редактор
Олег Павлович Кузнецов
кандидат технических наук, доцент
Александр Ильич Куприянов
доктор технических наук, профессор
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
Валерий Николаевич Умников
доктор технических наук, профессор
Дмитрий Вячеславович Смирнов
доктор технических наук, доцент
Сергей Владимирович Смуров
доктор технических наук, профессор
Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Сергей Николаевич Шиманов
почетный радист РФ,
доктор технических наук, профессор

ISSN 2073-8110

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

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

Адрес редакции: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
Тел: +7(4967)35-31-93, 35-13-71
Факс: +7(4967)35-44-20 http://www.iifrf.ru
E-mail: info@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 5.02.2018. Дата выхода в свет 7.02.2018. Тираж 2000 экз. Цена свободная.
© Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики» (ИИФ), 2018

Игорь Александрович Бугаков

Вице-президент Института
по инновационным проектам

заслуженный изобретатель РФ
доктор технических наук, профессор

Уважаемые коллеги!

«Наука необходима народу. Страна, которая ее не развивает, неизбежно превращается в колонию». Рожденные в прошлом веке, эти слова известного французского физика Фредерика Жолио-Кюри по-прежнему актуальны. Ибо по-прежнему некоторыми странами, считающими себя «ведущими мировыми державами», реализуется колониальная политика. Только из открытой она стала завуалированной, прикрываясь идеей «демократии» (в своем, естественно, понимании) как великого блага, несомого другим странам.

У России нет колоний. Нет и колониальной политики. Есть трудолюбивый, желающий жить по правде и проявляющий милосердие к другим народ. Есть великие достижения и традиции, большой потенциал развития. Есть и трудности, в том числе создаваемые странами, которые, мягко говоря, не очень дружественно относятся к нашей Родине. Теми самыми, из разряда «ведущих», претендующих на свою исключительность и потому «лучше нас знающих», что и как должно происходить в нашей стране.

Ответ на такую «мудрость» «...в своих глазах» у нас может быть один – инновационное развитие на основе достижений отечественной науки. Требуемый опережающий характер такого развития возможен только на основе интеграции, объединения интеллектуальных, материальных и духовных ресурсов общества. Успех нашей страны определяется, прежде всего, единством ее многонационального народа, его преданностью общему делу, желанием каждого гражданина служить России, видя в этом высший смысл жизни. Такой настрой всегда приводил к выдающимся результатам. Такой настрой единения, служения общему делу, нужен и для успеха любой организации.

Институт инженерной физики – это команда единомышленников: ученых и инженеров, специалистов разных областей, желающих и умеющих эффективно трудиться на благо своих семей, Института, страны. «От научной идеи – до серийной поставки», «От детского сада – до аспирантуры» – эти, родившиеся в Институте и внедренные в практику нашей жизни принципы, определяют нашу нацеленность на реализацию здесь, на серпуховской земле, полных циклов: как инновационного для техники, так и образовательного для перспективной молодежи. Более 2500 специалистов с высшим образованием подготовлено в действующих при Институте вузах, 80% из них трудоустроено в Южном Подмосковье. Более 100 выпускников, часть которых окончила аспирантуру Института и стала кандидатами наук, принято на работу в Институт за последние семь лет. Они успешно влились в действующие в Институте отделы, службы, известные научные школы (в области навигации, связи, информационной безопасности), обеспечивая ту важную и нужную преемственность кадров, о которой сегодня так много говорят, но которой так не хватает отечественной науке и высокотехнологичному производству.

Именно поэтому Институт стал инициатором и координатором действующей с 2007 года в Серпухове экспериментальной площадки ФГАУ «ФИРО» по формированию современной системы непрерывного образования, основным организатором Всероссийской научно-практической конференции «Современное непрерывное образование и инновационное развитие», с 2011 года ежегодно собирающей в Серпухове представителей всех уровней образования, специалистов органов управления образованием, научных работников, работодателей.

С Днем российской науки!
Новых научных открытий и их практического применения!

УДК 537.32:621.311

ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОЭЛЕКТРОВОЛОКНА ДЛЯ ОБОГРЕВА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЦЕЛЕВОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ЕГО РАЗРАБОТКИ

SELECTING THE EFFICIENCY OF THE THERMOELECTRIC FILM FOR HEATING AIR TRANSMISSION LINES DEPENDING ON THE TARGET ORIENTATION OF ITS DEVELOPMENT

Мария Михайловна Авдеева
инженер
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: knyazeva_marya@list.ru

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

Олег Вениаминович Коровин
кандидат технических наук, доцент
начальник управления
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: kov67@iifmail.ru

Сергей Владимирович Подвигин
кандидат технических наук, доцент
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: podviginsv@gmail.com

Аннотация

В статье содержится обоснование и выбор системы показателей критериев, используемых при оценке эффективности использования термоэлектроволокна при защите воздушных линий электропередач от обледенения для различных вариантов целевой направленности и разработки теплоэлектроволокна.

Ключевые слова: эффективность, система энергоснабжения, теплоэлектроволокно, высоковольтные провода, целевая направленность, методика, обледенение, нагрев.

Summary

The article contains the justification and choice of a system of criteria indicators used in evaluating the effectiveness of the use of thermo-electrical fibers for the protection of overhead power transmission lines from icing, for various target-oriented options and the development of heat-electric fibers.

Keywords: efficiency, energy supply system, thermoelectric fiber, high-voltage wires, focus, technique, icing, heating.

Проблема борьбы с обледенением высоковольтных проводов (ВВП) воздушных линий электропередач (ВЛЭП) является важной и актуальной задачей, решаемой в рамках общей задачи по поддержанию эксплуатации и модернизации государственной системы электроснаб-

жения (ГСЭС). Сохранение актуальности рассматриваемой в статье задачи, подтверждается рядом масштабных аварийных происшествий, произошедших за последние годы, связанных с обледенением ВВП ВЛЭП. Учитывая чрезвычайно тяжелые последствия гололедных аварий, зачастую связанных с угрозой жизни людей и возникновением техногенных катастроф, которые могут привести к дезорганизации электроснабжения целых районов, необходимо принимать эффективные меры по их предотвращению и минимизации последствий [1, 2].

В настоящее время используются на практике или находятся на стадии подтверждения эффективности и отработки технологий применения следующие методы устранения обледенения ВВП ВЛЭП.

Механический способ. Самый простой способ механического удаления гололеда – сбивание, которое производится при помощи длинных шестов с земли или с корзины автовышки, но они требуют доступа к ЛЭП, что нарушает нормальную работу участка. К тому же механическое воздействие не препятствует обледенению, а устраняет его [3, 4].

Плавка гололеда переменным или постоянным током. Плавка наледи переменным током промышленной частоты получила широкое распространение на ВЛЭП напряжением 6-35 кВ, реже 110 кВ. На линиях более высоких напряжений плавка гололеда производится постоянным током. Основным недостатком данного метода является то, что время необходимое для плавки гололеда может достигать полутора часов, и все время пока производится плавка, линия отключена от потребителей [5].

Колебание проводов за счет силы Ампера. По проводам линии пропускают импульсы тока определенной частоты и формы. При протекании тока по проводам возникает сила Ампера, под действием которой происходят механические колебания, которые предупреждают образование обледенения и разрушают корку льда. Применение данного способа так же основывается на отключении напряжения [6].

Применение супергидрофобных покрытий ВВП. Метод заключается в нанесении на провода растворов специальных веществ, которые замерзают при температурах значительно более низких, чем вода. Однако срок действия таких «незамерзающих жидкостей» недолог, а регулярно наносить их на сотни, и тысячи километров проводов весьма затруднительно [7].

Статья посвящена анализу еще одного метода борьбы с обледенением ВЛЭП – использованию термоэлектроволокна (ТЭВ) для обогрева ВВП.

Выбор оптимальных параметров ТЭВ для защиты ВВП ВЛЭП проводится в ходе многоэтапных исследований, имеющих своей целью обоснование рационального технического облика всей ГСЭС, и является одной из актуальных частных задач таких исследований.

В общем случае математическая постановка задачи определения оптимальных параметров ТЭВ может быть сформулирована следующим образом.

Требуется определить вектор параметров перспективного ТЭВ, такой, что:

$$\vec{x}^{opt} = \arg\min_{x \in X} \left\{ C(\vec{x}, Z^*) / \left[\prod_{k=1}^{n} f(\vec{x}, \vec{z}) \times E(\vec{x}, Z) \right] \right\} \quad (1)$$

где $X = \{\vec{x}\} \subset R^n$ – множество допустимых значений вектора $\vec{x}$ варьируемых параметров ТЭВ;

$\vec{z}_k \in Z^* \subset Z \subset R^n$ – вектор известных параметров k-й задачи по предотвращению образования наледи ВЛЭП, которая должна быть решена с использованием ТЭВ;

Z^* – конечное множество из N задач по предотвращению образованию наледи, которые требуются решить с использованием ТЭВ;

Z – множество задач, определяющих область возможного применения ТЭВ;

$C(\vec{x}, Z^*)$ – суммарная стоимость создания ТЭВ с параметрами $\vec{x}$ для выполнения задач из множества z^*;

$G(\vec{x}, \vec{z}_k)$ – функция ограничений на выполнение k-й задачи при создании ТЭВ с параметрами $\vec{x}$;

$f(\vec{x}, \vec{z}_k)$ – двухзначный показатель возможностей решения k-й задачи с помощью ТЭВ с параметрами $\vec{x}$, такой что:

$$f(\vec{x}, \vec{z}_k) = \begin{cases} 1, \textit{при } G(\vec{x}, \vec{z}_k) \le 0, \\ 0 - \textit{в противном случае}; \end{cases}$$

$E(\vec{x}, Z)$ – показатель тепловой эффективности ТЭВ с параметрами $\vec{x}$ при выполнении задач множества Z.

На основе полученных оптимальных значений вектора $\vec{x}^{opt}$ по выбранному критерию «стоимость/эффективность» могут быть сформированы требования к параметрам ТЭВ путем задания их рациональных значений по результатам анализа чувствительности оцениваемых частных и обобщенного показателей объекта исследования (ВЛЭП) к изменению отдельных параметров.

Предлагается использовать различные виды показателя эффективности ТЭВ в зависимости от возможного варианта целевой направленности его создания.

Возможны следующие варианты создания ТЭВ.

1. Назначение ТЭВ строго определено конкретными задачами по недопущению образования наледи $\vec{z}_k \in Z^*, k=1,n$. Требуемому назначению отвечают только те варианты, которые гарантированно препятствуют образованию наледи.

Эффективность ТЭВ оценивается функционалом:

$$F(Z)=F_1(Z)\times F_2(Z), \text{где } F_1(Z)=\prod_{k=1}^{n} f(\vec{z}_k). \qquad (2)$$

В этом случае функционал $F_2(Z)$ всегда принимается равным 1, а функционал $F_1(Z)$ равен 1 или 0 соответственно для эффективных и неэффективных вариантов ТЭВ.

2. Назначение ТЭВ, как и в первом случае, строго определено перечнем задач по предотвращению образования наледи, требуется обязательное решение всех задач. Резерв по температуре ТЭВ (превышение минимально необходимой температуры) при решении каждой задачи оценивается дифференцированно в зависимости от ее приоритетности и глубины проработки облика ТЭВ (возможности изменения его характеристик).

Для оценки эффективности ТЭВ можно использовать комбинацию из функционалов вида:

$$F(Z)=F_1(Z)\times F_2(Z),$$

где $F_1(Z)=\prod_{k=1}^{n} f(\vec{z}_k)$,

$$F_2(Z)=\sum_{k=1}^{n} a_k\left[1+\mu(\vec{z}_k)\right] \quad при \quad \sum_{k=1}^{n} a_k=1, \qquad (3)$$

$f(\vec{z}_k)$ – двухзначный показатель, равный 1 в случае возможности решения k-й задачи по недопущению образования наледи или нулю в противном случае (при невыполнении хотя бы одного из заданных ограничений);

a_k – весовой коэффициент k-й задачи по борьбе с наледью;

$\mu(z_k)$ – относительный резерв температуры при решении k-й задачи (отношение резерва температуры к минимально необходимому значению)

Таким образом, для всех неэффективных вариантов ТЭВ, в которых не может быть решена хотя бы одна задача $\vec{z}_k \in Z$, функционал $F(Z)$ принимает нулевое значение. Для остальных вариантов $F(Z)=1{,}0$ в случае точного соответствия температуры ТЭВ требуемой или превышает 1,0, показывая во сколько раз интегральный уровень тепловых возможностей ТЭВ превосходит минимально достаточный уровень.

На *рисунке 1* показано влияние на температурные характеристики ТЭВ различной степени важности конкретных задач по борьбе с наледью. Из рисунка видно, что с помощью весовых коэффициентов, определяющих важность конкретных целевых задач, оптимальные характеристики ТЭВ смещаются в сторону повышения возможностей выполнения более важных целевых задач.

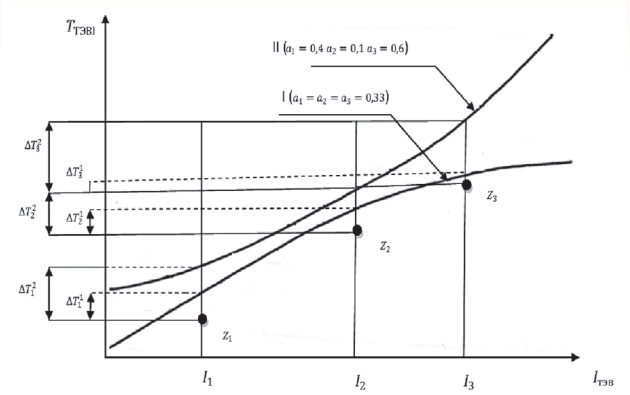


Рис. 1. Влияние коэффициентов важности задач по борьбе с обледенением на изменение температурных характеристик ТЭВ:
I – задачи равнозначны по важности;
II – задачи различны по важности.

3. Конкретные задачи по предотвращению наледи для ТЭВ не определены. Варианты ВЛЭП с ТЭВ исследуются в расчете на применение во всех погодных и климатических условиях. Предпосылкой к разработке такой ТЭВ может быть, например, наличие готовых запасов стандартного ТЭВ, которые необходимо использовать с максимальной технико-экономической эффективностью.

Множество Z задается некоторой расчетной задачей $\vec{z}$, устанавливающей единые ограничения на удельный объем ТЭВ, и диапазонами изменения параметров тока обогрева, описывающими климатическую область, в которой может эксплуатироваться ВЛЭП с перспективной ТЭВ. Под удельным объемом ТЭВ будем понимать отношение объема ТЭВ к суммарному объему «ТЭВ+ВВП» на единицу длины ВВП

$$V=\frac{V_{тэв}}{V_{"ТЭВ+ВВП"}}dl,$$

где $V_{тэв}$ – объем материала ТЭВ;

$V_{тэв+ввп}$ – суммарный объем материала «ТЭВ+ВВП»;

l – единица длины ВЛЭП.

Из приведенного определения параметра «удельный объем ТЭВ» видно, что его величина будет зависеть от конструктивно-компоновочной схемы «ТЭВ+ВВП», материала ТЭВ, вида намотки ТЭВ и ее шага, толщины нити ТЭВ и др. В конечном счете, именно этот показатель может быть использован при оценке эффективности принятой конструктивно-компоновочной схемы «ТЭВ+ВВП».

Далее рассмотрим наиболее распространенный случай оценки эффективности борьбы с обледенением, основными параметрами при которой являются температура и ток обогрева ТЭВ.

Для оценки эффективности ТЭВ может быть использован показатель:

$$F(Z)=F_1(Z)\times F_2(Z),$$

где $F_1(Z)=f(\vec{z}^*)$,

$$F_2(Z)=\int_I\int_V T(I,V)dIdV. \qquad (4)$$

Графическая иллюстрация интегрального показателя тепловых возможностей ТЭВ представлена на *рисунках 2-4*.

Для обобщенной оценки тепловых возможностей ТЭВ предложен следующий методический подход [8].

Пусть известна зависимость температуры ТЭВ от его удельного объема $T(v)$ на интервале изменения тока обогрева $[I_1,I_2]$. Произведем разбиение W данного интервала на отрезки точками $I_k=(k=0,1,\ldots,n)$:

$$I_1=i_0<i_1<i_2<\ldots<i_{n-1}<i_n=I_2\,.$$

В каждом отрезке выберем и определим интегральную сумму относительно разбиения W:

$$\sigma(W)=\sum_{k=1}^{n}T(i_k^*)(i_k-i_{k-1}), \qquad (5)$$

При уменьшении наибольшего из отрезков Δh_k интегрируемая сумма стремится к определенному интегралу Римана:

$$F_2(Z)=\int_{I_1}^{I_2}T(I)dI, \qquad (6)$$

который характеризует интегральные тепловые возможности ТЭВ (сумму температур) при обогреве ТЭВ со значениями тока от I_1 до I_2 и геометрически интерпретируется как площадь криволинейной трапеции, ограниченной осью 0I, прямыми $I=I_1$, $I=I_2$ и графиком $T(I)$ (см. *рисунок 2*).

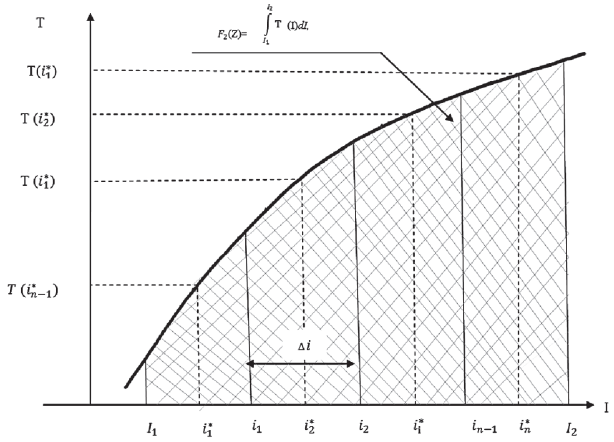


Рис. 2. Иллюстрация показателя эффективности ТЭВ для третьего варианта его создания

В случае рассмотрения различных дискретных значений удельного объема ТЭВ $F_2(Z)$ определяется как суммарная площадь под соответствующими кривыми $T(I)$ для $V=V_1$, $V=V_2$ и т.д. (см. *рисунок 3*).

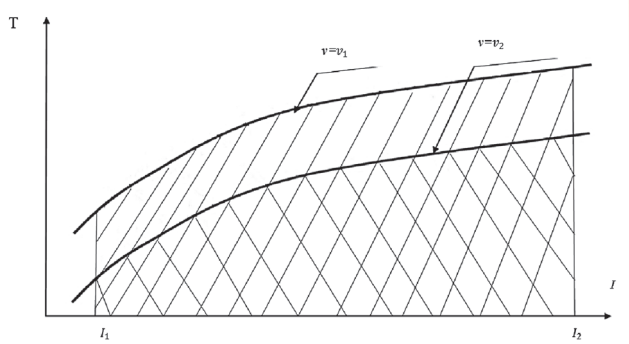


Рис. 3. Интегральный показатель эффективности ТЭВ для различных дискретных значений удельного объема ТЭВ

В общем случае построения двухмерной функции $T(I, V)$ от тока и удельного объема ТЭВ можно произвести разбиение W сеткой по обеим переменным

$$I_1=i_0<i_1<i_2<\ldots<i_{n-1}<i_n=I_2\,;$$
$$V_1=v_0<v_1<v_2<\ldots<v_{n-1}<v_n=V_2$$

и определить интегральную сумму

$$\sigma(W)=\sum_{k=1}^{n}T(i_k,v_k)(i_k-i_{k-1})(v_k-v_{k-1}), \qquad (7)$$

которая также при уменьшении наибольших отрезков Δi_k, Δv_k…стремится к двойному интегралу

$$F_2(Z)=\int_{I_1}^{I_2}\int_{V_1}^{V_2}T(I,v)\,dI\,dV, \qquad (8)$$

и геометрически интерпретируется как объем под криволинейной поверхностью $T(I,V)$ в пространстве «ток обогрева – удельный объем – температура ТЭВ» (см. *рисунок 4*).

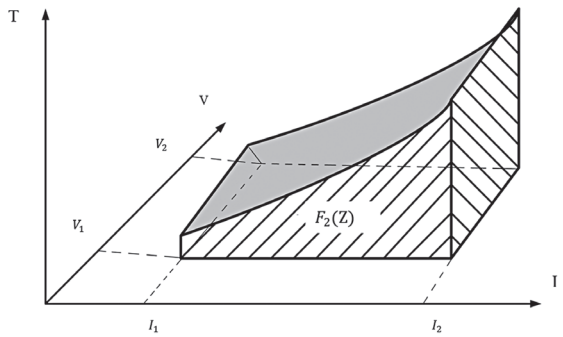


Рис. 4. Интегральный показатель эффективности ТЭВ для заданного диапазона возможных значений удельного объема

Необходимо отметить, что для ТЭВ с различными тепловыми возможностями (ТВ) значения интегрального показателя эффективности могут совпадать (*рисунок 5*), поэтому применение данного показателя целесообразно лишь при выборе рационального технического облика ТЭВ на наиболее ранних этапах его разработки в усло-

виях неопределенности по возможным задачам целевого использования.

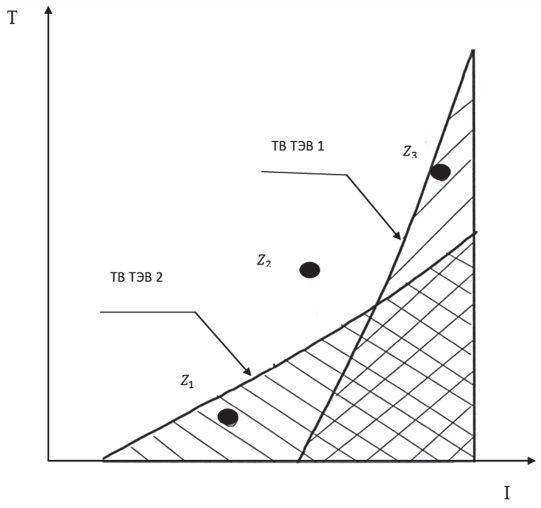


Рис. 5. Равенство интегральных показателей для ТЭВ с различными тепловыми возможностями

В других случаях необходимо использовать показатель эффективности ТЭВ вида (3) или (4). Таким образом, в зависимости от целевой направленности разработки ТЭВ предусматривается при выборе его рационального облика использовать показатель эффективности вида (2), (3), или (4).

На основании этого, входящий в постановку задачи (1) показатель тепловых возможностей ТЭВ $E(\vec{x}, Z)$, в зависимости от варианта целевой направленности создания ТЭВ, определяется по формуле

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^{n} a_k [1+\mu(\vec{z}_k)], \text{если } Z^* = Z, \mu(\vec{z}_v) \text{ учитываются}; \\ 1{,}0, \text{если } Z^* = Z, \mu(\vec{z}_k) \text{ не учитываются}; \\ \int_{I_1}^{I_2}\int_{V_1}^{V_2} t(I,V)\,dI\,dV, \text{если } Z^* = \{z^*\}, \end{cases} \quad (9)$$

где $\mu(\vec{z}_k)$ – относительный резерв температурных возможностей при решении k-й задачи (отношение резерва температуры ТЭВ к минимально необходимой);

a_k – весовой коэффициент k-й задачи по борьбе с наледью;

I, I_1, I_2 – ток обогрева, нижняя и верхняя границы диапазона его требуемых значений;

V, v_1, v_2 – удельный объем ТЭВ, нижняя и верхняя границы диапазона его возможных значений.

Таким образом, предложена система показателей эффективности для обоснования требований к параметрам ТЭВ с использованием критерия минимизации показателя «стоимость/эффективность», который представляет собой отношение суммарной стоимости разработки, изготовления и эксплуатации ТЭВ к показателю его эффективности, зависящему от целевой направленности разработки ТЭВ:

- при разработке ТЭВ с целью выполнения конкретных задач по борьбе с гололедом для известных ограничений предложено использовать показатель эффективности, отражающий реализуемость гарантированного отсутствия наледи без учета резервов тепловых возможностей ТЭВ;
- при разработке ТЭВ с целью выполнения перспективной программы модернизации ВЛЭП, характеристики районов использования которых окончательно не определены, предложено использовать показатель эффективности, учитывающий степень важности отдельных задач и резервы по температуре для каждого ТЭВ;
- при разработке ТЭВ в условиях неопределенности целевых задач его применения предложено использовать показатель, отражающий интегральные тепловые возможности ТЭВ при обогреве ВВП ВЛЭП для различных климатических условий с учетом выполнения типовых ограничений на эксплуатацию ВЛЭП.

Литература

1. Каганов В.И. Как расплавить лед на проводах ЛЭП // Наука и жизнь, 2008. №8. С.116-118.

2. Гузаиров М.Б., Максимов В.А., Валеев А.Р. Совершенствование систем плавок гололеда на высоковольтных ВЛ // Электротехнические комплексы и системы: межвуз. научн. сб. Уфа: УГАТУ, 2014. С. 30–34.

3. Левченко И.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 448 с.

4. Дьяков А.Ф. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий в электрических сетях. Пятигорск: Изд-во РП «Южэнерготехнадзор», 2000. 284 с.

5. Рудакова Р.М. Борьба с гололедом в электросетевых предприятиях. Уфа: Изд-во УГАТУ, 1995. 125 с.

6. Устройство для сброса гололедных отложений с проводов / Белый Д.М., Афанасьев Г.Ф.: пат. № 2481684 Росс. Федерация. № МПК H 02 G 7/16, опубл. 10.05.2013 г., бюл. № 1. 3 с.: ил

7. Бойнович Л.Б., Емельянов А.М. Методы борьбы с обледенением ЛЭП: перспективы и преимущества новых супергидрофобных покрытий. // ЭЛЕКТРО № 6/2011. http://www.ess.ru/.

8. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения теоремы, формулы. Изд. пятое /Г. Корн, Т. Корн. Под ред. И. Г. Арамановича. М.:Наука, 1984. 831 с.

УДК 45.53

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОУПРАВЛЯЕМЫХ МУФТ В АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ С ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СИСТЕМОЙ ПРИВОДА

THE USE OF ELECTRONIC CONTROLLABLE VALVES IN STAND–ALONE POWER SOURCES WITH TUNABLE DRIVE SYSTEM

Андрей Юрьевич Злобин
кандидат технических наук
начальник кафедры
«Электротехники, электроники и электроснабжения ракетных комплексов»
филиал ВА РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (4967) 78-95-86

Владимир Вячеславович Ларкин
преподаватель кафедры
«Электротехники, электроники и электроснабжения ракетных комплексов»
филиал ВА РВСН им. Петра
Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (4967) 78-95-86

Аннотация

Рассматривается возможность создания первичного источника электрической энергии для систем автономного электроснабжения с использованием двухдвигательных дизель-генераторных установок с механической связью через редуктор с планетарной системой передачи с целью увеличения времени автономного функционирования за счет уменьшения удельного расхода топлива.

Ключевые слова: система автономного электроснабжения, дизель-электрический агрегат, время автономной работы, удельный расход топлива.

Summary

The possibility of the creation of the primary source of electrical energy for systems of Autonomous power supply using twin-engine diesel generator sets with a mechanical connection via reducer with planetary transmission system to increase the time of Autonomous functioning by reducing specific fuel consumption.

Keywords: autonomous system of power supply, diesel-electric unit, battery life, specific fuel consumption.

Для современного периода развития систем автономного электроснабжения (САЭ) характерно увеличение разнообразия условий функционирования, вызванное совершенствованием и усложнением технологических процессов объектов, расширением числа и типов оборудования и режимов их использования, расширением диапазона энергетических и электрических параметров, ужесточением требований к качеству электроэнергии и, как следствие, увеличение количества электрооборудования.

Системы автономного электроснабжения применяются в качестве основных автономных систем в централизованном и децентрализованном электроснабжении (при отказе систем внешнего электроснабжения) и представляет собой совокупность автономных источников электроэнергии (например, дизель-электрические агрегаты (ДЭА)), средств приема электроэнергии, ее преобразования и распределения по потребителям, которая обеспечивает:

- бесперебойное электроснабжение ответственных потребителей в разных режимах эксплуатации;
- надежное электроснабжение других технологических и технических средств;
- электромагнитную совместимость с параметрами электроэнергии системы внутреннего электроснабжения.

Значимым недостатком эксплуатируемых в настоящее время ДЭА является увеличение удельного расхода топлива при уменьшении потребля-

емой электрической мощности [1]. Данный недостаток приводит к уменьшению максимально возможной теоретической продолжительности автономной работы при ограниченном запасе топлива, которая возможна при номинальном удельном расходе топлива как ДЭА, так и САЭ в целом. Решение данного вопроса является актуальной задачей.

Уменьшить удельный расход топлива при уменьшении потребляемой электрической мощности, а как следствие увеличить время автономной работы САЭ возможно несколькими основными способами:

- уменьшением скорости вращения приводного вала дизеля;
- обеспечением номинального режима работы ДЭА во всем диапазоне изменения нагрузок объединением в одну энергетическую сеть;
- отключением части цилиндров дизеля.

Анализ эффективности последнего способа проводится для автомобильных двигателей. Расчетные исследования показывают [2] следующее улучшение топливной экономичности двигателей по способам отключения цилиндров: отключение подачи топлива в неработающие цилиндры – 17%, отключение подачи топлива в неработающие цилиндры и устранение насосных потерь – 30%, отключение подачи топлива и разрыв кинематической связи с работающими цилиндрами – 36%.

Третий, наиболее эффективный способ трудновыполним по причине сложности технической реализации прекращения работы кривошипно-шатунного механизма отключенных цилиндров [3]. Для реализации данного способа необходимы дополнительные исследования, проведение опытно-конструкторских работ, глубокая модернизация эксплуатируемого дизельного двигателя.

Добиться эффекта, сопоставимого с полным отключением цилиндров с прекращением работы кривошипно-шатунного механизма отключенных цилиндров, можно за счет многодвигательного построения ДЭА.

Один из возможных вариантов построения силовой части многодвигательных (двухдвигательных) ДЭА приведен в соответствии *с рисунком 1.*

Структура данной схеме ДЭА является перестраиваемой. Пунктиром показаны связи, которые образуются при отказе первого генератора посредством включения через управляемую муфту резервного второго генератора.

Рис. 1. Структурная схема силовой части двухдвигательного дизель-электрического агрегата

При мощности нагрузки близкой к номинальной, синхронный генератор приводится во вращение от выходного вала планетарного редуктора, который посредством управляемых муфт подключен к валам приводных двигателей 1 и 2. Уравнение моментов в этом случае можно записать как

$$J\frac{d\omega_{сг}}{dt} = M_{ред} - M_{н}, \qquad (1)$$

где J – приведенный к валу момент инерции синхронного генератора, кг•м^2;

$M_{ред}$, $M_{н}$ – момент, передаваемый редуктором (движущий момент) и момент нагрузки генератора, н·м;

$\omega_{сг}$ – угловая скорость вращения вала синхронного генератора, рад/с.

Механическая мощность, передаваемая редуктором, в этом случае, есть сумма мощностей приводных двигателей

$$P_{д} = P_{д1} + P_{д2}.$$

С учетом потерь и передаточного числа планетарного редуктора, можно записать выражение

$$M_{ред} \cdot \omega_{сг} \cdot i \cdot \eta = P_{д1} + P_{д2}, \qquad (2)$$

или

$$M_{ред} = \frac{M_{д1} \cdot \omega_{д1} + M_{д2} \cdot \omega_{сг2}}{\omega_{сг} \cdot i \cdot \eta}, \qquad (3)$$

где η – общий КПД редуктора и муфт;

i – передаточное число редуктора.

Если скорости валов дизелей (входных валов редуктора) и выходного вала редуктора равны, то справедливо выражение

$$M_{ред} = \frac{M_{д1} + M_{д2}}{i \cdot \eta}. \qquad (4)$$

Момент нагрузки, с учетом напряжения синхронного генератора, тока нагрузки и скорости вращения вала можно записать как

$$M_н = \frac{3 \cdot I_н \cdot U_{сг}}{\omega_{сг}}. \quad (5)$$

Подставив выражения (4) и (5) в (1), можно записать

$$J\frac{d\omega_{сг}}{dt} = k(M_{д1} + M_{д2}) - \frac{3 \cdot I_н \cdot U_{сг}}{\omega_{сг}}, \quad (6)$$

где $I_н$ – ток нагрузки фазы трехфазного синхронного генератора;

$k = \frac{1}{i \cdot \eta}$ – коэффициент пропорциональности.

При уменьшении мощности нагрузки до половины номинальной, второй двигатель отключается, соответственно уменьшается удельный расход топлива. В этом случае момент, развиваемый вторым двигателем в выражении (6) не учитывается.

Кроме того, особенностью уравнения является перекрестная связь по скорости вала генератора. Также учитывается изменение КПД, который при отключении одного двигателя повышается благодаря отключению муфты, с помощью которой он подключен к входу планетарного редуктора. Коэффициент полезного действия изменяется и при аварийном режиме работы, когда в первом синхронном генераторе произошел отказ и система управления посредством муфты подключила второй генератор.

Структурная схема ДЭА с системой управления приведена на *рисунке 2*.

Работает ДЭА следующим образом. С системы управления подается сигнал на запуск дизельных двигателей и включение двух электронноуправляемых муфт с тормозами. С датчиков угловой скорости 1 и 2 на вход системы управления поступает сигнал о начале вращения валов дизелей. Дизельные двигатели через электронноуправляемые муфты с тормозами приводят во вращение шестерни редуктора с планетарной системой передачи, которая передает суммарный крутящий момент на ротор трехфазного синхронного генератора 1. При подключении потребителей электрической энергии к шине питания переменного тока, на вход системы управления подается сигнал, несущий информацию о потребляемой электрической мощности. При значении потребляемой мощности от номинальной до половины от номинальной, работают дизельные двигатели 1 и 2 и соответственно электронноуправляемые муфты с тормозами 1 и 2. При уменьшении потребляемой мощности меньше половины от номинальной, система управления подает сигнал на отключение электронноуправляемой муфты 2, а затем дизельного двигателя 2, с датчика угловой скорости 2 на систему управления поступает сигнал об остановке дизеля 2 и при этом всю нагрузку на себя берет дизельный двигатель 1, удельный расход топлива электроагрегатом при этом, уменьшается до номинального значения. При увеличении потребляемой мощности больше половины номинальной в этом режиме работы электроагрегата, система управления подает сигнал на включение дизельного двигателя 2. При достижении скорости вращения выходного вала дизельного двигателя 2 до синхронной скорости вращения система управления подает сигнал на включение электронноуправляемой муфты 2 и электроагрегат начинает работать от двух дизельных двигателей 1 и 2. Причем, если при работе электроагрегата происходит отказ трехфазного синхронного генератора 1, при подключенных потребителях электрической энергии к шине питания переменного тока, то на вход системы управления не подается сигнал несущий информацию о потребляе-

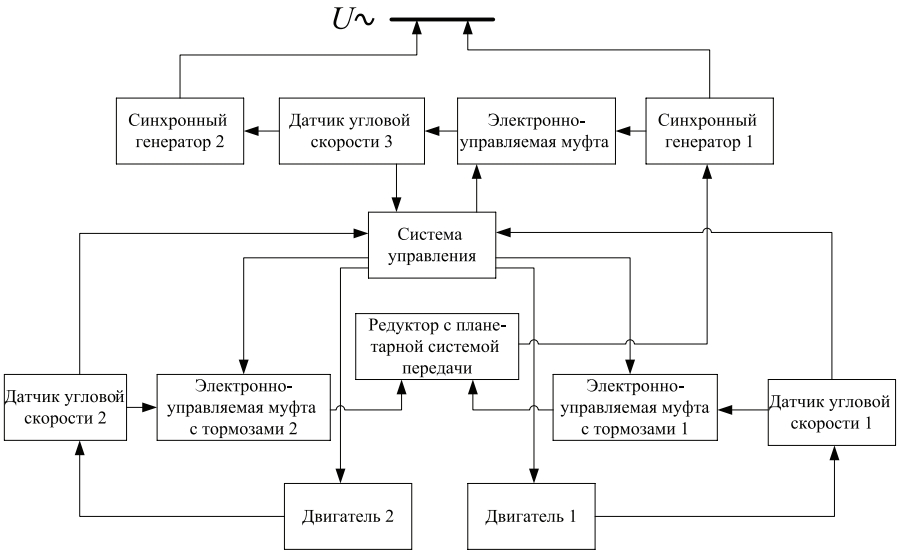


Рис. 2. Структурная схема двухдвигательного дизель-электрического агрегата

мой электрической мощности и система управления подает сигнал на включение электронноуправляемой муфты и подключает в работу трехфазный синхронный генератор 2, при этом с датчика угловой скорости 3 поступает сигнал о вращении ротора.

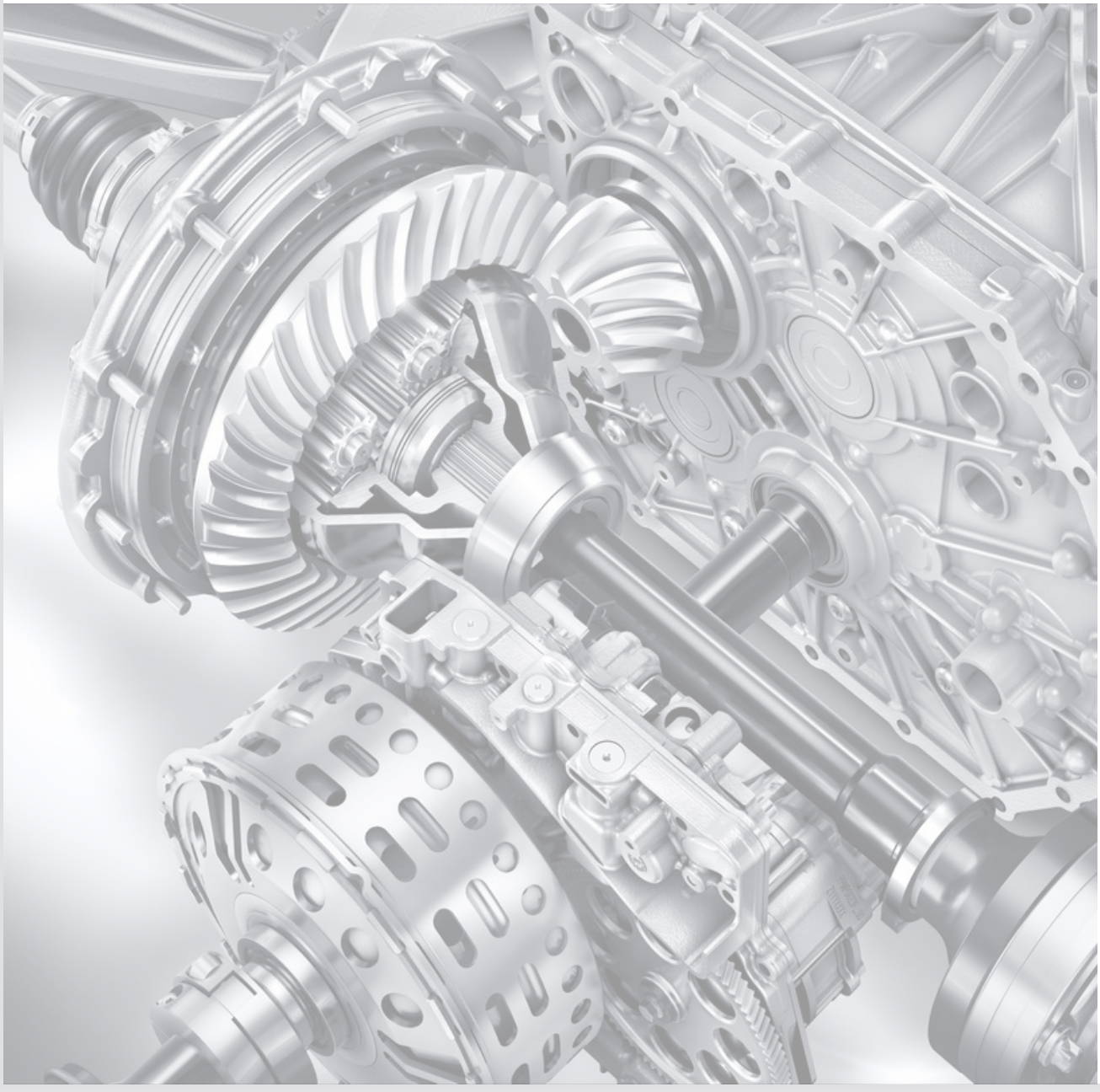
Таким образом, за счет применения двух двигателей, электронноуправляемых муфт с тормозами и редуктора с планетарной системой передачи, можно производит включение и отключение дизельных двигателей в зависимости от мощности потребляемой нагрузки, за счет чего возможно обеспечить оптимизацию удельного расхода топлива и увеличение времени автономной работы ДЭА от одной заправки топливом.

Литература

1. Ромеро А.С. Повышение экономических и экологических качеств дизеля методом отключения цилиндров и циклов: дисс. на соиск. уч. степ. канд. тех. наук. М.: Рос. ун-т дружбы народов, 1995. 161 с.

2. Рудой Б.П. Топливная экономичность двигателей внутреннего сгорания. Уфа: УАИ, 1995. 80 с.

3. Довганюк И.Я. Совершенствование дизель-электрических установок автономных систем электроснабжения // Труды XXIV межведомственной научно-тех. конференции. Часть 7. Серпухов, 2005. С. 76-81.



УДК 81.92

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

THE METHOD OF DETERMINING THE OPTIMAL VARIANT INNOVATIVE PROJECT FOR MODERNIZATION SYSTEMS OF FIRE SAFETY

Борис Фёдорович Безродный
доктор технических наук, профессор
заместитель руководителя
Центр кибербезопасности АО «НИИАС»
заведующий кафедрой
«Прикладная математика»
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Адрес: 125319, Москва, Ленинградский проспект, д. 64
Тел. +7 (903) 774-28-26
E-mail: boris-bezrodny@yandex.ru

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

Игорь Фёдорович Безродный
кандидат технических наук, доцент
научный консультант
АО «Научно-производственное предприятие «ГЕРДА»
Адрес: 125480, Москва, ул. В.Лациса, д.17, стр. 1
Тел.: +7 (495) 755-88-45

Дмитрий Вячеславович Смирнов
доктор технических наук, доцент
действительный член АИН
Генеральный директор –
Первый Вице-президент Института МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93

Аннотация

На основе вероятностно-игровой модели инновационного процесса модернизации системы обеспечения пожарной безопасности (ПБ) объекта или подразделения поставлена и решена задача определения оптимального, в смысле максимизации вероятности полного обеспечения ПБ, инновационного проекта с учетом рисков, возникающих в случае его реализации.

Ключевые слова: пожарная безопасность (ПБ), вероятность возникновения пожара, установки пожаротушения, полное обеспечение ПБ, функциональный цикл.

Summary

Based on probabilistic game-model innovation process of modernization of the system of fire safety (FS) an object or unit set and solved the problem of determining the optimal, in the sense of maximizing the probability of full-enable FS, the innovative project taking into account the risks resulting from its implementation.

Keywords: fire safety (FS), the probability of fire occurrence, the risk of fire, fire extinguishing systems, full support of the FS, the functional cycle.

В настоящее время особую актуальность приобретает объективно обоснованный выбор оптимального, в смысле максимума вероятности полного, т.е. стопроцентного, обеспечения ПБ без дополнительных затрат на стационарные установки пожаротушения, инновационного проекта модернизации системы обеспечения пожарной безопасности цикла функционирования (функционального цикла) объекта или подразделения предприятия или организации с учетом большого числа факторов, влияющих на величину этой вероятности. Поэтому целью данной статьи является разработка методики рационального выбора варианта инновационного

проекта на основе максимизации вероятности полного обеспечения ПБ.

Для расчета вероятностей полного обеспечения ПБ на различных этапах функционального цикла с учетом условных (в зависимости от выбранного для них наборов реализуемых инноваций) вероятностей полного обеспечения ПБ и безусловных вероятностей как использования указанных наборов реализуемых инноваций, так и проявления различных наборов рисков, возникающих при реализации инновационного проекта, можно воспользоваться следующими формулами

$$P(A_i) = \sum_{j=1}^{k_i} P(A_i | B_{ij}) P(B_{ij}) = \sum_{j=1}^{k_i} r_{ij} q_{ij}, \quad (1)$$

где $r_{ij}=P(A_i|B_{ij})$ – условная вероятность полного обеспечения ПБ по завершении i-го этапа функционального цикла, при условии выбора для модернизации его системы обеспечения пожарной безопасности j-го набора инноваций;

$q_{ij}=P(B_{ij})$ – безусловная вероятность выбора из всех возможных j-го набора инноваций для модернизации системы обеспечения пожарной безопасности i-го этапа функционального цикла;

$$P = \prod_{i=1}^{n} \left[\sum_{j=1}^{k_i} P(A_i | B_{ij}) P(B_{ij}) \right] = \prod_{i=1}^{n} \left[\sum_{j=1}^{k_i} r_{ij} q_{ij} \right], \quad (2)$$

$$P(A_i) = \sum_{j=1}^{k_i} \sum_{t=1}^{n_i} P(A_i | B_{ij} | \Pi_{it}) P(B_{ij}) P(\Pi_{it}) = \quad (3)$$

$$= \sum_{j=1}^{k_i} \sum_{t=1}^{n_i} d_{ijt} q_{ij} w_{it},$$

$$P = \prod_{i=1}^{N} \left[\sum_{j=1}^{k_i} \sum_{t=1}^{n_i} P(A_i | B_{ij} | \Pi_{it}) P(B_{ij}) P(\Pi_{it}) \right] = \quad (4)$$

$$= \prod_{i=1}^{N} \left[\sum_{j=1}^{k_i} \sum_{t=1}^{n_i} d_{ijt} q_{ij} w_{it} \right].$$

Вероятность $w_{it}=P(\Pi_{it})$ определяет частоту проявления на i-ом этапе рассматриваемого функционального цикла t-го варианта набора рисков, возникающих при модернизации системы обеспечения пожарной безопасности функционального цикла.

Вышеупомянутые условные вероятности полного обеспечения ПБ по завершении этапов функционального цикла

$$r_{ij}=P(A_i|B_{ij})$$

и

$$dij=P(A_i|B_{ij}|\Pi_{it})$$

могут быть вычислены с использованием известных моделей и методик [1,7] и в конечном итоге сводятся в таблицы, а безусловные вероятности

$$q_{ij}=P(B_{ij})$$

и

$$w_{it}=P(\Pi_{it})$$

$$(i=1,\ldots,N;\ j=1,\ldots,k_i;\ t=1,\ldots,n_i)$$

являются в общем случае варьируемыми величинами (переменными). При этом значения вероятностей

$$w_{it}=P(\Pi_{it})$$

следует выбирать в рамках общепринятого математического подхода, ориентируясь на наихудший с точки зрения критерия эффективности вариант, рассматривая их либо как антагонистически управляемые переменные, либо по ним необходимо усреднять критерий эффективности, когда мы их в силу априорной неопределенности считаем случайными факторами [3]. В итоге на них накладываются ограничения, естественные для вероятностей событий образующих полную группу, то есть:

$$0 \le w_{it} \le 1; t = 1,\ldots, n_i; \sum_{t=1}^{n_i} w_{it} = 1, \quad (5)$$

для любого $i=1, \ldots, N$.

Напротив, выбор оптимальных значений величин q_{ij}, максимизирующих критерий эффективности, т.е. вероятность полного обеспечения ПБ, составляет в конечном итоге суть процесса оптимизации порядка выбора из возможных инновационных проектов, т.е. наборов реализуемых при модернизации систем обеспечения пожарной безопасности этапов функционального цикла инноваций. На них, аналогично (5), следует наложить естественные ограничения

$$0 \le q_{ij} \le 1; j = 1,\ldots, n_i; \sum_{j=1}^{n_i} q_{ij} = 1, \quad (6)$$

для любого $i=1, \ldots, N$.

Основную сложность при постановке задачи оптимизации порядка выбора наборов, реализуемых при модернизации системы пожарной безопасности функционального цикла инноваций, представляет задание стоимостных ограничений. Дело в том, что множества вариантов инновационных элементов и операций в условиях той или иной функциональной ситуации, используемые на различных этапах функционального цикла, могут как не пересекаться или пересекаться, так и просто совпадать. Данный факт обусловливает возможность использования одних и тех же инновационных элементов и операций для совершенствования системы обеспечения пожарной безопасности на различных этапах функционального цикла, которая в свою очередь затрудняет оценку общей стоимости реализации для полного обеспечения ПБ инновационных проектов, представляющих собой наборы инновационных элементов и операций. Это значительно усложняет формализацию получения такой оценки и приводит к оптими-

зационной задаче, разрешимой в общем случае лишь путем полного перебора всех различных вариантов в дискретном случае, когда величины q_{ij} изменяются с некоторым фиксированным дискретом, а при непрерывном изменении вероятностей q_{ij} становится численно практически неразрешимой [4].

Поэтому, для преодоления возникшей вышеописанной трудности, введем понятие удельной амортизационной стоимости инновационного элемента или инновационной операции, что позволяет нам получить аддитивные ограничения стоимости используемых их наборов на каждом из этапов функционального цикла.

Пусть:

C – стоимость конкретного реализуемого при модернизации системы обеспечения пожарной безопасности функционального цикла инновационного элемента (операции), т.е. затраты на его оснащение, документирование, подготовку специалистов для его осуществления и иные затраты, связанные с его подготовкой и реализацией;

T – среднее время его использования при организации функционального цикла (например, продолжительность полезного использования или срок амортизации конкретного инновационного элемента (операции);

t – предписанная технологических процессом или плановая периодичность применения рассматриваемого инновационного элемента, т.е. среднее время между актами его использования.

Будем считать, что амортизация затрат на реализацию при модернизации системы обеспечения пожарной безопасности функционального цикла конкретного инновационного элемента (операции) распределяется равномерно в течение всего срока его использования. Такое допущение на практике является вполне приемлемым. Тогда удельная амортизационная стоимость однократного применения этого инновационного элемента (операции) можно оценить по формуле:

$$C_{уд} = \frac{C \cdot t}{T}. \qquad (7)$$

Естественно, формула (7) является очень приближенной и упрощенной. Ее можно уточнить, вводя различные значения t для различных этапов функционального цикла и вариантов инновационных проектов, т.е. комплексов инновационных элементов и операций. Однако смысл ее от этого не изменится. Таким образом, если мы сложим удельные амортизационные стоимости инновационных элементов и операций, входящих в j-й вариант инновационного проекта, используемого для модернизации системы обеспечения пожарной безопасности i-го этапа функционального цикла, то получим удельную амортизационную стоимость c_{ij} j-го инновационного проекта для модернизации системы обеспечения пожарной безопасности i-го этапа функционального цикла. Учитывая безусловные вероятности q_{ij} реализации j-го инновационного проекта для модернизации системы обеспечения пожарной безопасности i-го этапа функционального цикла, получаем стоимость C_i инновационной модернизации системы обеспечения пожарной безопасности i-го этапа функционального цикла как ее математическое ожидание

$$C_i = \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij}. \qquad (8)$$

Тогда итоговую стоимость инновационной модернизации системы обеспечения пожарной безопасности функционального всего функционального цикла можно посчитать по формуле

$$C = \sum_{i=1}^{N} C_i = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{k_i} c_j q_j. \qquad (9)$$

Отметим, что необходимые данные для вычисления удельной амортизационной стоимости однократного применения конкретного инновационного элемента или операции по формуле (7) или ее уточненному варианту (при необходимости учета специфики конкретного этапа и конкретного состава используемого при модернизации функционального цикла инновационного проекта), как правило, содержатся в технико-экономических обоснованиях и сметах расходов на рассматриваемые инновационные проекты. Это позволяет удельные амортизационные стоимости однократного применения инновационных элементов и операций c_{ij} просто затабулировать.

Теперь приступим непосредственно к постановке задачи оптимизации порядка применения составляющих инновационные проекты наборов инновационных элементов и операций, реализуемых при модернизации системы обеспечения пожарной безопасности на основе максимизации вероятности полного обеспечения ПБ с учетом стоимостных ограничений путем выбора оптимальных значений безусловных вероятностей q_{ij} применения j-го инновационного проекта на i-ом этапе функционального цикла

$(i=1,\ldots,N;\ j=1,\ldots,ki)$.

Итак, мы обозначили через P вероятность полного обеспечения ПБ функционального цикла, а через C – стоимость его инновационной модернизации.

Таким образом, в качестве критерия эффективности инновационного проекта модернизации системы обеспечения пожарной безопасности функционального цикла объекта или под-

разделения целесообразно выбрать вероятность P полного обеспечения ПБ по завершении всего функционального цикла.

Остается обозначить через C_0 максимально допустимую величину стоимости инновационного проекта модернизации системы обеспечения пожарной безопасности цикла функционирования, определяемую из экономических возможностей ведомства, объекта или подразделения. Тогда задача оптимизации будет иметь вид

$$\mathrm{P} \to \max, \text{ при } C \le C_0. \qquad (10)$$

Если на практике появляется необходимость минимизировать стоимость инновационного проекта модернизации системы обеспечения пожарной безопасности цикла, то следует задать минимально допустимую вероятность полного обеспечения ПБ по его завершении P_0, тогда задача оптимизации, двойственная к задаче (10) будет иметь вид

$$C \to \min, \text{ при } \mathrm{P} \ge \mathrm{P}_0. \qquad (11)$$

Также при оценке эффективности инновационного проекта модернизации системы обеспечения пожарной безопасности функционального цикла по широко известному [3] критерию эффективность/стоимость задача оптимизации преобразуется в

$$\mathrm{P} / C \to \max. \qquad (12)$$

Однако наиболее приемлемым с практической точки зрения, критерием эффективности инновационного проекта модернизации системы обеспечения пожарной безопасности является вероятность полного обеспечения ПБ, а задачу оптимизации порядка применения обеспечивающих модернизацию системы обеспечения пожарной безопасности функционального цикла инновационных проектов, т.е. комплексов инновационных элементов и операций, наиболее целесообразно ставить в виде (10). Постановка ее в виде (11) целесообразна лишь в случае, когда имеют место значительные финансовые трудности, а значение P_0 близко к единице.

Постановка оптимизационной задачи в виде (12) с точки зрения общепринятой теории оценки эффективности [4] является классической, однако, с практической точки зрения, применительно к обеспечению ПБ на объектах и в подразделениях, относящихся к числу взрывопожароопасных, (например, резервуарные парки, предприятия нефтехимии и нефтегазопереработки) – малосодержательной. Такая постановка рассматриваемой оптимизационной задачи в целом ряде случаев приводит к оптимальным решениям, характеризуемым невысокой вероятностью полного обеспечения ПБ функционального цикла при относительно скромных затратах на инновационную модернизацию системы обеспечения его пожарной безопасности.

Учитывая формулы (2), (9) и ограничения (6), оптимизационная задача (10) принимает вид

$$\mathrm{P}_{\max} = \max_{q_{ij}} \prod_{i=1}^{N} \left[\sum_{j=1}^{k_i} r_{ij} q_{ij} \right], \qquad (13)$$

$$\text{при } \sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1; \quad \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} \le C_o;$$

$$0 \le q_{ij} \le 1; \quad j = 1,\ldots,k_i; \quad i = 1,\ldots,N.$$

Постановка (13) оптимизационной задачи (10) соответствует случаю, когда проявление различных наборов рисков возникновения пожара, имеющих место на исследуемых объекте или подразделении, в том числе при реализации инновационного проекта модернизации его системы обеспечения пожарной безопасности, принимается случайным, а условная вероятность $P(A_i|B_{ij})$ полного обеспечения ПБ по завершении i-го этапа функционального цикла при использовании для модернизации его системы обеспечения пожарной безопасности j-го инновационного проекта по вариантам проявления различных наборов вышеупомянутых рисков усредняется, то есть $P(A_i|B_{ij})$ принимается равным математическому ожиданию вероятности $P(A_i|B_{ij}|\Pi_{il})$.

Если же такое усреднение не проводить, а принять игровую модель [6], при которой проявление различных наборов рисков возникновения пожара, имеющих место на исследуемых объекте или подразделении, в том числе при реализации инновационного проекта модернизации его системы обеспечения пожарной безопасности, не является случайным, а рассчитывается на наихудший случай (минимаксный подход, соответствующий модели антагонистической игры), то оптимизационная задача (10) с учетом формул (4), (9) и ограничений (5) и (6) примет вид:

$$\mathrm{P}_{\max} = \max_{q_{ij}} \min_{w_{it}} \prod_{i=1}^{N} \left[\sum_{j=1}^{k_i} \sum_{t=1}^{n_i} d_{ijt} q_{ij} w_{it} \right], \qquad (14)$$

$$\text{при } \sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1; \quad \sum_{t=1}^{n_i} w_{it} = 1; \quad \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} \le C_o;$$

$$0 \le q_{ij} \le 1; \; 0 \le w_{it} \le 1; \; j = 1,\ldots,k_i; \; t = 1,\ldots,n_i; \; i = 1,\ldots,N.$$

Таким образом, мы поставили в терминах теории исследования операций задачу оптимизации порядка применения различных наборов инновационных элементов и операций, составляющих инновационные проекты реализуемые для модернизации системы обеспечения пожар-

ной безопасности функционального цикла, на основе максимизации вероятности полного обеспечения ПБ, как по завершении его в целом, так и по завершении его этапов, с учетом стоимостных ограничений. При этом она свелась к оптимизационным задачам (13) и (14), в которых проявление различных наборов рисков возникновения пожара, имеющих место на исследуемых объекте или подразделении, в том числе при реализации инновационного проекта модернизации его системы обеспечения пожарной безопасности, считается, соответственно, случайным или антогонистическим.

Рассмотрим сначала решение этих задач в чистых стратегиях. Это означает, что вероятности применения какого-либо из инновационных проектов на любом этапе функционального цикла принимает значения «0» или «1», что соответствует выработке рекомендаций об использовании конкретных комплексов инновационных элементов и операций, составляющих инновационный проект, реализуемый для модернизации системы обеспечения пожарной безопасности того или иного этапа функционального цикла.

Предварительно упростим критерий оптимизации, для чего воспользуемся монотонностью функции *ln(x)*. Прологарифмируем критерий оптимизации и получим аддитивное его выражение, более приемлемое для дальнейшего решения оптимизационных задач (13) и (14). После логарифмирования критерия оптимизации задача (13) примет вид

$$(\ln \mathrm{P})_{\max} = \max_{q_{ij}} \sum_{i=1}^{N} \ln\left[\sum_{j=1}^{k_i} r_{ij} q_{ij}\right], \quad (15)$$

при $\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1$; $\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} \le C_0$;

$$0 \le q_{ij} \le 1; \quad j = 1,\ldots,k_i; i = 1,\ldots,N.$$

Отметим, что логарифм критерия оптимизации процесса инновационной модернизации системы обеспечения пожарной безопасности функционального цикла преобразовался в сумму логарифмов, аргументами которых являются критерии оптимизации процессов инновационной модернизации систем обеспечения пожарной безопасности функционального цикла, представляющие собой линейные комбинации своего набора переменных.

Предположим также, что финансовый ресурс C_0, который ограничивает математическое ожидание стоимости инновационной модернизации функционального цикла, распределен между его этапами некоторым образом

$$C_0 = C_1 + \ldots + C_N.$$

В этом случае при фиксированных $C_1,\ldots,C_N$ можно оптимизировать этапы по отдельности, т.к. каждое слагаемое – логарифм зависит от своих q_{ij}, и задача (15) трансформируется в задачу

$$(\ln \mathrm{P})_{\max} = \max_{C_1,\ldots,C_N} \sum_{i=1}^{N} \ln\left[\max_{q_{i1},\ldots,q_{ik_i}} \sum_{j=1}^{k_i} r_{ij} q_{ij}\right], \quad (16)$$

при $\sum_{i=1}^{N} C_i = C_0$; $\sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} = C_i$; $\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1$; $i = 1,\ldots,N$.

Данная задача представляет собой суперпозицию задачи максимизации вероятности полного обеспечения ПБ по завершении всего функционального цикла на основе оптимизации распределения ресурсов между его этапами

$$(\ln \mathrm{P})_{\max} = \max_{C_1,\ldots,C_N} \sum_{i=1}^{N} \ln \varphi_i(C_i), \quad (17)$$

при $C_1 + \ldots + C_N = C_0$

и задач максимизации вероятности полного обеспечения ПБ по завершении его этапов

$$\varphi_i(C_i) = \max_{q_{i1},\ldots,q_{ik_i}} \sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} r_{ij}, \quad (18)$$

при $0 \le q_{ij} \le 1$; $\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1$; $\sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} \le C_i$.

Задача (17) является классической задачей распределения ресурсов, решаемая методами динамического программирования [5], а задача (18) представляет собой задачу линейного программирования, решаемую в общем виде с использованием симплекс-метода [6].

Итак, приступим к решению задачи (13) путем последовательного решения набора N задач (18) и задачи (17) в чистых стратегиях. Это означает, что для любого $i=1,\ldots,N$ в наборе вероятностей $q_{i1},\ldots,q_{ik}$ одна ровна единице, остальные – нулю. В этом случае ограничения задачи (18) определяют множества индексов j таких что, соответствующие вероятности q_{ij} могут принимать значение «1». Это – множество $J_i(C_i)$. Тогда решением задачи (18) в чистых стратегиях будет

$$\varphi_i(C_i) = \max_{j \in J_i(C_i)} r_{ij} = r_{ij_i^{opt}(C_i)}; \quad (19)$$

а задача (17) примет вид

$$(\ln \mathrm{P})_{\max} = \max_{C_1,\ldots,C_N} \sum_{i=1}^{N} \ln\left(\max_{j \in J_i(C_i)} r_{ij}\right), \quad (20)$$

при $C_1 + \ldots + C_N = C_0$.

Задачу (20) будем решать методом динамического программирования.

Согласно принципу оптимальности Беллмана [5] справедливо следующее равенство

$$(\ln \mathrm{P})_{\max} = \max_{C_1,\dots,C_N} \sum_{j=1}^{N} \ln \varphi_i(C_i) =$$
$$= \max_{C_1} (\ln \varphi_1(C_i) + \max_{C_2} (\ln \varphi_2(C_2) + \quad (21)$$
$$+ \max_{C_3} (\ln \varphi_3(C_3) + \dots) \dots)),$$
при $C_1 + \dots + C_N = C_0$.

Другими словами, имеет место рекурсивная зависимость

$$(\ln \mathrm{P})_{\max} = \max_{C_1} F_1(C_1); \quad (22)$$
$$F_i(C_i) = \ln \varphi_i(C_i) + \max_{C_{i+1}} F_{i+1}(C_{i+1});$$
$$i = 2,\dots,N-1; \quad F_N = \max_{C_N} \ln \varphi_N(C_N).$$

Отметим, что ограничение C_i, $(i=1,\dots,N)$ с точки зрения различных значений $j_i^{опт}(C_i)$ из (19) целесообразно изменять дискретно. Множество значений ограничений C_i, дающих различные значения $j_i^{опт}$ от Ci представляет упорядоченный в порядке возрастания набор удельных амортизационных стоимостей $\{c_{ij_1},\dots,c_{ij_{k_i}}\}$ для i-го этапа функционального цикла.

Таким образом, задача динамического программирования (20)-(22) является дискретной, а для ее решения целесообразно применить известный алгоритм Беллмана [5]. После его применения для решения задачи (20-22), с учетом решения (19) задачи (18), получаем решение оптимизационной задачи (13) в чистых стратегиях

$$\mathrm{P}_{\max} = \prod_{i=1}^{N} r_{ij_i^{опт}}\left(C_i^{опт}\right), \quad (23)$$

где $C_1^{опт},\dots,C_N^{опт}$ – оптимальное решение задачи (20-22);

$r_{ij_i^{опт}}\left(C_i^{опт}\right)$ – оптимальное решение задачи (20);

$j_i^{опт}\left(C_i^{опт}\right)$ – оптимальный вариант инновационного проекта (комплекс инновационных элементов и операций), применяемый для модернизации системы обеспечения пожарной безопасности i-го этапа функционального цикла.

Теперь решим в чистых стратегиях оптимизационную задачу (14), учитывающую проявления различных рисков возникновения пожара, имеющих место на исследуемых объекте или подразделении, в том числе при реализации инновационного проекта модернизации его системы обеспечения пожарной безопасности. Используя монотонность функции $ln(x)$, прологарифмируем целевую функцию оптимизационной задачи (14), тогда она примет вид

$$\left(\ln \mathrm{P}\right)_{\max} = \max_{q_{ij}} \min_{w_{it}} \sum_{j=1}^{n} \ln \sum_{j=1}^{k_i} \sum_{i=1}^{n_i} d_{ijt} q_{ij} w_{it}, \quad (24)$$
при $\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1; \ \sum_{t=1}^{n_i} w_{it} = 1; \ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} \le C_0;$
$0 \le q_{ij} \le 1 \quad 0 \le w_{it} \le 1;$
$j = 1,\dots,k_i; t = 1,\dots,n_i; i = 1,\dots,N.$

Аналогично переходу от (14) к (16), учитывая, что множество переменных q_{ij} и w_{it} для различных значений i не пересекаются, преобразуем задачу (24) к виду

$$(\ln \mathrm{P})_{\max} = \max_{C_1,\dots,C_N} \sum_{i=1}^{n} \ln \left(\max_{q_{i1},\dots,q_{ik_i}} \min_{w_{i1},\dots,w_{in_i}} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{t=1}^{n_i} d_{ijt} q_{ij} w_{it} \right), \quad (25)$$

при $\sum_{i=1}^{N} C_i \le C_0; \ \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_j = C_i;$
$0 \le q_{ij} \le 1; \ 0 \le w_{it} \le 1; \ \sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1; \ \sum_{t=1}^{n_i} w_{ij} = 1; \ i = 1,\dots,N;$

Также как и задача (16), задача (25) представляет собой задачу распределения ресурсов

$$(\ln \mathrm{P})_{\max} = \max_{C_1,\dots,C_N} \sum_{i=1}^{N} \ln \Psi_i(C_i), \quad (26)$$
при $C_1 + \dots + C_N = C_0,$

функции $\Psi_i(C_i)$ в которой определяются, исходя из решения задачи максимизации вероятности полного обеспечения ПБ по завершении i-го этапа функционального цикла

$$\Psi_i(C_i) = \max_{q_{i1},\dots,q_{ik_i}} \min_{w_{i1},\dots,w_{in_i}} \sum_{j=1}^{k_i} \sum_{t=1}^{n_i} d_{ijt} q_{ij} w_{it}, \quad (27)$$
при $0 \le q_{ij} \le 1; \ 0 \le w_{it} \le 1;$
$\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1; \ \sum_{t=1}^{k_i} w_{it} = 1; \ \sum_{j=1}^{k_i} \tilde{n}_j \cdot q_j \le C_i,$

являющийся классической задачей оты ания нижней цены матричной игры $\left(d_{ijt}\right)_{k_i x n_i}$ [4].

Решим задачу (27) в чистых стратегиях. Это означает, что в наборах вероятностей $\{q_{i1},\dots,q_{k_i}\}$ и $\{w_{i1},\dots,w_{i n_i}\}$ при любом i одна из величин q_{it} и w_{it} равна единице, а остальные – нулю. Сначала для всех $j=1,\dots,k_i$ выбираем минимальное по t значение величины d_{ijt} из набора $\{d_{j1},\dots,d_{ijn_i}\}$, достигаемое при $t_{ij}^{\min}$, то есть $d_{ijt_{ij}^{\min}}$. После этого задача (27) примет вид аналогичный (18)

$$\Psi_i(C_i) = \max_{q_{i1},\dots,q_{k_i}} \sum_{j=1}^{k_i} d_{ijt_j^{\min}} q_j, \quad (28)$$
при $0 \le q_{ij} \le 1; \ \sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1; \ \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} \le C_i;$

Также введем множество индексов j, при которых выполняется стоимостное ограничение в (28) при решении этой задачи в чистых стратегиях. Это множество

$$J_i(C_i) = \{1 \le j \le k_i; c_j \le C_i\}.$$

Тогда решение задач (28) в чистых стратегиях будет:

$$\Psi_i(C_i) = \max_{j \in J_i(C_i)} d_{ijt_{ij}^{\min}} \quad (29)$$

Обозначим оптимальный индекс j в (29) через $j_i^{опт}(C_i)$, тогда (29) преобразуется к виду

$$\Psi_i(C_i) = d_{ij_i^{опт}(C_i)t_{ij}^{\min}}; \quad (30)$$

$$(\ln \mathrm{P})_{\max} = \max_{C_1,\ldots,C_N} \sum_{i=1}^{N} d_{ij_i^{опт}}(C_i) t_{ij}^{\min}, \qquad (31)$$

при $C_1 + \ldots + C_N = C_0$

Задача (31) как и задача (30) решается, аналогично (21) и (22) методом динамического программирования с помощью алгоритма Беллмана [5]. Также, как и (20), задача (31) является дискретной, так как с точки зрения возможности получения различных решений $j_i^{опт}(C_i)$ задачи (29) множество значений ограничения C_i сужается до соответствующего набора удельных амортизационных стоимостей. После применения для решения задачи (31) алгоритма Беллмана получаем решение исходной задачи (14) в чистых стратегиях

$$\mathrm{P}_{\max} = \prod_{i=1}^{N} d_{ij_i^{опт}\left(C_i^{опт}\right) t_{ij}^{\min}}, \qquad (32)$$

где $C_1^{опт}, \ldots, C_N^{опт}$ – оптимальное решение задачи (31);

$d_{ij_i^{опт}\left(C_i^{опт}\right) t_{ij}^{\min}}$ – оптимальное решение задачи (27);

$j_i^{опт}\left(C_i^{опт}\right)$ – оптимальный с учетом проявления различных наборов рисков возникновения пожара, имеющих место на исследуемых объекте или подразделении, в том числе при реализации инновационного проекта модернизации его системы обеспечения пожарной безопасности инновационный проект (комплекс инновационных элементов и операций), применяемый для модернизации системы обеспечения пожарной безопасности i-го этапа функционального цикла.

Вывод

Предложенная на основе вероятностно-игровой модели процедура выбора оптимального инновационного проекта (комплекса инновационных элементов и операций), используемых при модернизации системы обеспечения пожарной безопасности функционального цикла объекта или подразделения для полного обеспечения ПБ на всех этапах функционального цикла, как с учетом рисков возникновения пожара, имеющих место на исследуемых объекте или подразделении, в том числе при реализации инновационного проекта модернизации его системы обеспечения пожарной безопасности, так и в случае их осреднения, позволяет определить варианты инновационного проекта на каждом этапе, при использовании которых гарантируется максимальная вероятность полного обеспечения ПБ по завершении всего функционального цикла.

Литература

1. Безродный Б.Ф., Смирнов Д.В., Майоров С.А. Оценка вероятностей ошибок при отбраковке электронных компонентов при импортозамещении // Известия Института инженерной физики, 2015. №4(38). С. 13-18.

2. Горелик В.А. Теория игр и исследование операций. М.: МИНХ и ГП, 1978. 94 с.

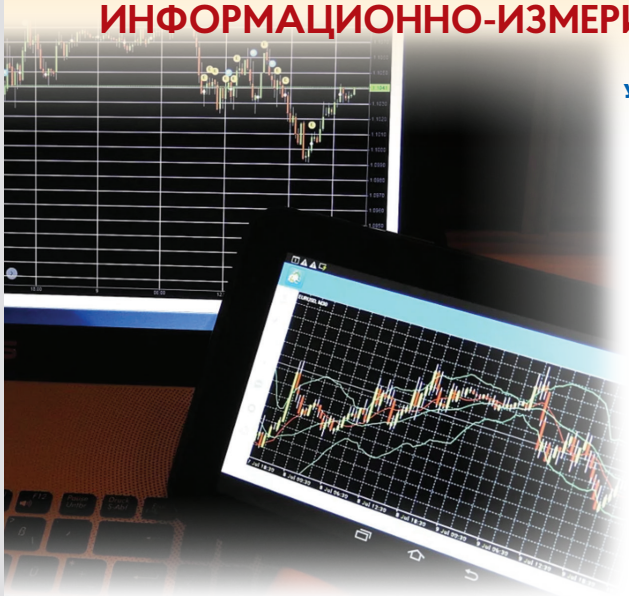
3. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1988. 208 с.

4. Школьников А.Д. Основы теории игр. Л.: Изд. Горного института, 1970.

5. Шерстобитов В.В. Математическое программирование. Учеб. пособие для инж.-экон. фак. Ч. 1. Ленинград, 1969. 87 с.

6. Шерстобитов В.В. Математическое программирование. Учеб. пособие для инж.-экон. фак. Ч. 2. Ленинград, 1970. 69 с.

7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Высшая школа, 1998. 576 с.



УДК 681.23

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ НЕСИНХРОНИЗИРОВАННОМ СТРОБИРОВАНИИ В ВИРТУАЛЬНОМ АНАЛИЗАТОРЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

RECOVERING A PERIODIC SIGNAL WITH NON-SYNCHRONIZED GATING IN A VIRTUAL ANALYZER OF THE AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTIC

Александр Александрович Калюжный
магистрант кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: 8(910) 093-78-54
E-mail: aleksandrkalyuzhnyy@mail.ru

Владислав Александрович Поздняков
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: 8(4922) 27-96-24
E-mail: Vlad_23@mail.ru

Александр Дмитриевич Поздняков
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: 8(4922) 27-96-24
E-mail: Vlad_23@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен метод восстановления периодического сигнала в виртуальном анализаторе амплитудно-частотной характеристики при несинхронизированном стробировании. Дискретные отсчеты, полученные с помощью стробирующего аналого-цифрового преобразователя при нелинейной трансформации временного масштаба, выстраиваются в нужном порядке путем вычисления положения каждой точки в пределах одного или нескольких периодов сигнала. Для каждой рабочей частоты выбирается такая частота дискретизации, при которой в периоде восстановленного сигнала укладывается заданное целое число равноотстоящих отсчетов. Промежуточные точки интерполируются функцией $\sin(x)/x$. Результаты моделирования представлены в виде таблиц и графиков исходных и восстановленных сигналов.

Ключевые слова: восстановление сигнала, стробирование, виртуальный анализатор, аналого-цифровой преобразователь, трансформация временного масштаба, дискретизация.

Summary

The method of recovery of the periodic signal in a virtual amplitude frequency analyzer when the unsynchronized gating. Discrete samples obtained by gating the analog-to-digital converter with a nonlinear transformation of the time scale are arranged in proper order by calculating the position of each point within one or more periods of the signal. For each operating frequency is chosen such as the sampling frequency, where the period of the recovered signal fits predetermined integer number of equally spaced samples. For the intermediate points used interpolation by functions $\sin(x)/x$. The simulation results are presented in tables and graphs of the original and recovered signals.

Keywords: restoration of the signal gating, virtual analyzer, analog-to-digital converter, the transformation of the time scale discretization.

Введение

Развитие вычислительной техники и алгоритмической базы радиоизмерений значительно расширило сферы применения численных методов оценки параметров радиосигналов [1, 2] в автоматизированных компьютерных системах контроля, испытаний и мониторинга радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Применение методов цифровой обработки сигналов (ЦОС) позволяет перейти от прямых методов измерений к более точным и быстродействующим косвенным методам с заменой сложных и дорогостоящих автономных измерительных приборов на их виртуальные аналоги.

Применение ЦОС делает возможным использование персонального компьютера (ПК) в качестве универсального измерительного комплекса при оснащении его многоканальными аналого-цифровыми и цифроаналоговыми преобразователями (АЦП и ЦАП). В автономных приборах для исследования амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик (АЧХ и ФЧХ), а также измерителях *S*-параметров анализ испытательных гармонических сигналов осуществляется на известных частотах, формируемых генераторным блоком. Это позволяет упростить алгоритмы ЦОС в специализированных комплексах виртуальных приборов (СКВП) [3, 4]. Такой комплекс может заменить более 10 автономных измерительных приборов. Перед исследователем возникает задача, как на основе цифровых данных, полученных на конечном интервале времени, сформировать максимально достоверное представление об основных характеристиках сигнала. Прежде всего, требуется получить информацию о форме сигнала, то есть восстановить его и представить на экране виртуального осциллографа.

При проведении испытаний электронных средств осциллограф является наиболее используемым прибором, позволяющим измерять большое число различных параметров. Для расширения его полосы пропускания при исследовании периодических сигналов применяется метод синхронизированного стробирования, в котором восстановление формы сигнала осуществляется путем линейной интерполяции между отсчетами, положение которых синхронизируется с периодом исследуемого процесса так, чтобы получить нужный коэффициент трансформации временного масштаба и требуемый шаг считывания во времени. На выходе стробоскопического преобразователя образуется последовательность расширенных импульсов, огибающая амплитуд которых повторяет форму исходного сигнала. Недостатками синхронизированного стробирования являются аппаратная сложность и узкий диапазон рабочих частот дискретизации для каждой частоты сигнала.

Восстановление сигнала при несинхронизированном стробировании

Заменить аналоговое стробоскопическое преобразование можно цифровым путем обработки массива мгновенных отсчетов сигнала, получаемых с помощью стробирующего АЦП с регулируемой частотой дискретизации. Высокочастотный АЦП позволяет решать разные измерительные задачи на программном уровне и реализовать трансформацию временного масштаба путем вычислений без применения аппаратных средств задержки и синхронизации. Серийно выпускаемые АЦП в режиме стробирования имеют полосу пропускания до десятков гигагерц при частоте дискретизации до сотен мегагерц, что позволяет проводить исследования в широком диапазоне радиочастот.

В работах [3, 4] рассмотрен метод восстановления формы периодического дискретизированного сигнала при несинхронизированном стробировании. Особенностью метода является перестановка получаемых мгновенных отсчетов, собранных путем стробирования в интервале целого числа периодов сигнала. При известном периоде сигнала полученные отсчеты располагают на оси времени в правильном порядке, который определяется в результате вычислений их положения (t_i) в соответствии с выражением:

$$t_i = jT_D - iT_S, \qquad (1)$$

где j – порядковый номер (целое число) отсчета сигнала;

i – целое число, для которого выполняется условие

$$T_S \geq jT_D - iT_S > 0; T_S;$$

T_D – периоды сигнала и дискретизации.

Схема измерения частотной характеристики, реализующая способ несинхронизированного стробирования, представлена на *рисунке 1*. В зависимости от частоты сигнала, формируемого с помощью ЦАП, устанавливается оптимизированная частота дискретизации АЦП, переставляются отсчеты и выводится график сигнала на экран монитора.

Выбор частоты дискретизации сигнала

Моделирование и апробация метода перестановки отсчетов выявили задачу правильного выбора рабочей частоты дискретизации, для которой в периоде восстановленного сигнала укладывается целое число отсчетов N с равномерным шагом. При этом период дискретизации сигнала можно задать выражением

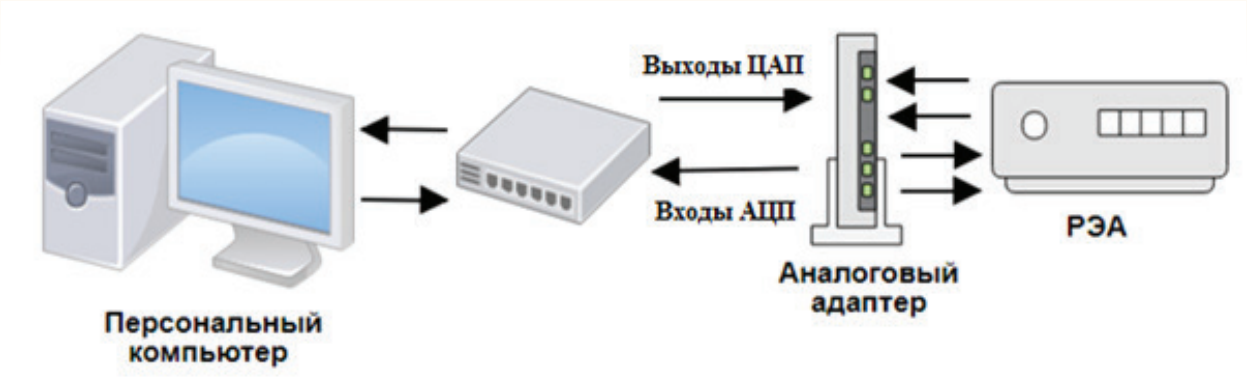


Рис. 1. Схема измерения частотной характеристики, реализующая способ несинхронизированного стробирования

$$T_D = MT_S/N,$$

где M – коэффициент трансформации временного масштаба, численно равный целому числу периодов сигнала укладывающихся в интервале сбора массива неповторяющихся отсчетов.

Частота равномерной дискретизации

$$F_D = F_S N / M, \qquad (2)$$

где F_S – частота сигнала;
N/M – простая несокращаемая дробь.

Как показало моделирование, важным требованием является выбор такой частоты дискретизации, для которой период восстановленного сигнала делится на целое число одинаковых интервалов без остатка. При этом избыточные отсчеты повторяют значения уже полученных данных. В противном случае расстояние между отсчетами не будет одинаковым, и это затруднит обработку сигнала. Увеличение времени анализа приведет к сдвигу отсчетов с образованием групп промежуточных точек. Следует выбирать отношение N/M таким, чтобы для заданной частоты сигнала была доступная частота дискретизации.

Таблица 1

Параметры	Частота дискретизации FD при частоте сигнала FS=100 МГц и коэффициенте трансформации M=131 для числа точек в периоде сигнала N									
N	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
FD,МГц	5,344	6,107	6,870	7,634	8,397	9,160	9,923	10,687	11,450	12,213

В *таблице 1* приведены значения F_D для целого N=7,8,...16 и фиксированного простого числа M=131, которое выбрано для получения несокращаемого отношения N/M. Здесь предъявляются требования к выбору частоты дискретизации с точностью до 4-5 знака.

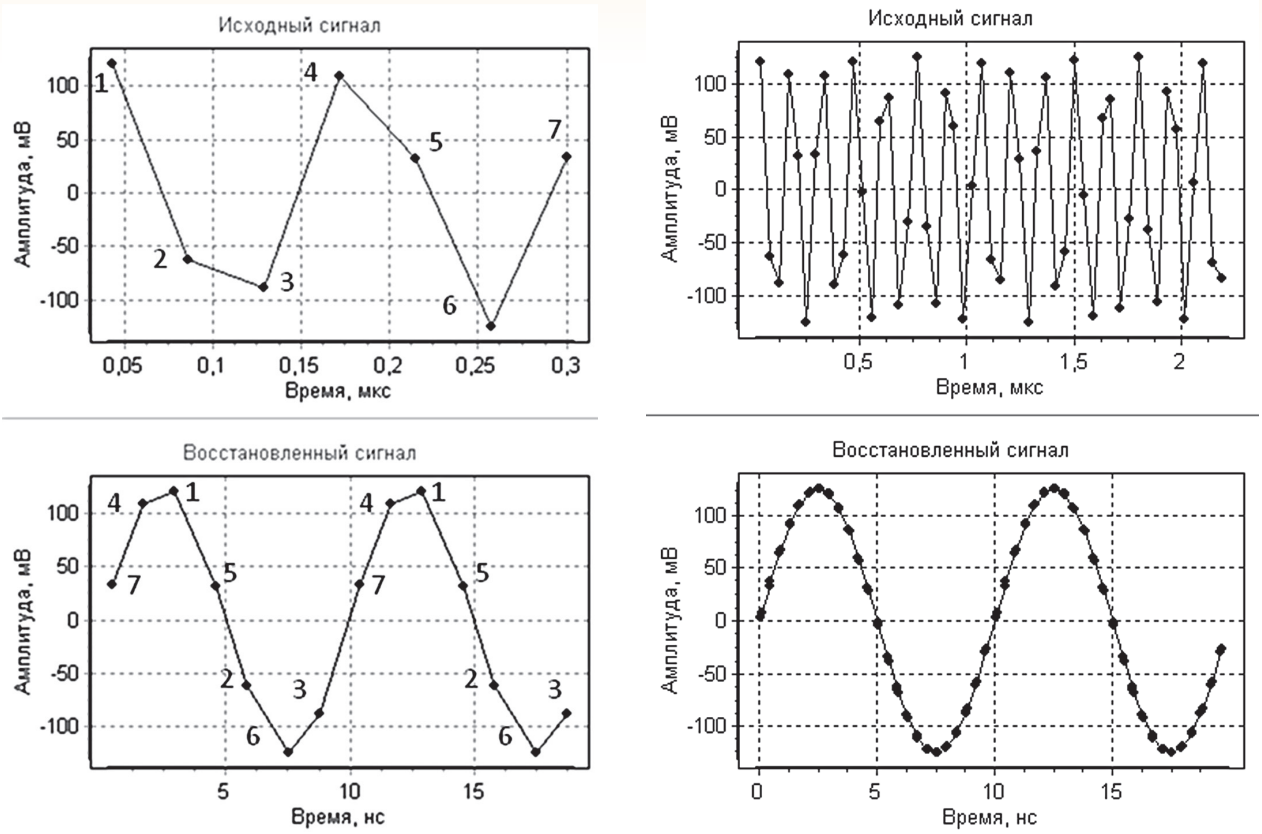
В *таблице 2* приведен вариант выбора рабочих параметров, при которых для заданной F_S частота дискретизации F_D записывается трехзначным числом за счет подбора M и N. Шаг дискретизации во времени может быть меньше или близок к периоду сигнала, но в диапазонах высоких и сверхвысоких частот особый интерес представляет режим работы, когда шаг больше и значительно больше, чем период сигнала.

На *рисунке 2* представлен процесс получения и перестановки 7 отсчетов для частоты сигнала 100 МГц и частоты дискретизации 23,3 МГц, т.е. отношение F_S/F_D=4.292 не является целым. Получены отсчеты в виде последовательности 1-2-3-4-5-6-7, которая после перестановки стала иной: 7-4-1-5-2-6-3.

В методе несинхронизированного стробирования или нелинейной трансформации временного и частотного масштаба положение каждой точки восстановленного сигнала получается в результате вычисления. При восстановлении порядок расположения точек стробирования изменяется, и последний отсчет может стать первым, как показано на *рисунке 2А*. Условием нормальной работы является высокая стабильность частот дискретизации и исследуе-

Таблица 2

Параметры	Частота дискретизации FD при числе N точек в периоде сигнала								
N	7	9	11	13	17	19	21	23	27
FD (МГц) при FS=100; M=100	7,00	9,00	11,0	13,0	17,0	19,0	21,0	23,0	27,0
FD (МГц) при FS=700; M=1000	4,90	6,30	7,70	9,10	11,9	13,3	14,7	16,1	18,9
FD(МГц) при FS=1000; M=10000	0,70	0,90	1,10	1,30	1,70	1,90	2,10	2,30	2,70



А) М=30 В) М=220

Рис. 2

мого периодического сигнала в интервале сбора массива отсчетов.

На *рисунке 2В* показан случай, когда количество отсчетов превышает требуемое значение целого числа интервалов. Увеличение времени анализа приводит к повторному считыванию тех же значений периодического сигнала, образуя группы точек, близость расположения которых определяется погрешностью установки частот дискретизации и сигнала.

Алгоритм работы может быть реализован в СКВП. Он содержит следующие шаги:

1. Устанавливается начальная рабочая частота испытательного сигнала для исследований частотной характеристики объекта испытаний.

2. Автоматически выбирается частота дискретизации и интервал сбора массива данных для получения необходимой точности оценки уровня выходного сигнала.

3. Собирается массив данных со стробирующего АЦП в требуемом объеме.

4. Путем перестановки восстанавливается сигнал и измеряются его параметры.

5. Последовательно с требуемым шагом устанавливаются другие частоты испытательного сигнала и повторяются пункты 2, 3 и 4.

6. Анализируется частотная характеристика объекта испытаний.

Погрешность дискретизации при оценке амплитуды

При линейной интерполяции соседние дискретные точки восстанавливаемого сигнала соединяют прямыми линиями. Наибольшая погрешность оценки амплитуды при этом будет тогда, когда два соседних отсчета располагаются симметрично относительно точки экстремума. При этом интерполирующая линия пройдет горизонтально, и погрешность может быть найдена как разность между амплитудой синусоиды и ее отсчетом. Для заданной допустимой приведенной к амплитуде погрешности восстановления синусоиды γдоп можно оценить [1] требуемое количество равномерных шагов для восстановления одного периода сигнала:

$$N_т \geq \pi / \sqrt{2\gamma_{доп}} \qquad (3)$$

При линейной интерполяции и допустимой относительной погрешности оценки амплитуды синусоиды 1% требуется не менее 22 отсчетов на один период.

Для большей наглядности на *рисунке 3А* по-

казано восстановление одного периода сигнала при 10 равноотстоящих отсчетов и уровне второй гармоники равном половине первой. Представлено положение восстановленных точек при линейной аппроксимации и нормированному к среднеквадратическому значению (СКЗ) уровню. Начальная фаза основной гармоники 45° при нулевой начальной фазе второй гармоники. На *рисунке 3B* представлен сигнал с дополнительными 3-мя промежуточными точками при делении каждого интервала на четыре части путем интерполяции функцией *sin(x)/x* [5].

Рис. 3

Выводы

1. Восстановление формы периодического сигнала в виртуальном осциллографе при несинхронизированном стробировании позволяет расширить диапазон рабочих частот дискретизации АЦП.

2. Частоту дискретизации при нелинейной трансформации временного масштаба следует выбирать такую, для которой в периоде восстановленного сигнала укладывается целое число отсчетов с равномерным шагом.

3. Если задать частоту дискретизации с точностью до четвертого знака и увеличить время сбора отсчетов, то это приведет к повторному считыванию в тех же временных точках периода восстановленного сигнала.

4. Если задать частоту дискретизации с погрешностью и увеличить время сбора отсчетов, то это приведет к появлению промежуточных точек в периоде восстановленного сигнала с непостоянным шагом.

5. При несинхронизированном стробировании можно восстанавливать периодические сигналы любой формы, если эквивалентная частота дискретизации позволяет воспроизвести высшую гармонику спектра сигнала.

Литература

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2005. 604 с.

2. Степанов А.В., Матвеев С.А. Методы компьютерной обработки сигналов и систем радиосвязи. М.: Солон-Пресс, 2003. 208 с.

3. Поздняков А.Д., Поздняков В.А. Автоматизация экспериментальных исследований, испытаний и мониторинга радиосистем. М.: Радиотехника, 2004. 208 с.

4. Поздняков А.Д., Поздняков В.А. Вычислительный метод восстановления формы дискретизированного периодического сигнала в компьютерных системах испытаний электронных средств // Проектирование и технология электронных средств, 2008. № 1. С. 57-61.

5. Руфов А.А., Поздняков А.Д. Интерполяционный алгоритм восстановления и измерения среднеквадратического значения гармонического сигнала при малом числе отсчетов // Известия Института инженерной физики, 2015. №1(35). С. 13-18.

УДК 623.9

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АГРЕГАТОВ РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА

MATHEMATICAL MODELING OF THE SYSTEM FOR THE RESTORATION OF AGGREGATES OF THE MISSILE COMPLEX

Павел Александрович Дорожков
начальник автобронетанковой службы РВСН
Адрес: 143010, Москва, в/ч 77087-В
Тел.: 8 (916) 102-01-89

Александр Павлович Репях
кандидат технических наук
начальник кафедры «Автотехнического обеспечения»
Филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (916) 977-43-63
E - mail: sasha141078@mail.ru

Сергей Викторович Лужецкий
кандидат педагогических наук
начальник факультета «Стартовых и технических комплексов ракет»
Филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (916) 725-54-70

Александр Владимирович Шаранов
кандидат педагогических наук
заместитель начальника кафедры «Автотехнического обеспечения»
Филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (915) 005-47-50
E-mail: alexandr3204@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена математическая модель оценки эффективности мероприятий автотехнического обеспечения при ведении боевых действий обычными средствами поражения.

Ключевые слова: система автотехнического обеспечения, агрегаты, элементы, ЗИП, восстановительные работы.

Summary

The basic strategy of the recovery units AS and improvement of the system of the ATO in terms of reducing the supply of spare parts for restoration work.

Keywords: system of auto-technical support, units, elements, spare parts, restoration works.

Одним из приоритетных направлений совершенствования системы восстановления готовности агрегатов автомобильных базовых шасси (АБШ) в условиях ведения боевых действий становится реализация принципов оперативного перераспределения.

Практика показывает, что в современных условиях органы управления автобронетанковой службы вынуждены отступать от принятой стратегии восстановления и принимать такие решения по восстановлению готовности агрегатов АБШ, на основании которых отдельные блоки и узлы ряда агрегатов, требующих восстановления, используются для восстановления других агрегатов. Тем самым радикально меняются принципы, положенные в основу выработки решений, и, следовательно, используется альтернативная стратегия восстановления.

Пусть на текущий момент времени АБШ имеет в своем составе N однотипных агрегатов, требующих восстановления. Каждый i-ый агрегат АБШ содержит P типов элементов.

Элементы одного и того же типа, в случае их отсутствия в ЗИП, можно демонтировать с любого восстанавливаемого агрегата и устанавливать на любой другой, требующий восстанов-

ления, либо менять местами в одном и том же агрегате.

Считается, что продолжительность работ, связанных с заменого элемента i-го типа одинакова при восстановлении любого агрегата. Это основано на допущении, что конструктивно элементы одного и того же типа расположены рядом, порядок и время доступа к ним одинаково.

Максимальное число элементов в типе определяется степенью резервирования элементов данного типа.

К началу процесса восстановления агрегат имеет V_{ij} исправных и не выработавших ресурс элементов, $i=1, N; j=I,P$.

Агрегат считается готовым к применению по назначению, если выполняется условие:

$$\forall i : V_{ij} \geq A_j,$$

где A_j – минимальное число элементов j-го типа, позволяющее применять агрегат пот назначению.

Элементы, которые необходимо заменить на восстанавливаемом агрегате, могут быть взяты из комплектов ЗИП.

Используемый ЗИП можно представить в виде матрицы:

$$V_{зип} = [V_{зип1},\ldots,V_{зипj},\ldots, V_{зипp}]^T, \quad (1)$$

где $V_{зипj}$ – число элементов j-го типа, находящихся в ЗИП.

Предположим, что восстановительный процесс на агрегатах АБШ, сводится к проведению одного из трех действий над каждым агрегатом:

1. С агрегата демонтируются все исправные элементы j-го типа.

2. С агрегата демонтируются исправные элементы j-го типа до предела, устанавливаемого числом A_j и заменяются неисправные агрегаты j-го типа до числа A_j.

3. На восстанавливаемом агрегате заменяются неисправные элементы j-го типа до числа A_j.

За счет элементов, демонтируемых с агрегатов, пополняется ЗИП. Выполнение действий 2 или 3 на агрегате приводит его в готовность к применению. В результате выполнения действий 1 время задержки к восстановлению агрегата увеличивается. При этом учитывается, что в число монтируемых и демонтируемых элементов включаются только те блоки, узлы и системы агрегатов, для которых в действующей эксплуатационной документации определена технология их монтажа и демонтажа или существуют соответствующие технические решения.

Для формирования рассмотренных действий введем обозначение:

S_{ij} – число исправных элементов j-го типа, разрешенных для демонтажа на i-том агрегате (максимальное значение $S_{ij}=V_{ij}$);

$$B_{ij} = \max(0, S_{ij} - A_j), \quad (2)$$

где B_{ij} – число исправных, демонтируемых при действии 2;

$$C_{ij} = \max(0, A_i - V_{ij}), \quad (3)$$

где C_{ij} – число элементов j-го типа, монтаж которых необходим для приведения i-го агрегата в готовность к применению.

Тогда возможные действия формализуются следующим образом:

Действие 1

$$V^1_{зипj} = V_{зипj} + V_{ij},$$
$$V^1_{ij} = 0,$$

Действие 2

$$V^1_{зипj} = V_{зипj} + B_{ij},$$
$$V^1_{ij} = V_{ij} + C_{ij} - B_{ij},$$

или

$$V^1_{зипj} = V_{зипj} - C_{ij},$$
$$V^1_{ij} = A,$$

Действие 3

$$V^1_{ij} = V_{ij} + C_{ij},$$
$$V^1_{зипj} = V_{зипj} - C_{ij},$$

или

$$V^1_{ij} = \begin{cases} A_j, если V_{ij} \lhd A_j; \\ V_{ij}, если V_{ij} \geq A_j; \end{cases}$$

где $j=1,P; i=1,N$.

Ведем в рассмотрение $3xN$ переменного вида:

$$Z^1 i = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases} \quad (4)$$

где 1, если над i-тым агрегатом производится действие 1;

0, если над i-тым агрегатом не производится действие I.

Аналогичная запись справедлива для переменных Z^2i, Z^3i. Таким образом, использованием записи вида:

$$(Z^1 i, Z^2 i, Z^3 i) \quad (5)$$

описываются все действия, проводимые над агрегатом во время восстановительных работ.

Очевидно, что из трех переменных в записи (5) не более одной может иметь значение равное 1, при этом две другие всегда равны 0. Если все переменные в записи (5) равны нулю, то это означает, что на агрегате не проводились никакие действия.

Таким образом, существует ограничение вида:

$$Z^1 i + Z^2 i + Z^3 i \leq 1,\ i=1,N \quad (6)$$

Составим матрицу *Z* вида:

$$Z = \left[Z^1_1, Z^2_2, Z^3_3, ..., Z^1 i, Z^2 i, Z^3 i, ..., Z^1 i, Z^2 i, Z^3 i\right]^T \quad (7)$$

Матрица *Z* описывает объем работ при восстановлении агрегатов АБШ и выступает в качестве матрицы признаков действий, производимых на агрегатах.

Введем в рассмотрение матрицу вида:

$$Q = [0,1,1,...,0,1,1,...,0,1,1] \quad (8)$$

Матрица *Q*, используемая как переходная матрица признаков восстановительных работ, представляет собой «маску восстановительных работ».

Произведение матриц *ZxQ*, позволяет найти число агрегатов, переходящих в состояние готовности к применению, в результате восстановительных работ.

Введем в рассмотрение матрицы *D* и *N*, представленные соответственно на *рисунках 1* и *2*, которые содержат характеристики объема работ по монтажу и демонтажу.

$$D = \begin{vmatrix} 0, C_{11}, C_{11} _____ \\ _____ 0, C_{ij}, C_{ij} __ \\ _____ \end{vmatrix} \forall i$$

Рис.1. Форма матрицы D

Элементами матрицы *D* являются записи вида (*0, C_{ij},C_{ij}*). Данная запись позволяет выразить количество элементов *j*-го типа, установленных на *i*-ый агрегат при проведении восстановительных работ.

Тогда произведение *(DxZ)* есть матрица, *j*-ые элементы которой представляют собой число элементов *j*-го типа, необходимых для того, чтобы при данном объеме работ (определяемом матрицей *Z*) было достаточно запасных элементов для восстановления агрегатов.

$$H = \begin{vmatrix} V_{11}, B_{11}, 0 _____ \\ _____ V_{ij}, B_{ij}, 0 __ \\ _____ \end{vmatrix} \forall i$$

Рис.2. Форма матрицы H

Элементами матрицы *H* являются записи вида *(V_{ij}, B_{ij}, 0)*. Данная запись позволяет выразить количество элементов *j*-го типа, демонтируемых на *i*-ом агрегате при проведении восстановительных работ.

Произведение (*HxZ*) есть матрица, *j*-ые элементы которой представляют собой число элементов *j*-го типа, которые будут при данном объеме работы добавлены в ЗИП.

В условиях ремонтного воздействия необходимо учитывать ограничения, накладываемые недостатком ЗИП, и временные ограничения, обусловленные необходимостью завершения работ к данному сроку. Ограничения на ЗИП можно записать в виде:

$$D \times Z \le V_{зип} + H \times Z \quad (9)$$

или

$$(D - H) \times Z \le V_{зип} \quad (10)$$

Так как последовательность и продолжительность работ, необходимых для выполнения любого из трех действий над агрегатом известна, то известно и время, затрачиваемое при проведении восстановительных работ на агрегатах АБШ.

Таким образом, каждой переменной Z_I^K ставится в соответствие время T_I^K – продолжительность выполнения восстановительных работ на *i*-том агрегате при *k*-том действии.

Тогда временные ограничения можно записать в следующем виде:

$$T \times Z \le T_{ПЛ} \quad (11)$$

где *T* – матрица, элементами которой являются записи вида *(T^1_i,T^2_i,T^3_i)*, позволяющие выразить продолжительность проведения работ, необходимых для проведения любого из трех действий над агрегатом.

Принятие без глубокого предварительного анализа решений на перераспределение ресурсов восстановления может привести к отрицательным последствиям, выражающемся в значительном снижении числа боеготовых агрегатов АБШ. К аналогичным последствиям может привести и игнорирование использования таких решений.

Литература

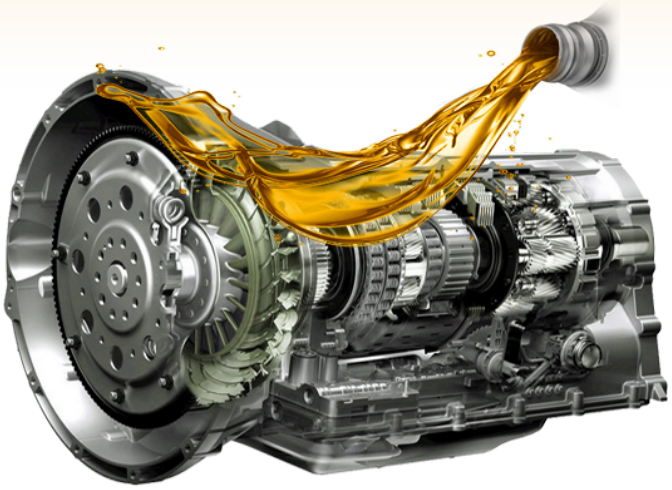
1. Алгоритмы и программы решения задач эксплуатации вооружения / под. ред. В.Д. Тончил. М.: МО СССР, 1984.

2. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. М.: Высшая школа, 1982. 231 с.

3. Наставление по автомобильной службе (соединение, воинская часть). М.: Военное издательство, 2014.

4. Наставление по автотехническому обеспечению войск (соединение, часть). М.: Военное издательство, 2007.

5. Трефилов В.А. Эксплуатация сложных технических комплексов. Часть 1. Система эксплуатации. М.: МО СССР, 1982.



УДК 62-574.5

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МАСЛА ХОДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF A CONTINUOUS ENGINE OIL TEMPERATURE MAINTENANCE SYSTEM

Александр Викторович Никитин
адъюнкт
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (920) 677-70-40
E - mail: nik.al2010@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена актуальность применения системы предпусковой подготовки и непрерывного поддержания ходового двигателя агрегата подвижного грунтового ракетного комплекса в готовности к пуску в условиях низких температур окружающей среды и математическое описание данного процесса ля определения оптимальных конструктивных и режимных параметров системы.

Ключевые слова: система непрерывного поддержания, ходовой двигатель, температура, математическая модель, коэффициент теплоотдачи.

Summary

The actuality of the application of the pre-start preparation system and continuous maintenance of the running engine of the mobile ground-based rocket company in readiness for launch in conditions of low ambient temperatures and the mathematical description of this process for determining the optimum design and regime parameters of the system are considered.

Keywords: continuous maintenance system, running motor, temperature, mathematical model, heat transfer coefficient.

Разработанная система обеспечивает быстрый разогрев инепрерывное поддержание температуры картерного масла ходового двигателя агрегата подвижного грунтового ракетного комплекса (ПГРК) в прогретом предпусковом состоянии с высокой функциональной надежностью, обладающее возможностью адаптивного регулирования температуры подогрева масла картера двигателя в зависимости от наружной температуры окружающего воздуха. Это позволяет снизить температурную и вязкостную неравномерность разогреваемого масла и повысить эффективность использования нагревательных элементов, выполненных в виде электрически обогреваемых матов, размещенных на внешней стороне поддона картера двигателя [3].

Система для поддержания картерного масла ходового двигателя в прогретом предпусковом состоянии (в соответствии с *рисунком 1*), содержит поддон 1 картера и нагревательные элементы 2, связанные с источником питания и выполненные в виде электрически обогревающих матов, размещенных на внешней стороне поддона картера двигателя [4].

С наружной поверхности гибкие нагревательные элементы 2 закрыты термоизоляционным кожухом 3, который жестко прикреплен с помощью болтов к обечайке поддона 1 картера и выполнен из плотного материала (пластика).

С наружной стороны термоизоляционного кожуха 3 расположен разъем 4, позволяющий подавать питание на гибкие нагреватель-

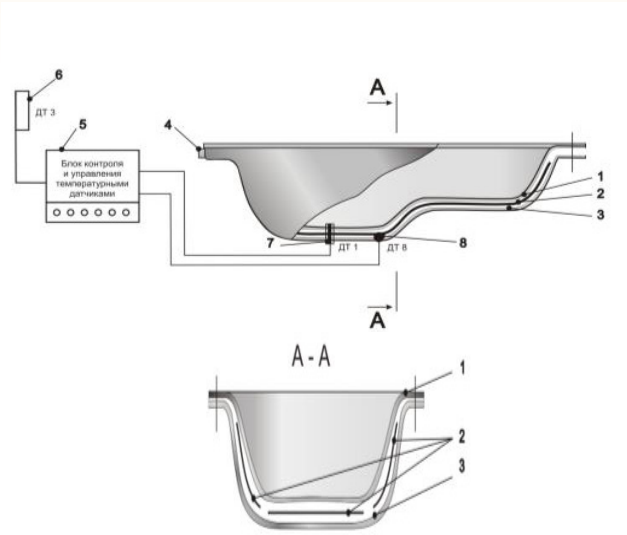


Рис. 1. Устройство для нагрева и поддержания температуры картерного масла в предпусковом состоянии

ные элементы 2, как от бортовой сети агрегата ПГРК, так и от внешней сети 220 V (мобильного электрогенератора).

Система для подогрева и поддержания температуры картерного масла ходового двигателя в прогретом предпусковом состоянии оборудовано блоком контроля и управления 5, датчиком температуры окружающей среды 6, датчиком температуры масла в картере двигателя 7, смонтированным в пробке сливного отверстия поддона картера и датчиками температуры гибких нагревательных элементов 8, размещенных внутри многослойных электрически обогревающих матов 2, изготовленных из лавсановых нитей с резистивным напылением серебра, что позволяет менять мощность нагревательных элементов, в зависимости от показаний датчика температуры окружающей среды 6.

Электрически обогревающие маты изготавливаются из водо- и морозостойкого материала, обеспечивающего эластичность материала тепловолокна со встроенной системой терморегулирования и термоотключения. Датчик температуры масла в картере двигателя, смонтированный в пробке сливного отверстия поддона картера контролирует температуру нагрева масла в картере двигателя не выше плюс 70°С.

Применение электрически обогревающих матов, с размещенными датчиками температуры гибких нагревательных элементов, позволяет ступенчато регулировать мощность обогреваемых матов в зависимости от температуры окружающей среды. Это обеспечивает более эффективный прогрев масла в картере двигателя, при этом масло, нагреваемое в картере поддона, благодаря большей поверхности контакта с гибкими нагревательными элементами, прогревается быстрее. Максимальная температура гибкого электронагревателя, выполненного в виде электрически обогревающих матов не превышает 180°С, а в случае перегорания электрического провода в обогревающем мате, он не возгорается, что повышает пожаро- и взрывобезопасность устройства в целом.

Время разогрева масла зависит от температуры окружающей среды и вязкости масла, объема масла, а также от количества установленных на поддон нагревательных элементов. Лучший результат достигается при установке обогреваемых матов по всей площади наполненного маслом поддона.

Электрически обогревающие маты выполнены из нескольких слоев [4], расположенных в определенной последовательности и содержат нагревательные элементы, датчики температуры гибких нагревательных элементов, защитный изолирующий и отражающий слой.

Такая конструкция позволяет обеспечить лучший термический контакт между двумя средами и соответственно повысить коэффициент полезного действия устройства для поддержания картерного масла ходового двигателя агрегата ПГРК в прогретом предпусковом состоянии.

Технический результат: быстрый и надежный пуск двигателя, а также более полное и эффективное использование теплоты, выделяемой гибкими нагревательными элементами, повышается коэффициент полезного действия устройства поддержания температуры картерного масла ходового двигателя агрегата ПГРК в прогретом предпусковом состоянии.

Для расчета параметров данных нагревательных элементов на основании теории теплообмена [2] рассмотрим нестационарный процесс подогрева моторного масла.

Уравнение теплового баланса в общей форме применительно к элементарно малому промежутку времени в моторном масле (за время dτ температура изменится на dt) имеет вид:

$$dQ_{общ} = dQ_{нэ} + dQ_{под} + dQ_{м} + dQ_{у} + dQ'_{тс} + dQ'_{кв} + dQ'_{ов}, \quad (1)$$

где $dQ_{общ}$ – общее количество теплоты, выделяемое нагревательными матами, Дж;

$dQ_{нэ}$ – количество теплоты, идущей на нагрев самих нагревательных элементов (лавсановых нитей), Дж;

$dQ_{под}$ – количество теплоты, идущей на нагрев поддона и переданной через него маслу, Дж;

$dQ_{м}$ – количество теплоты, идущей на нагрев моторного масла, Дж;

dQ_y – количество теплоты, идущей на нагрев утеплителя, Дж;
$dQ'_{тс}$ – теплопотери за счет наличия контактного термического сопротивления между соприкасающимися поверхностями НЭ и поддона, Дж;
$dQ'_{кв}$ – теплопотери от моторного масла во внутрикартерный воздух, Дж;
$dQ'_{ов}$ – теплопотери через утеплитель в окружающий воздух, Дж.

Рассмотрим подробно каждую составляющую этого баланса. Количество теплоты dQобщ, выделенной за элементарно малый промежуток времени, определяется суммарной мощностью нагревательных элементов Рнэ (т.е. мощностью НЭ) и продолжительностью $d\tau$:

$$dQ_{общ} = P_{нэ} d\tau, \quad (2)$$

Формулу (2) с учетом изменения мощности нагревательного элемента в функции его температуры можно представить в виде:

$$dQ_{общ} = P_{нэ}(t_{нэ})\, d\tau, \quad (3)$$

где $t_{нэ}$ – температура нагревательного элемента, °С.

Рассмотрим теперь остальные составляющие теплового баланса в переходном процессе теплообмена, связав все в единую систему уравнений.

При подаче напряжения на устройство, ток, проходящий через нагревательные элементы, вызывает их разогрев, в результате чего происходит передача тепла от нагревательных элементов поддону и утеплителю. Тогда уравнение теплового баланса для нагревательных элементов имеет вид:

$$P_{нэ}(t_1)d\tau = c_{нэ}m_{нэ}dt_1 + \alpha_1(t_{нэ} - t_{n1})F_{нэ}d\tau + \alpha_1(t_{нэ} - t_{y1})F_{нэ}d\tau, \quad (4)$$

где $c_нэ$ – удельная теплоемкость нагревательных элементов, Дж/кг·К;
$m_{нэ}$ – суммарная масса нагревательных элементов, кг;
α_1 – коэффициент теплоотдачи от НЭ к поддону и утеплителю, Вт/(м²·К);
$F_{нэ}$ – суммарная площадь НЭ, м²;
dt_1 – приращение температуры НЭ, °С;
tn_1 – температура наружной стенки поддона, °С;
ty_1 – температура внутренней поверхности утеплителя, °С.

Количество тепла, переданного от НЭ поддону, идет на приращение его температуры, при этом происходит теплоотдача от поддона в моторное масло. Уравнение теплового баланса для поддона в дифференциальной форме можно представить в виде:

$$\alpha_1(t_{нэ} - t_{n1})F_{нэ}d\tau = c_n m_n dt_2 + \frac{\lambda_п}{\delta_п}(t_{n1} - t_{n2})F_n d\tau + \alpha_2(t_{n2} - t_м)F_n d\tau, \quad (5)$$

где c_n – удельная теплоемкость поддона, Дж/кг·К;
m_n – масса поддона, кг;
λ_n – коэффициент теплопроводности поддона, Вт/(м·К);
δ_n – толщина поддона, м;
α_2 – коэффициент теплоотдачи от поддона в моторное масло, Вт/(м²·К);
F_n – площадь поверхности поддона, м²;
dt_2 – приращение температуры поддона, °С;
tn_2 – температура внутренней стенки поддона, °С;
$t_м$ – температура моторного масла, °С.

Количество тепла, переданного от НЭ утеплителю, идет на приращение его температуры, при этом происходит теплоотдача от утеплителя в окружающий воздух. Уравнение теплового баланса для утеплителя в дифференциальной форме можно представить в виде:

$$\alpha_1(t_{нэ} - t_{y1})F_{нэ}d\tau = c_y m_y dt_3 + \frac{\lambda_y}{\delta_y}(t_{y1} - t_{y2})F_y d\tau + \alpha_3(t_{y2} - t_{ов})F_y d\tau, \quad (6)$$

где c_y – удельная теплоемкость утеплителя, Дж/кг·К;
m_y – масса утеплителя, кг;
α_3 – коэффициент теплоотдачи от утеплителя в окружающий воздух, Вт/(м²·К);
λ_y – коэффициент теплопроводности утеплителя, Вт/(м·К);
δ_y – толщина утеплителя, м;
F_y – площадь поверхности утеплителя, м²;
dt_3 – приращение температуры утеплителя, °С;
$t_{ов}$ – температура окружающего воздуха, °С.

Количество тепла выделавшегося в результате разогрева поддона идет на приращение температуры моторного масла. При разогреве происходят потери тепла от моторного масла во внутрикартерный воздух. Уравнение теплового баланса для моторного масла в дифференциальной форме можно представить в виде:

$$\alpha_2(t_{n2} - t_м)F_n d\tau = c_м m_м dt_4 + \alpha_4(t_м - t_{ов})F_м d\tau, \quad (7)$$

где $c_м$ – удельная теплоемкость моторного масла, Дж/кг·К;
$m_м$ – масса моторного масла, кг;
α_4 – коэффициент теплоотдачи от моторного масла в окружающий воздух, Вт/(м²·К);
$F_м$ – площадь поверхности теплоотдачи моторного масла во внутрикартерный воздух, м²;
dt_4 – приращение температуры моторного масла, °С;
$t_{ов}$ – температура окружающего воздуха, °С.

Уравнения (4-7) приведем к канонической форме и составим математическую модель (8) процесса разогрева моторного масла в поддоне картера ДВС данным электронагревательным устройством:

$$\begin{cases} \dfrac{dt_1}{d\tau} = \dfrac{P_{нэ} - \alpha_1(t_{нэ} - t_{n1})F_{нэ} - \alpha_1(t_{нэ} - t_{y1})F_{нэ}}{c_{нэ}m_{нэ}}, \\ \dfrac{dt_2}{d\tau} = \dfrac{\alpha_1(t_{нэ} - t_{n1})F_{нэ} - \dfrac{\lambda_n}{\delta_n}(t_{n1} - t_{n2})F_{нэ} - \alpha_2(t_{n2} - t_м)F_n}{c_n m_n}, \\ \dfrac{dt_3}{d\tau} = \dfrac{\alpha_1(t_{нэ} - t_{y1})F_{нэ} - \dfrac{\lambda_y}{\delta_y}(t_{y1} - t_{y2})F_{нэ} - \alpha_3(t_{y2} - t_{ов})F_y}{c_y m_y}, \\ \dfrac{dt_4}{d\tau} = \dfrac{\alpha_2(t_{n2} - t_м)F_n - \alpha_4(t_м - t_{кв})F_м}{c_м m_м} \end{cases} \quad (8)$$

При использовании при предпусковой подготовке системы орошения опор коленчатого вала математическая модель изменится. Так при достижении температуры масла в поддоне двигателя 10°С включается система орошения опор коленчатого вала двигателей ЯМЗ-847, ЯМЗ-846. При этом при помощи электрического маслозакачивающего насоса горячее масло подается в трубу, установленную внутри картера вдоль коленчатого вала. На трубе имеются сопла, из которых происходит орошение горячим маслом коленчатого вала и его коренных опор. Без системы орошения коленчатого вала горячим маслом запуск двигателя при начальной температуре минус 50°С может быть осуществлен только через 60 минут работы жидкостного подогревателя.

Тогда уравнение теплового баланса для моторного масла в дифференциальной форме примет в вид:

$$\alpha_2(t_n - t_м)F_n d\tau = c_м m_м dt_4 + \alpha_4(t_м - t_{ов})F^*_м d\tau + \\ + \alpha_6(t_м - t_{тр})F'_{тр} d\tau + \alpha_7(t_м - t_{кв})F'_{кв} d\tau, \quad (9)$$

где $c_м$ – удельная теплоемкость моторного масла, Дж/кг·К;
$m_м$ – масса моторного масла, кг;
dt_4 – приращение температуры моторного масла, °С;
t_n – температура поддона, °С;
$t_м$ – температура масла, °С;
$t_{ов}$ – температура окружающего воздуха, °С;
α_4 – коэффициент теплоотдачи от моторного масла вокружающий воздух, Вт/(м²·К);
α_6 – коэффициент теплоотдачи от моторного масла к трубкам системы, Вт/(м²·К);
α_7 – коэффициент теплоотдачи от моторного масла к опорам коленчатого вала, Вт/(м²·К);
$F^*_м$ – площадь поверхности теплоотдачи моторного масла в окружающий воздух от зеркала масла и от площади распыляемой струи, м²;
$F_{тр}$ – площадь поверхности трубопроводов системы орошения, м²;
$F_{окв}$ – площадь поверхности опор коленчатого вала, м².

Уравнение теплового баланса для трубопровода системы в дифференциальной форме примет в вид:

$$\alpha_6(t_м - t_{тр})F_{тр} d\tau = c_{тр} m_{тр} dt_5 + \alpha_8(t_{тр} - t_{ов})F_{тр} d\tau, \quad (10)$$

где $c_{тр}$ – удельная теплоемкость трубопровода системы, Дж/кг·К;
$m_{тр}$ – масса трубопровода, кг;
dt_5 – приращение температуры трубопровода, °С;
$t_{тр}$ – температура трубопровода, °С;
$t_{ов}$ – температура окружающего воздуха, °С;
α_8 – коэффициент теплоотдачи от трубопровода в окружающий воздух, Вт/(м²·К);
$F_{тр}$ – площадь поверхности трубопроводов системы орошения, м².

Уравнение теплового баланса для опор коленчатого вала в дифференциальной форме примет в вид:

$$\alpha_6(t_м - t_{окв})F_{окв} d\tau = c_{окв} m_{окв} dt_6 + \\ + \alpha_9(t_{окв} - t_{ов})F_{окв} d\tau + \frac{\lambda_{кв}}{\ell_{кв}}(t_{окв} - t_{кв})F_{скв} d\tau, \quad (11)$$

где $c_{окв}$ – удельная теплоемкость опор коленчатого вала, Дж/кг·К;
$m_{окв}$ – масса опор коленчатого вала, кг;
dt_6 – приращение температуры опор коленчатого вала, оС;
$t_{кв}$ – температура коленчатого вала, °С;
$t_{ов}$ – температура окружающего воздуха, °С;
α_9 – коэффициент теплоотдачи от опор коленчатого вала в окружающий воздух, Вт/(м²·К);
$F_{окв}$ – площадь поверхности опор коленчатого вала, м²;
$F_{скв}$ – площадь поверхности сечения коленчатого вала, м².

Уравнения (9-11) приведем к канонической форме и составим математическую модель (12) процесса разогрева опор коленчатого вала ДВС системой орошения коленчатого вала:

$$\begin{cases} \dfrac{dt_4}{d\tau} = \dfrac{\alpha_2(t_n - t_м)F_n - \alpha_4(t_м - t_{ов})F^*_м - \alpha_6(t_м - t_{тр})F_{тр} - \alpha_7(t_м - t_{кв})F_{кв}}{c_м m_м}, \\ \dfrac{dt_6}{d\tau} = \dfrac{\alpha_6(t_м - t_{окв})F_{окв} - \alpha_9(t_{окв} - t_{ов})F_{окв} - \dfrac{\lambda_{кв}}{\ell_{кв}}(t_{окв} - t_{кв})F_{скв}}{c_{окв} m_{окв}}, \\ \dfrac{dt_5}{d\tau} = \dfrac{\alpha_6(t_м - t_{тр})F_{тр} - \alpha_8(t_{тр} - t_{ов})F_{тр}}{c_{тр} m_{тр}} \end{cases} \quad (12)$$

Таким образом, была разработана математическая модель (12) процесса подогрева опор коленчатого вала горячим моторным маслом системой орошения коленчатого вала.

Для получения численных результатов при решении математической модели необходимо определить коэффициенты теплоотдачи.

Определение коэффициентов теплоотдачи является одной из важнейших задач в расчетах процессов нагрева и охлаждения. Теплообмен в моторном масле, при его подогреве, происходит в результате свободной конвекции. Коэффициент теплоотдачи конвекцией $\alpha_к$ численно равен мощности, которую воспринимает или рассеивает единица поверхности путем конвекции при разности температур между ней и средой в 1 градус. Он представляет собой сложную функцию большого числа параметров, существенно влияющих на процесс теплообмена.

Для случая свободной конвекции [5]:

$$\alpha_к = f(t_2, T_з, \lambda, \beta, Cp, v, a, Ф), \quad (13)$$

где λ – коэффициент теплопроводности среды, Вт/м·°С;

β – коэффициент объемного расширения среды, °С-1;

C_p – удельная теплоемкость среды при постоянном давлении, Дж/кг·°С;

v – коэффициент кинематической вязкости среды, м^2/с;

a – коэффициент температуропроводности среды, м^2/с;

$Ф$ – символическое обозначение совокупности параметров, характеризующих состояние поверхности и форму изделия, его размеры.

Большое значение в исследовании процессов теплообмена имеет теория подобия, на основании которой считают, что протекание всей совокупности сложных тепловых процессов определяется не отдельными величинами, а безразмерными критериями, определенным образом составленными из физических величин [7, 8].

На основе теории подобия обычно объединяют физические и геометрические параметры в безразмерные комплексы (критерии подобия) и процесс конвекционного теплообмена описывается не девятью параметрами, а четырьмя. Уравнение конвективной теплоотдачи в критериальной форме имеет вид [9]:

$$N_u = f(G_r, R_e, P_r), \quad (14)$$

где N_u – критерий Нюсселъта;

R_e – критерий Рейнольдса;

G_r – число Грасгофа;

P_r – критерий Прандтля.

Процесс теплоотдачи при подогреве моторного масла в поддоне картера ДВС внешним нагревательным элементом до температуры масла равной 10оС происходит в результате свободной конвекции, то есть движения жидкости вызванной неоднородным распределением массовых сил, в частности, обусловленное разностью плотностей нагретых и холодных слоев, находящихся в поле тяготения. В этом случае нагретые слои жидкости испытывают действия архимедовой силы и движутся вверх, и, наоборот, охлажденные слои движутся вниз. После достижения температуры масла 10оС включается маслозакачивающий насос системы орошения коленчатого вала, в результате чего происходит перемешивание масла, и конвекция становится вынужденной.

При свободной конвекции роль скорости не значительна, поэтому уравнение (14) принимает вид [10]:

$$N_u = f(G_r \cdot P_r), \quad (15)$$

Или

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^w \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)^{0.25}, \quad (16)$$

где C, w – постоянные коэффициенты, которые выбираются в зависимости от значения комплекса $Gr \cdot Pr$;

Pr_c – критерий Прандтля, вычисляемый по температуре стенки корпуса поддона. Отношение Pr/Pr_c в степени 0.25 учитывает влияние на теплоотдачу направление теплового потока и температурного перепада.

Для горизонтальной плоской поверхности, какой является поверхность поддона характерный линейный размер l_o равен отношению площади поверхности к сумме периметров стенок.

При значении $Gr \cdot Pr < 1$ критерий Нуссельта практически остается неизменными равным 0,5. Следовательно, теплообмен происходит при помощи теплопроводности, что характерно для начального момента разогрева моторного масла при низких температурах. [5, 10]:

$$\alpha_2 = 0{,}5 \cdot \frac{\lambda}{l_0}, \quad (17)$$

При $Gr \cdot Pr > 1$:

– $(1 < Gr \cdot Pr < 200)$ $C = 0{,}96$, $w = 1/6$;

– $(200 < Gr \cdot Pr < 8 \cdot 10^6)$ $C = 0{,}54$, $w = 1/4$;

– $(Gr \cdot Pr > 8 \cdot 10^6)$ $C = 0{,}15$, $w = 1/3$;

– все физические константы, входящие в состав критериев, берутся при средней температуре моторного масла;

– критерий P_r берется при средней температуре моторного масла, а критерий Pr_c – при средней температуре корпуса поддона.

С учетом (16) определим коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности поддона в моторное масло, когда происходит передача тепла в результате свободной конвекции:

$$\alpha_2 = \frac{\lambda \cdot C}{l_0} \cdot (Gr \cdot \mathrm{Pr})^w \cdot \left(\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr_c}}\right)^{0.25}, \quad (18)$$

Теперь определим коэффициент теплоотдачи от НЭ к поддону и утеплителю α_1 (термо-

ческая проводимость контакта). Для определения α_1 необходимо рассмотреть вопрос о наличии контактного термического сопротивления между соприкасающимися поверхностями НЭ и поддона. Исследованиям контактного термического сопротивления посвящено ряд отечественных и зарубежных работ [11, 12].

Общая проводимость контакта может быть представлена суммой проводимости мест фактического контакта αм и проводимости межконтактной среды α_c:

$$\alpha_к = \alpha_м + \alpha_c, \quad (19)$$

В реальных условиях часто встречаются соединения, где контактируются поверхности с волнистостью или макронеровностями. Течение теплового процесса при таком контакте в случае наличия теплопроводной межконтактной среды (в нашем случае воздух) несколько усложняется. Для расчета контактных соединений с макронеровностями можно использовать следующее уравнение [12]:

$$\alpha_к = 2{,}12 \cdot 10^4 \overline{\lambda}_м \eta_1 \eta_2 + \frac{\lambda_c}{\frac{d_{экв}}{2} + (h_{макс1} + h_{макс2})(1-m)}, \quad (20)$$

где $\overline{\lambda}_м$ – приведенная теплопроводность контактирующего материала, Вт/м·°С;

λ_c – коэффициент теплопроводности межконтактной среды, Вт/м·оС;

$h_{макс}$ – максимальная высота выступов микронеровностей;

м; m – коэффициент заполнения профиля микронеровностей;

$d_{экв}$ – эквивалентная неплоскостность, м;

$\eta_1\eta_2$ – относительные площади контакта.

Передача тепла от зеркала моторного масла во внутрикартерный воздух и от стенок поддона картера в окружающую среду происходит в результате конвекции и излучения. Вне помещения вынужденное движение воздуха (ветер) существенно увеличивает теплоотдачу, поэтому для определения конвективной составляющей коэффициента теплоотдачи от стенок утеплителя αк3 воспользуемся следующей формулой [6]:

$$\alpha_{к3} = \left(5{,}95 + 1{,}5 \cdot \frac{t_0}{100}\right) \cdot \left(\frac{\omega^{0.8}}{l^{0.2}}\right), \quad (21)$$

где ω – скорость ветра, м/с;

l – длина стенки по направлению ветра, м;

t_o – температура, °С.

Во внутрикартерном пространстве двигателя вынужденное движение воздуха отсутствует, поэтому для определения конвективной составляющей $\alpha_{к4}$ коэффициента теплоотдачи от зеркала моторного масла используем формулу (18).

Коэффициенты теплоотдачи излучением от зеркала моторного масла $\alpha_{л4}$ и от стенок утеплителя поддона картера $\alpha_{л3}$ определим по следующей формуле [6]:

$$\alpha_{л3,л4} = \frac{C_1\left[\left(\frac{T_n}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_o}{100}\right)^4\right]}{t_n - t_0}, \quad (22)$$

где T_n и T_o – температура, соответственно, поверхности и окружающего воздуха, К;

t_n, t_o – то же, °С;

C_1 – коэффициент излучения, Вт/(м²·К⁴).

Таким образом, в результате проведенного теоретического анализа были разработаны математические модели (8), (12) процесса подогрева моторногомасла в поддоне картера двигателя внутреннего сгорания нагревательным элементом на основе лавсановых нитей с резистивным напылением серебра и определены коэффициенты теплоотдачи. Представленные математические модели могут быть использованы для описания происходящих изменений энергетических параметров процесса подогрева моторного масла внешними нагревательными элементами, расположенными по наружной поверхности масляного поддона, а также для определения оптимальных конструктивных и режимных параметров системы.

Литература

1. Крамаренко Г.В., Николаев В.А., Шаталов А.И. Безгаражное хранение автомобилей при низких температурах. М.: Транспорт, 1984. 136 с.

2. Михеев М. А. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 344 с.

3. Устройство для предпускового подогрева картерного масла двигателя внутреннего сгорания. Патент на полезную модель № 121864 10.10.2012 г.

4. Устройство для предпускового подогрева картерного масла двигателя внутреннего сгорания. Патент на полезную модель № 133201 10.10.2013 г.

5. Лариков Н. Н. Общая теплотехника. М.: Стройиздат, 1975. 432 с.

6. Фонарев З.И. Электроподогрев трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования в нефтяной промышленности. Л.: Недра, 1984. 148 с.

7. Лыков А.В. Тепломассобмен: Справочник. М.: Энергия, 1972. 308 с.

8. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под ред. В.А. Григорьева, В. М. Зорина. М.: Энергоиздат, 1982. 512 с.

9. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника. М.: Высшая школа, 1980. 552 с.

10. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979. 417 с.

11. Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н. Контактное термическое сопротивление. М.: Энергия, 1977. 328 с.

12. Попов В.М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. М.: Энергия, 1971. 216 с.

УДК 621.396

ОЦЕНКА ИНТЕГРАЛЬНОЙ ДОСТУПНОСТИ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

EVALUATION OF THE INTEGRATED AVAILABILITY OF THE GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

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

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

Анастасия Александровна Долгая
курсант
ФГКВОУ Военная академия связи
им. Маршала Советского Союза
С. М. Буденного МО РФ
Адрес: 194064, Санкт-Петербург,
Тихорецкий проспект, д. 3
Тел.: 8(921) 765-96-41
E-mail: nasstko@gmail.ru

Аннотация

В настоящее время слабо исследованы методы оценки интегральной доступности глобальных навигационных спутниковых систем. Авторами данной статьи разработаны программы, моделирующие расчет положения навигационных космических аппаратов глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС, GPS и Galileo по исходным данным альманахов. Данные программы позволяют рассчитать коэффициент геометрии для любой точки Земли. Получены результаты расчета интегральной доступности глобальных навигационных спутниковых систем по пространству, по горизонтали, по вертикали, проанализированы формы площадей земной поверхности, на которых обеспечиваются различные значения требований по точности измерения местоположения. Выдвинуты предложения для увеличения точности определения местоположения.

Ключевые слова: глобальная навигационная спутниковая система, интегральная доступность глобальной навигационной спутниковой системы, точность определения местоположения, геометрический фактор, навигационно-временные определения, псевдодальность, псевдоскорость.

Summary

At present, methods for estimating the integral availability of global navigation satellite systems have been poorly investigated. The authors of this article developed programs that simulate the calculation of the position of navigation spacecrafts of the global navigation satellite systems GLONASS, GPS and Galileo based on the initial data of the almanacs. These programs allow you to calculate the coefficient of geometry for any point of the Earth The results of calculating the integrated availability of global navigation satellite systems over space, horizontally and vertically are obtained, and the shapes of the areas of the earth's surface are analyzed, which provide different values of requirements for accuracy of position measurement. Proposals have been put forward to increase the accuracy of positioning.

Keywords: global navigation satellite system, integrated accessibility of the global navigation satellite system, positioning accuracy, geometric factor, navigation-time determinations, pseudorange, pseudospeed.

Критерий оценки обеспечения навигационно-временных определений (НВО) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) с заданным качеством – доступность ГНСС (эксплуатационная готовность ГНСС).

Под доступностью *(Service Availability)* **понимается** готовность ГНСС предоставить потребителям проведение навигационных определений с требуемыми точностными характеристиками (выражается в процентах времени, в течение которого обеспечиваются заданные условия) [1].

Интегральная доступность – процент времени суточного интервала, в течение которого значения коэффициента геометрии (геометрического фактора) для любой точки рабочей зоны системы не превышают требуемых. Термин «интегральная доступность» и его смысл встречается [2], а формулировку данного термина предложили авторы данной статьи.

Задача местоопределения по сигналам ГНСС решается в навигационной аппаратуре потребителей (НАП). Эта задача сводится к двухэтапной процедуре обработки радионавигационных сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) и содержащейся в них информации с использованием минимально необходимого объема одновременных измерений (число уравнений равно числу неизвестных координат потребителя) [3].

Рассматривая в качестве базовой аппаратуру потребителя с двухэтапной обработкой сигналов, можно констатировать, что точность навигационно-временных определений определяется двумя типами погрешностей:

- погрешностями, возникающими на этапе первичной обработки;
- погрешностями, соответствующими этапу вторичной обработки.

Так как при **первичной обработке** формируются оценки *псевдодальностей* (ПД) и *псевдоскоростей* на основе измерения радионавигационных параметров (РНП) сигналов НКА, погрешности для данного этапа – это погрешности определения псевдодальности и псевдоскорости. На этапе **вторичной обработки** оценки псевдодальностей и псевдоскоростей пересчитываются в оценки координат потребителя, поэтому погрешности этого этапа определяются факторами, влияющими на эффективность такого пересчета.

Поясним математическое описание погрешностей НВО ГНСС. Среднеквадратическое отклонение погрешности определения местоположения (МП) потребителя ГНСС можно описать [4]

$$\sigma_{\text{мп}} = \left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_{D'}^2\right]^{1/2} = \left[\text{tr}\left\{\mathbf{G}^{-1}\mathbf{K}\left(\mathbf{G}^{-1}\right)^{\text{T}}\right\}\right]^{1/2} = \left[\text{tr}\{\mathbf{K\Gamma}\}\right]^{1/2} \quad (1)$$

где $K=\{\delta D \delta D^T\}$ – корреляционная матрица ошибок определения ПД;

δD – вектор ошибок определения ПД до каждого НКА;

$\Gamma=G^{-1}(G^{-1})^T$ – квадрат обратной матрицы градиентов смещения функций поверхностей положения (навигационных функций);

$\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2, \sigma_{D'}^2$ – дисперсии определения пространственно-временных координат потребителя ГНСС.

В случае некоррелированных и одинаковых по точности измерений РНП выражение (1) упростится

$$\sigma_{мп} = \sigma_{пд} \cdot K_\Gamma, \quad (2)$$

где $\sigma_{пд}$ – СКП определения ПД в НАП;

K_Γ – коэффициент геометрии [5, 6].

При условии что $\sigma_{\text{пд}}^2 = 1$ имеем

$$K_\Gamma = \left[\text{tr}\{\mathbf{\Gamma}\}\right]^{1/2} = \left[\text{tr}\left\{\mathbf{G}^{-1}\left(\mathbf{G}^{-1}\right)^{\text{T}}\right\}\right]^{1/2}, \quad (3)$$

где G – матрица градиентов, которая характеризует изменение навигационных функций с изменением текущих координат НКА.

Строки матрицы градиентов G определяются как частные производные по пространству и времени от навигационных функций, используемых позиционным псевдодальномерным методом определения местоположения:

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} & \frac{\partial f_1}{\partial z} & \frac{\partial f_1}{\partial t} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} & \frac{\partial f_2}{\partial z} & \frac{\partial f_2}{\partial t} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x} & \frac{\partial f_m}{\partial y} & \frac{\partial f_m}{\partial z} & \frac{\partial f_m}{\partial t} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Пример навигационной функции для m-НКА имеет вид:

$$f_m = D_{\text{ПД}_m} = \sqrt{(x-x_m)^2 + (y-y_m)^2 + (z-z_m)^2} + D', \quad (5)$$

где x_m, y_m, z_m – текущие координаты m-НКА;

x, y, z – искомые координаты потребителя ГНСС;

D' – погрешность определения ПД.

Сопоставляя (4) и (5) элементы матрицы градиентов можно выразить через следующие формулы, в предположении $D'=const$:

$$\frac{\partial D_{\text{ПД}_m}}{\partial x} = \frac{x - x_m}{\sqrt{(x-x_m)^2 + (y-y_m)^2 + (z-z_m)^2}}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial D_{\text{ПД}_m}}{\partial y} = \frac{y - y_m}{\sqrt{(x-x_m)^2 + (y-y_m)^2 + (z-z_m)^2}}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial D_{\text{ПД}_m}}{\partial z} = \frac{z - z_m}{\sqrt{(x-x_m)^2 + (y-y_m)^2 + (z-z_m)^2}}. \quad (8)$$

Выражение (1) подтверждает вывод о том, что соотношение между погрешностями первичных и вторичных навигационных параметров зависит от вида матрицы градиентов G, т.е. от геометрии взаимного расположения НКА и потребителя. Таким образом, важным условием достижения высокой точности навигационных определений в ГНСС является такое взаимное пространственное расположение рабочего созвездия НКА и потребителя, при котором обеспечивается требуемая точность пространственно-временных координат при заданном уровне погрешностей измерения псевдодальностей. На этом выводе основывается концепция коэффициента геометрии (геометрического фактора) K_Γ, являющегося мерой уменьшения точности навигационных определений в ГНСС из-за особенностей пространственного расположения НКА и потребителя (в иностранной литературе используется обозначение *GDOP* – геометрический фактор ухудшения местоопределения).

В данной статье из существующих погрешностей навигационно-временных определений рассматривается только геометрический фактор [5], входящий в состав погрешностей вторичной обработки радионавигационных сигналов в НАП.

В общем случае при $\sigma^2_{\text{пд}} \neq 1$, сохраняя определение (3) и учитывая (2) можно записать [3]

$$K_\Gamma = \left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_{D'}^2\right]^{1/2} \Big/ \sigma_{\text{пд}}. \quad (9)$$

При выборе орбитальных параметров НКА на этапе разработки подсистемы НКА, а также выбора рабочего созвездия, K_Γ (9) является основным критерием. Коэффициент геометрии K_Γ может быть представлен в другом виде

$$K_\Gamma{}^2 = K_{\Gamma\text{п}}^2 + K_{\Gamma t}^2, \quad (10)$$

где

$$K_{\Gamma\text{п}} = \left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2\right]^{1/2} \Big/ \sigma_{\text{пд}}, \quad (11)$$

пространственный коэффициент (PDOP)

$$K_{\Gamma t} = \left[\sigma_{D'}\right]^{1/2} \Big/ \sigma_{\text{пд}}, \quad (12)$$

временной коэффициент (*TDOP*).

Пространственный коэффициент геометрии, в свою очередь, можно разделить на две составляющие, характеризующие точность местоопределения потребителя ГНСС в горизонтальной и вертикальной плоскостях:

$$K_{\Gamma\text{п}}^2 = K_{\Gamma\text{г}}^2 + K_{\Gamma\text{в}}^2, \quad (13)$$

где

$$K_{\Gamma\text{г}} = \left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2\right]^{1/2} \Big/ \sigma_{\text{пд}}, \quad (14)$$

горизонтальный коэффициент (HDOP)

$$K_{\Gamma\text{в}} = \left[\sigma_z\right]^{1/2} \Big/ \sigma_{\text{пд}}, \quad (15)$$

вертикальный коэффициент (*VDOP*).

Наиболее важной характеристикой ГНСС является точность местоопределения, поэтому чаще используются параметры $K_{\Gamma\text{п}}$ (*PDOP*) и $K_{\Gamma\text{г}}$ (*HDOP*).

Для проведения исследования интегральной доступности ГНСС составлен алгоритм, приведенный на *рисунке 1*.

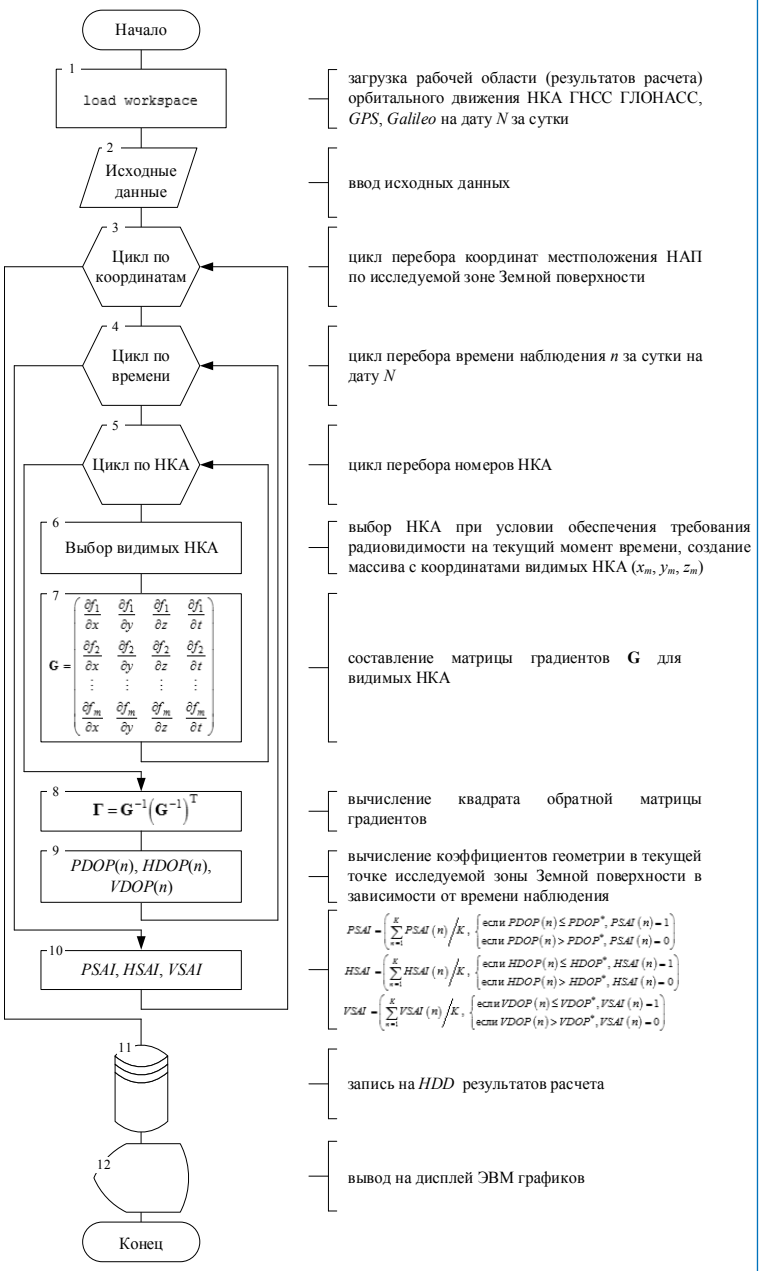


Рис. 1. Алгоритм оценки интегральной доступности ГНСС

Поясним представленный алгоритм:

1. Загрузка рабочей области результатов расчета орбитального движения НКА ГНСС по исходным данным альманаха [7, 8], с помощью имитационной программы авторского коллектива данной статьи.

2. Дополнительные исходные данные:

- исследуемая зона земной поверхности (ΔB, $\Delta L)_{модел}$, представленная геодезическими координатами;
- высота над геоидом H, м;
- ∂B, ∂L – шаг перемещения по исследуемой зоне земной поверхности;
- β'м – угол маски (минимальный угол радио видимости НКА для любой исследуемой точки или зоны);
- *PDOP*, HDOP*, VDOP* = 1,2,3,4,5,6.*

3, 4, 5 – три вложенных цикла. Верхний (блок 3) цикл перебора исследуемых координат НАП по исследуемой зоне земной поверхности. Второй (блок 4) цикл перебора времени наблюдения $t_{модел}=n\cdot\partial t$, который отвечает за вызов из расчетной области (из блока 1) координат НКА на это время. Третий (блок 5) осуществляет вызов координат конкретного НКА на временном шаге $t_{модел} = n\cdot\partial t$.

Внутри нижнего по вложению цикла находятся блок выбора видимых НКА из точки наблюдения на Земле (блок 6) и блок 7, отвечающий за составление матрицы градиентов ***G*** для видимых НКА (4). Расчет составляющих коэффициента геометрии (геометрического фактора) производится для видимых НКА из точки наблюдения, блок 6 предназначен для проверки условия радиовидимости НКА (выбора видимых НКА) в зависимости от расположения точки наблюдения, угла маски β'м и текущих координат НКА на время $t_{модел}=n\cdot\partial t$. Алгоритм выбора видимых НКА основывается на теореме косинусов [9]

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma, \qquad (16)$$

где a, b, c – стороны треугольника,
a, β, γ – противолежащие им углы (*рисунок 2*).

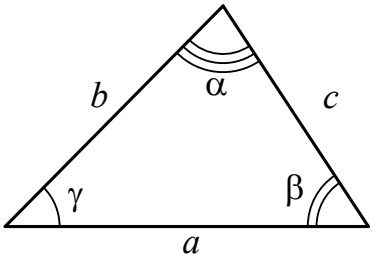


Рис. 2. К вопросу о теореме косинусов

Для пояснения работы алгоритма покажем на *рисунке 3* положение m-го НКА с координатами (x_m, y_m, z_m), определяемыми на текущий момент времени, местоположение точки наблюдения с координатами (x, y, z), угол радиовидимости НКА βм. Условие выбора видимых НК

$$\beta_м \geq \beta'_м. \qquad (17)$$

Для этого по теореме косинусов вычисляем (*рисунок 3*)

$$\cos(\angle OBA) = \frac{AB^2 + OB^2 - OA^2}{2\cdot AB\cdot OB}, \qquad (18)$$

где

$$OA = \sqrt{x_m^2 + y_m^2 + z_m^2}, \qquad (19)$$

$$OB = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \qquad (20)$$

$$AB = \sqrt{(x - x_m)^2 + (y - y_m)^2 + (z - z_m)^2}, \qquad (21)$$

$$\angle OBA = 90° + \beta_м. \qquad (22)$$

На основании (22) находим $\beta_м$

$$\beta_м = \arccos(\angle OBA) - 90°. \qquad (23)$$

Вычисление по формуле (23) повторяется для всех НКА орбитальной группировки на текущий момент времени $t_{модел}=n\cdot\partial t$, т.е. завершения цикла (блок 5).

Блок 7 составляет матрицу градиентов для видимых НКА (24), при соблюдении условия (17). Если условие (17) не выполняется, то данный НКА не участвует в вычислении геометрического фактора.

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} (x-x_1)/AB & (y-y_1)/AB & (z-z_1)/AB & 1 \\ (x-x_2)/AB & (y-y_2)/AB & (z-z_2)/AB & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (x-x_m)/AB & (y-y_m)/AB & (z-z_m)/AB & 1 \end{pmatrix}. \qquad (24)$$

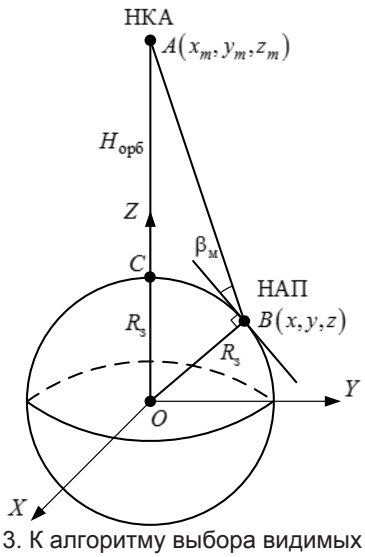


Рис. 3. К алгоритму выбора видимых НКА

Внутри цикла, образованного блоком 4, помимо цикла (блок 5) находятся функции вычисления *PDOP(n)*, *HDOP(n)*, *VDOP(n)* на n-ом вре-

менном шаге согласно ранее приведенным формулам (11, 14, 15) приняв $\sigma_{пд}=1$ (*рисунок 1*, блоки 8, 9). После завершения работы верхнего цикла (блок 3) блок 10 вычисляет интегральную доступность ГНСС по формулам:

$$PSAI=\left(\sum_{n=1}^{K}PSAI(n)\right)\Big/K,\ \begin{cases}\text{если } PDOP(n)\le PDOP^*, PSAI(n)=1\\ \text{если } PDOP(n)>PDOP^*, PSAI(n)=0\end{cases}, \quad (25)$$

$$HSAI=\left(\sum_{n=1}^{K}HSAI(n)\right)\Big/K,\ \begin{cases}\text{если } HDOP(n)\le HDOP^*, HSAI(n)=1\\ \text{если } HDOP(n)>HDOP^*, HSAI(n)=0\end{cases}, \quad (26)$$

$$VSAI=\left(\sum_{n=1}^{K}VSAI(n)\right)\Big/K,\ \begin{cases}\text{если } VDOP(n)\le VDOP^*, VSAI(n)=1\\ \text{если } VDOP(n)>VDOP^*, VSAI(n)=0\end{cases}, \quad (27)$$

где интегральная доступность *PSAI* – в трехмерном пространстве, *HSAI* – в горизонтальной плоскости, *VSAI* – в вертикальной плоскости;

PDOP, HDOP*, VDOP** – требуемые значение составляющих геометрического фактора, вводимые пользователем;

PDOP(n), HDOP(n), VDOP(n) – значения составляющих геометрического фактора на n-ом временном шаге;

K – общее количество шагов по времени.

Процесс повторятся для каждой точки исследуемой зоны земной поверхности $(\Delta B,\Delta L)_{модел}$.

Работа алгоритма завершается сохранением результатов (блок 11) и выводом графиков (блок 12).

Представляется интересным, привести и проанализировать результаты расчета интегральной доступности ГНСС ГЛОНАСС, *GPS* и *Galileo* в соответствии с ранее рассмотренным материалом. Моделируемая дата – 20.05.2017 года, время моделирования $\Delta t_{модел}=24$ часа с шагом $\partial t=4'$. Исследуемая зона земной поверхности ($\Delta B=180°$, $\Delta L=360°$)модел представленная геодезическими координатами; высота над геоидом $H=50$ м; $\partial B=\partial L=1°$ – шаг перемещения по исследуемой зоне земной поверхности; $\beta'м=5$ – угол маски; *PDOP*, HDOP*, VDOP** представлены в *таблицах 1-3*. Согласно актуальным альманахам [7, 8, 9] на исследуемую дату в ГНСС было работоспособно: ГНСС ГЛОНАСС – 24 НКА; *GPS* – 31 НКА; *Galileo* – 27 НКА (резервные НКА – отключены).

Результаты обеспечения интегральной доступности ГНСС не менее 95% в трехмерном пространстве (*PSAI*), в горизонтальной плоскости (*HSAI*), в вертикальной плоскости (*VSAI*) на исследуемой зоне земной поверхности представлены в *таблицах 1-3* при требуемых числовых значениях составляющих геометрического фактора и размеры площади земной поверхности *S,%*, на которой обеспечиваются данные требования выраженной в % от всей исследуемой зоны. На *рисунках 4-6* изображена графическая интерпретация результатов *таблиц 1-3*. Данные рисунки позволяют визуализировать форму земной поверхности, на которой обеспечиваются требуемые числовые значения составляющих геометрического фактора и определить ее географическое положение на глобальной карте земной поверхности. График на *рисунке 7* иллюстрирует зависимость размера земной поверхности на которой обеспечиваются требуемые значения составляющих геометрического фактора при условии *PSAI* ≥ *95%*. График на *рисунке 7* построен путем интерполирования значений *таблиц 1-3*.

Таблица 1

Интегральная доступность ГНСС ГЛОНАСС

PSAI ≥ 95%														
PDOP*	1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	3,3
S, %	0	0	0	0	0	0	0	3,0	18,79	46,19	52,14	60,86	83,23	100
HSAI ≥ 95%														
HDOP*	1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	3,3
S, %	11,26	32,47	33,82	49,71	49,74	49,90	50,24	50,49	50,80	57,62	80,44	94,80	97,54	100
VSAI ≥ 95%														
VDOP*	1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	3,3
S, %	8,73	20,83	25,14	50,61	57,09	71,10	96,99	100	100	100	100	100	100	100

Анализ результатов расчета интегра льной доступности ГНСС ГЛОНАСС приводит к следующим умозаключениям. Приблизительно минимально возможное обеспечиваемое в течении суток (PSAI≥95%) значение пространственного геометрического фактора PDOP(n)≤PDOP*=2,0 (*таблица 1*). Данное значение будет обеспечиваться на S=3% площади земной поверхности. Увеличение анализируемых значений PDOP* от минимального 2,0 приводит к увеличению размеров земной поверхности на которых соблюдаются требования по доступности. Значение PDOP*=3,3 обеспечивается на всей земной поверхности (S=100%). При изменении значений в большую сторону для HDOP*, VDOP* наблюдается похожая закономерность (*таблица 1*).

На *рисунке 4* представлен результат расчета интегральной доступности местоопределения наземного потребителя ГНСС ГЛОНАСС при значениях

PDOP=2,1; 2,2; 2,3; 2,6; 3,3; PSAI ≥ 95%.*

Заметно, что форма земной поверхности, на

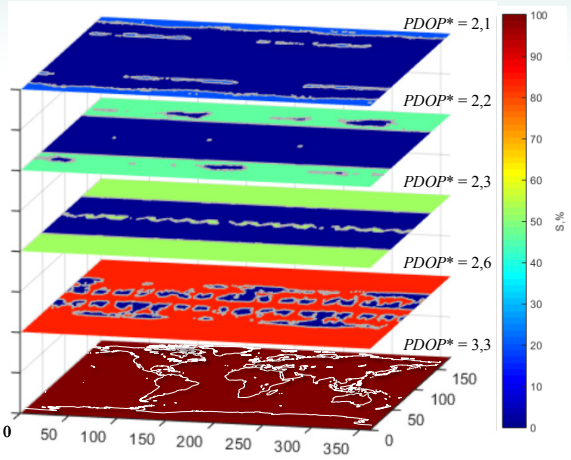


Рис. 4. Интегральная доступность ГНСС ГЛОНАСС по пространству (*PSAI ≥ 95%*)

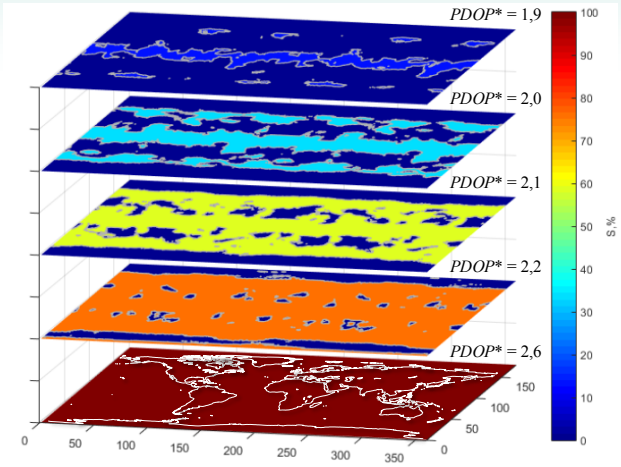


Рис. 5. Интегральная доступность ГНСС GPS по пространству (*PSAI≥95%*)

которой обеспечиваются требуемые числовые значения *PDOP**, обнаруживается и расширяется с полюсов Земли при увеличении *PDOP**.

Таблица 2
Интегральная доступность ГНСС *GPS*

PSAI ≥ 95%														
PDOP*	1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
S, %	0	0	0	0	0,06	3,86	13,94	34,1	58,48	76,11	91,3	98,8	99,97	100
HSAI ≥ 95%														
HDOP*	1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
S, %	33,15	40,26	46,84	52,92	58,5	75,34	89,31	96,82	98,76	99,49	99,81	99,99	100	100
VSAI ≥ 95%														
VDOP*	1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
S, %	30,13	33,16	40,48	55,19	62,45	68,55	72,7	77,77	84,97	98,01	99,91	100	100	100

На *рисунке 5* представлен результат расчета интегральной доступности местоопределения наземного потребителя ГНСС *GPS* при значениях *PDOP*=1,9; 2,0; 2,1; 2,2; 2,6; PSAI ≥ 95%*.

Результаты несколько разнятся в сравнении с ГНСС ГЛОНАСС (*рисунок 4*). Отличительная особенность формы земной поверхности, на которой обеспечиваются требуемые числовые значения PDOP* (при их уменьшении с 2,6) для ГНСС *GPS* – ее меридиональное сужение к экваториальной области.

Рисунок 6 иллюстрирует результаты расчета интегральной доступности местоопределения наземного потребителя ГНСС *Galileo*. При уменьшении *PDOP** с 2,9 форма земной поверхности на которой обеспечиваются условия выполнения заданных требований уменьшается со 100% и представляет собой меридиональные полосы в экваториальной области и на средних широтах северного и южного полушарий земного эллипсоида.

По графику на *рисунке 7* представляется возможным определение как размера зоны земной поверхности (*S*, %) на которой обеспечиваются требуемые значения *PDOP**, так и наоборот при *PSAI≥95%*. Кроме того, данный график по-

Таблица 3
Доступность ГНСС *Galileo*

PSAI ≥ 95%																		
PDOP*	1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
S, %	0	0	0	0	0	0,24	3,84	17,36	29,35	40,87	60,28	67,56	84,96	85,68	85,69	85,70	100	100
HSAI ≥ 95%																		
HDOP*	1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
S, %	27,54	37,04	44,19	44,76	44,76	47,99	63,43	74,58	78,27	87,21	89,06	89,78	89,81	100	100	100	100	100
VSAI ≥ 95%																		
VDOP*	1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
S, %	21,11	24,08	46,93	57,79	62,81	72,21	76,86	78,25	81,13	82,08	84,82	100	100	100	100	100	100	100

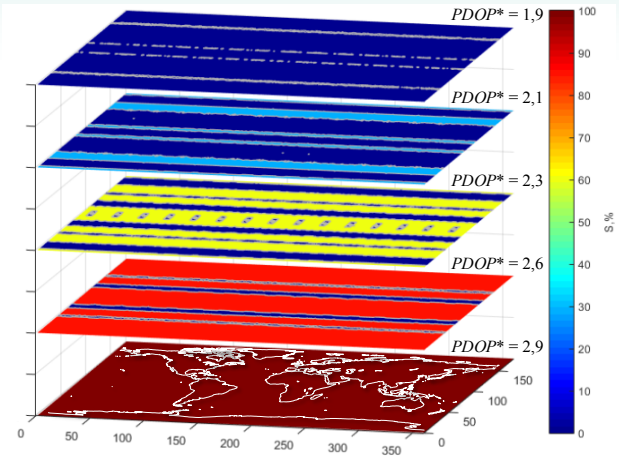


Рис. 6. Интегральная доступность ГНСС *Galileo* по пространству (*PSAI* ≥ 95%)

зволяет наглядно сравнить исследуемые ГНСС ГЛОНАСС, *GPS* и *Galileo* по критерию обеспечения интегральной доступности.

Выигрышную позицию занимает ГНСС *GPS* и *Galileo*, так как эти системы способны обеспечивать доступность в трехмерном пространстве (PSAI) при более низких значения *PDOP*, напомним, что у данных систем в работе на расчетное время были задействованы 31 и 27 НКА, соответственно. При рассмотрении доступности в горизонтальной плоскости (*HSAI*) для ГНСС ГЛОНАСС, *GPS* и *Galileo* при фиксированном значении *HDOP=1,9* ГНСС ГЛОНАСС охватывает 50,24% площади земной поверхности, ГНСС *GPS* – 89,31%, ГНСС *Galileo* – 63,43%. Лидирующую позицию по обеспечению доступности в горизонтальной плоскости (HSAI) занимает ГНСС *GPS*. Однако при анализе доступности в вертикальной плоскости (*VSAI*) для анализируемых ГНСС при значении *VDOP=1,9* ГНСС

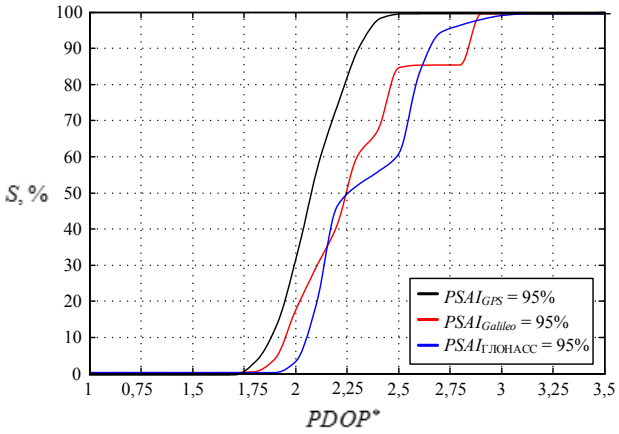


Рис. 7. Обеспечение интегральной доступности ГНСС *GPS, Galileo*, ГЛОНАСС по пространству на площади земной поверхности *S, %*

ГЛОНАСС охватывает 96,99% площади земной поверхности, ГНСС *GPS* 72,7%, ГНСС *Galileo* 76,86%. Неоспоримый факт, что доступность в вертикальной плоскости (*VSAI*) ГНСС ГЛОНАСС обеспечивает при более жестких условиях в отличии от ГНСС *GPS*, *Galileo*. Это зависит от особенностей пространственного расположения орбит НКА ГНСС.

В статье рассмотрен расчет интегральной доступности при фиксированных значениях ГФ, проанализированы формы площадей земной поверхности, на которых обеспечиваются различные значения составляющих ГФ.

Согласно выражения (2) – СКП определения МП следует из произведения СКП определения ПД в НАП и ГФ. Таким образом, с помощью разработанного авторами данной статьи программного продукта имеется возможность расчета значения ГФ на всей земной поверхности в любой момент времени, что является одним из критериев оценки обеспечения навигационно-временных определений ГНСС с заданным качеством.

Очевидно, для улучшения значения СКП МП, необходимо уменьшить СКП ПД за счет внесения конструктивных изменений в НАП или уменьшения ГФ, например, за счет запуска беспилотных летательных аппаратов, дублирующих сигналы ГНСС, либо выбора подходящего маршрута движения с углом маски, достаточным для обеспечения требуемой точности МП.

Литература

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

2. www.glonass-iac.ru 29.09.2017 г.

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

4. Монаков А.А. Теоретические основы радионавигации: Учеб. пособие / Спб.: СПбГУАП, 2002. 70 с.

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

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

7. ftp://ftp.glonass-iac.ru/MCC/ALMANAC 29.09.2017 г.

8. http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=gps Almanacs 29.09.2017 г.

9. http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/What_is_Galileo 29.09.2017 г.

10. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов // 13-е изд., исправленное. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 544 с.

УДК 621.391.2

КРИТИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ КОДИРОВАНИЯ ДЛЯ НЕКОГЕРЕНТНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ С ГРУППИРОВАНИЕМ ОШИБОК, ВЫЗВАННЫМ ЗАМИРАНИЯМИ И ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОЙ ПОМЕХИ

CRITICAL CODING RATE FOR INCOHERENT COMMUNICATION CHANNELS WITH ERROR GROUPING CAUSED BY FADING AND IMPULSE NOISE INTERFERENCE

Вячеслав Анатольевич Шевченко
кандидат технических наук
начальник отдела – заместитель начальника управления
Главное управление развития информационных и телекоммуникационных технологий
Министерство обороны Российской Федерации
Адрес. 119160, Москва, ул. Знаменка, д. 19
Тел. +7 (916) 138-87-96
E-mail: shevv67@mail.ru

Денис Михайлович Снедков
ведущий системный аналитик
ЗАО «НПП «Проект-техника»
Адрес. 125362, Москва, ул. Свободы, д. 35, стр. 22
Тел.:. +7 (929) 676-01-01
E-mail: denmihs@mail.ru

Аннотация
Определены выражения для критической скорости кодирования в «некогерентных» каналах связи в условиях наличия замираний и воздействия импульсной помехи, вызывающих пакетирование ошибок. На основе расчетов по указанным выражениям определены условия для использования двоичных кодов в таких каналах.
Ключевые слова: критическая скорость кодирования, пакет ошибок, замирания, некогерентный канал связи, метрика, кодирование.

Summary
Expressions for cutoff rate for noncoherent communication channels subject to fading and pulse interference causing pooling of errors have been determined. The conditions for using binary codes in such channels have been specified based on the calculations of these expressions.
Keywords: cutoff rate, package errors, fading, noncoherent channel, metric, coding.

Наибольший эффект от применения помехоустойчивых кодов в сочетании с перемежением для защиты от случайных импульсных помех и замираний может быть достигнут в случае декодирования по максимуму правдоподобия, использования «мягких решений» и «сторонней» информации о состоянии канала [1, 2]. При этом в условиях, когда точная и своевременная оценка начальной фазы передаваемых сигналов затруднительна, возможен только «некогерентный» прием.

Оценить потенциальную эффективность применения кодирования в сочетании с перемежением можно по величине отношения энергии сигнала E_b, приходящейся на бит информации, к спектральной плотности помехи N_J, необходимой для достижения критической скорости кодирования R_0 [1-3]. Величина R_0 определяет тот предел, до превышения которого можно гарантировать экспоненциальное уменьшение вероятности ошибки с увеличением длины кода.

Для канала с ошибками, группирующимися в пакеты длиной b, при передаче информации ансамблем сигналов объемом M и декодировании с использованием метрики максимального правдоподобия известно выражение для расчета R_0 [3, 4].

Метрика с «оптимальным взвешиванием» отсчетов на выходе «квадратичных» детекторов сигналов существенно проще в реализации, чем метрика максимального правдоподобия, и требует незначительного увеличения порогового отношения E_b/N_J [4]. При этом метрика с «оптимальным взвешиванием» также предполагает наличие «сторонней» информации о состоянии канала связи и, таким образом, определяет достижимый предел помехоустойчивости для используемых на практике различных «робастных» метрик.

Учитывая изложенное, определим для указанной метрики критическую скорость кодирования в канале связи с группированием ошибок, вызванным воздействием импульсной помехи и замираниями.

Пусть в канале связи для передачи информации со скоростью R используется блочный (n,k) код, имеющий скорость $r=k/n$.

Обозначим переданную кодовую комбинацию через $x=(x_1, x_2,\ldots,x_n)$. Символы кода x_i, где i изменяется от 1 до n, могут принимать одно из целых чисел от 0 до $M-1$, где M – объем алфавита символов кода.

Прошедшему перемежение символу xi модулятор ставит в соответствие сигнал $S_{x_i}(t)$ длительностью

$$T_s=r\log_2 M/R.$$

Объем ансамбля используемых сигналов

$$\{S_0(t),S_1(t),\ldots,S_{M-1}(t)\}$$

равен объему алфавита кодовых символов M. Сигналы являются ортогональными.

Мощность полезного сигнала на входе демодулятора определяется величиной P_s. Перестройка рабочей частоты полезных сигналов осуществляется в полосе частот W.

На вход приемника поступает смесь полезного сигнала, преднамеренной помехи и теплового шума. Кроме того, полезный сигнал подвергается замираниям.

Тепловой шум $n(t)$ представляет собой аддитивный белый гауссовский шум с односторонней спектральной плотностью N_0.

В качестве преднамеренной помехи рассмотрим импульсную (как шумовую, так и многочастотную), имеющую среднюю мощность P_J и спектральную плотность

$$N_J = P_J/W.$$

Передача помехи осуществляется импульсами мощностью P_J/ρ в течение части времени ρ. Во время оставшейся части $1-\rho$ времени импульсная помеха не излучается.

Шумовая помеха во время излучения представляет собой аддитивный белый гауссовский шум.

Многочастотная помеха формируется из множества узкополосных помех, которые перекрывают все из N частотных позиций, отведенных для перестройки рабочей частоты полезного сигнала.

Число частотных позиций зависит от полосы частот B, необходимой для передачи сигналов

$$S_0(t),S_1(t),\ldots,SM-1(t),$$

и определяется следующим соотношением:

$$N=W/B \qquad (1)$$

В случае использования сигналов с M-ой частотной манипуляцией, либо сигналов в виде последовательностей Уолша

$$B=MR/(r\log_2 M), \qquad (2)$$

так что

$$N=\frac{\log_2 M}{M}\frac{Wr}{R}. \qquad (3)$$

Положим, что одиночный импульс помехи перекрывает b_I символов одной кодовой комбинации. Совокупность этих символов определим как «пакет ошибок». На интервале передачи одной кодовой комбинации возможно возникновение

$$L_I=\lfloor n/b_I \rfloor$$

пакетов длиной b_I. При этом i-ый символ кода будет соответствовать пакету с номером

$$j=\lceil i/b_I \rceil.$$

Учитывая, что импульсная помеха является случайной, на интервале передачи j-го пакета, где $j=\overline{1,L_I}$, канал связи может находиться в одном из двух состояний z_j: в «плохом», когда на вход приемника воздействует случайная импульсная помеха в сочетании с тепловым шумом (состояние $z_j=1$ с вероятностью ρ), или в «хорошем», когда на входе приемника присутствует только тепловой шум (состояние $z_j=0$ с вероятностью $1-\rho$).

Совокупность b_F символов кода, во время передачи которых амплитуда сигнала, подверженного замираниям, остается неизменной, также определим как пакет ошибок. На интервале передачи одной кодовой комбинации возможно возникновение

$$L_F=\lfloor n/b_F \rfloor$$

пакетов. При этом i-ый символ кодовой комбинации будет принадлежать пакету с номером

$$j=\lceil i/b_F \rceil.$$

Замирания представляют собой мультипликативную помеху, в результате воздействия которой мгновенная мощность принятого сигна-

ла модулируется амплитудой замирания a_j, которая является случайной величиной со среднеквадратичным значением

$$\Omega = E_{a_j^2}\left(a_j^2\right)$$

и плотностью распределения вероятности $p_{aj}(a_j)$. Соответственно, мгновенная и средняя мощности равны $a_j^2 P_s$ и ΩP_s.

Тепловой шум на входе приемника считается, как правило, независимым от амплитуды замирания.

В рассмотренных условиях отношение энергии сигнала, приходящегося на символ кода, к суммарной спектральной плотности теплового шума и шумовой помехи в состоянии z_j определяется величиной

$$\gamma^2\left(z_j\right) = \left(\gamma_{sn}^{-2} + z_j\gamma_{sJ}^{-2}\right)^{-1}, \quad (4)$$

где

$$\frac{\gamma_{sn}^2}{2} = \frac{\Omega P_s}{N_0 R} r\log_2 M = \frac{\Omega E_b}{N_0} r\log_2 M, \quad (5)$$

$$\frac{\gamma_{sJ}^2}{2} = \frac{\Omega P_s W}{P_J R/\rho} r\log_2 M = \frac{\Omega E_b}{N_J/\rho} r\log_2 M. \quad (6)$$

Отношение энергии многочастотной помехи к спектральной плотности шума определяется величиной

$$\gamma_{Jn}^2 = \frac{P_J}{\rho R N_0}\frac{r}{N}\log_2 M, \quad (7)$$

а с учетом соотношений (3), (5) и (6), величиной

$$\frac{\gamma_{Jn}^2}{2} = \frac{\gamma_{sn}^2}{\gamma_{sJ}^2} M. \quad (8)$$

Для простоты дальнейшего анализа и возможности сравнения эффекта от замираний и воздействия импульсной помехи примем, что $b_I = b_f = b$ и, соответственно, $L_I = L_F = L$.

В демодуляторе принятая канальная последовательность, состоящая из смеси сигнала с замираниями, теплового шума и импульсной помехи, обрабатывается в детекторах, соответствующих сигналам

$$S_0(t), S_1(t), \ldots, S_{M-1}(t).$$

На выходе этих детекторов сигналов по окончанию приема *i-го* символа кода формируется вектор

$$R_i = (R_{0,i}, R_{1,i}, \ldots, R_{M-1,i}).$$

Элементы вектора R_i являются случайными величинами и имеют плотности распределения в зависимости от того, какие значения принимают величины z_j и a_j,. Введем обозначение для такой плотности распределения в виде

$$p_{R_{l,i}}\left(r_{l,i}\middle|z_j, a_j\right),$$

где $l = \overline{0, M-1}$.

Для условий воздействия многочастотной помехи примем также во внимание, что в состоянии $z_j = 1$ указанная плотность помехи будет зависеть также от того, с каким из сигналов совпадает по форме помеха $J(t,\varphi)$.

Для этого случая плотность распределения обозначим в виде

$$p_{R_{l,i}}\left(r_{l,i}\middle|z_j, J = S_k, a_j\right),$$

где k может принимать одно из значений от *0* до *M-1* с вероятностью *1/M*.

В случае воздействия шумовой импульсной помехи и наличии замираний величина $R_{0,i}$ имеет следующую плотность распределения [4]:

$$p_{R_{l,i}}\left(r_{l,i}\middle|z_j, a_j\right) = \frac{1}{2\sigma^2\left(z_j\right)}\exp\left(-\frac{r_{0,i}+\Lambda_s}{2\sigma^2\left(z_j\right)}\right) I_0\left(\frac{\sqrt{r_{0,i}\Lambda_s}}{\sigma^2\left(z_j\right)}\right), \quad (9)$$

где $I_0(\,)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка,

$$\sigma^2\left(z_j\right) = \frac{1}{4}\left(z_j\frac{N_J T_s}{\rho} + N_0 T_s\right), \quad \Lambda = \frac{a_j^2 P_s T_s^2}{} \quad (10)$$

а случайные величины $R_{l,i}$, где $l = \overline{1, M-1}$, – следующую:

$$p_{R_{l,i}}\left(r_{l,i}\middle|z_j, a_j\right) = \frac{1}{2\sigma^2\left(z_j\right)}\exp\left(-\frac{r_{l,i}}{2\sigma^2\left(z_j\right)}\right) \quad (11)$$

В случае воздействия многочастотной импульсной помехи в состоянии канала $z_j = 0$ случайные величины $R_{0,i}$ и $R_{l,i}$, где $l = \overline{1, M-1}$, определяются выражениями (9) и (11) соответственно.

В состоянии $z_j = 1$ при совпадении помехи $J(t,\varphi)$ по форме с сигналом $S_0(t)$ $(J = S_0)$ величина $R_{0,i}$ имеет следующую плотность распределения [5]:

$$p_{R_{0,i}}\left(r_{0,i}\middle|z_j = 1, J = S_0, a_j\right) = \frac{1}{2\sigma^2(0)}\exp\left(-\frac{r_{0,i}+\Lambda^2\left(\cos\varphi, a_j\right)}{\sigma^2(0)}\right)\times$$
$$\times I_0\left(\frac{\sqrt{r_{0,i}\Lambda^2\left(\cos\varphi, a_j\right)}}{\sigma^2(0)}\right), \quad (12)$$

где $\Lambda^2\left(\cos\varphi, a_j\right)$ – величина, которая определяется следующим выражением:

$$\Lambda^2\left(\cos\varphi, a_j\right) = \Lambda_s + \Lambda_J + 2\sqrt{\Lambda_s\Lambda_J}\cos\varphi. \quad (13)$$

В выражении (13) φ-разность начальных фаз полезного сигнала и узкополосной помехи; которая имеет равномерное распределение в пределах от *0* до *π*,

$$\Lambda_J = \frac{P_J T_s^2}{2}. \quad (14)$$

Плотность распределения величины $R_{l,i}$, где $l = \overline{1, M-1}$, при $J = S_0$ имеет следующий вид:

$$p_{R_{l,i}}\left(r_{l,i}\middle|z_j = 1, J = S_0, a_j\right) = \frac{1}{2\sigma^2(0)}\exp\left(-\frac{r_{l,i}}{2\sigma^2(0)}\right). \quad (15)$$

В состоянии $z_j = 1$ при совпадении помехи $J(t,\varphi)$ по форме с сигналом $S_k(t)$ $(J = S_k)$, *где* $k \neq 0$, плотность распределения случайной величины $R_{0,i}$ имеет следующий вид:

$$p_{R_{0,i}}\left(r_{0,i}\middle|z_j, J = S_1, a_j\right) = \frac{1}{2\sigma^2(0)}\exp\left(-\frac{r_{0,i}+\Lambda_s}{2\sigma^2(0)}\right) I_0\left(\frac{\sqrt{r_{0,i}\Lambda_s}}{\sigma^2(0)}\right), \quad (16)$$

а плотность распределения случайной величины $R_{k,I}$ – следующий:

$$p_{R_{k,i}}\left(r_{k,i}\middle|z_j,J=S_k,a_j\right)=\frac{1}{2\sigma^2(0)}\exp\left(-\frac{r_{k,i}+\Lambda_J}{2\sigma^2(0)}\right)I_0\left(\frac{\sqrt{r_{k,i}\Lambda_J}}{\sigma^2(0)}\right). \quad (17)$$

Случайные величины $R_{l,i}$, где $l\neq 0$, $l\neq k$, имеют следующую плотность распределения:

$$p_{R_{l,i}}\left(r_{l,i}\middle|z_j,J=S_k,a_j\right)=\frac{1}{2\sigma^2(0)}\exp\left(-\frac{r_{l,i}}{2\sigma^2(0)}\right). \quad (18)$$

Примем для удобства, что элементы R_i нормируются относительно дисперсии шумового воздействия, в результате чего формируется вектор

$$Y_i=(Y_{0,i},Y_{1,i},\ldots,Y_{M-1,i}).$$

Тогда для условий воздействия шумовой помехи и теплового шума с дисперсией $\sigma^2(z_j)$

$$p_{Y_{l,i}}\left(y_{l,i}\middle|z_j,c_j\right)=p_{R_{l,i}}\left(y_{l,i}=r_{l,i}\sigma^2(z_j)\middle|z_j,a_j=\sqrt{c_j\Omega}\right)\sigma^2(z_j), \quad (19)$$

где $c_j=a_j^2\big/E_{a_j^2}\left(a_j^2\right)$ – нормированная интенсивность сигнала.

В случае воздействия многочастной помехи дисперсия шумового воздействия в состоянии канала zj=1 определяется величиной $\sigma^2(0)$, так что

$$p_{Y_{l,i}}\left(y_{l,i}\middle|z_j=1,S_k,c_j\right)=p_{R_{l,i}}\left(y_{l,i}=r_{l,i}\sigma^2(0)\middle|z_j=1,S_k,a_j=\sqrt{c_j\Omega}\right)\sigma^2(0). \quad (20)$$

При подстановке выражений (9) и (11) в выражение (19) получим

$$p_{Y_{l,i}}\left(y_{l,i}\middle|z_j,c_j\right)=\begin{cases}\frac{1}{2}\exp\left(-\frac{y_{0,i}+c_j\gamma^2(z_j)}{2}\right)I_0\left(\sqrt{y_{0,i}c_j\gamma^2(z_j)}\right), & l=0\\ \frac{1}{2}\exp\left(-\frac{y_{l,i}}{2}\right), & l=\overline{1,M-1}\end{cases} \quad (21)$$

Подстановка выражений (12) и (15) в выражение (20) позволяет получить

$$p_{Y_{l,i}}\left(y_{l,i}\middle|z_j=1,J=S_0,c_j\right)=$$
$$=\begin{cases}\frac{1}{2}\exp\left(-\frac{y_{0,i}+\gamma^2(\cos\varphi,c_j)}{2}\right)I_0\left(\sqrt{y_{0,i}\gamma^2(\cos\varphi,c_j)}\right), & l=0\\ \frac{1}{2}\exp\left(-\frac{y_{1,i}}{2}\right), & l=\overline{1,M-1}\end{cases} \quad (22)$$

где

$$\gamma^2\left(\cos\varphi,c_j\right)=c_j\gamma_{sn}^2+\gamma_{Jn}^2+2\sqrt{c_j\gamma_{sn}^2\gamma_{Jn}^2}\cos\varphi. \quad (23)$$

С учетом выражений (16), (17) и (18) выражение (20) примет следующий вид:

$$p_{Y_{l,i}}\left(y_{l,i}\middle|z_j=1,J=S_k,c_j\right)=\begin{cases}\frac{1}{2}\exp\left(-\frac{y_{0,i}+c_j\gamma_{sn}^2}{2}\right)I_0\left(\sqrt{y_{0,i}c_j\gamma_{sn}^2}\right), & l=0\\ \frac{1}{2}\exp\left(-\frac{y_{k,i}+\gamma_{Jn}^2}{2}\right)I_0\left(\sqrt{y_{k,i}\gamma_{Jn}^2}\right), & l=k\\ \frac{1}{2}\exp\left(-\frac{y_{1,i}}{2}\right), & l\neq 0,l\neq k\end{cases} \quad (24)$$

Декодирование производится на основе решений демодулятора с использованием метрики $m(Y_i,x_i;z_j,c_j)$.

Под воздействием помехи и (или) теплового шума, а также из-за замираний возможна трансформация переданной кодовой последовательности x в последовательность

$$\hat{\mathbf{x}}=\left(\hat{x}_1,\hat{x}_2,\ldots,\hat{x}_n\right),$$

отличающуюся от переданной d символами кода. Без потери общности примем, что $x_i=0$ и $\hat{x}_i=1$ для всех i от 1 до n.

Для канала с ошибками, группирующимися в пакеты длиной b, при передаче информации ансамблем сигналов объемом м и использовании для декодирования метрики максимального правдоподобия известно выражение для расчета критической скорости кодирования [3, 4], которое для рассматриваемого случая примет следующий вид:

$$R_0=\min_{s\geq 0}\left(1-\frac{1}{b}\log_M\left(E_{z_j}\left(E_{c_j}\left(J^b\left(s;z_j,c_j\right)\right)\right)\right)\right)=$$
$$=\min_{s\geq 0}\left(1-\frac{1}{b}\log_M\left(\rho E_{c_j}\left(J^b\left(s;z_j=1,c_j\right)\right)+(1-\rho)E_{c_j}\left(J^b\left(s;z_j=0,c_j\right)\right)\right)\right) \quad (25)$$

где

$$J\left(s;z_j,c_j\right)=1+(M-1)\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j,c_j\right). \quad (26)$$

В выражении (26) $\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j,c_j\right)$ – верхняя граница Чернова вероятности того, что метрика ошибочно принятого символа больше метрики переданного, и представляет преобразование Лапласа (с точностью до отражения) плотности распределения $p_{\Omega_1}\left(\omega_1\middle|z_j,c_j\right)$ случайной величины

$$\Omega_1=m\left(\mathbf{Y_i},\hat{x}_i=1;z_j,c_j\right)-m\left(\mathbf{Y_i},x_i=0;z_j,c_j\right), \quad (27)$$

которая лежит в пределах от $\omega_1^{\min}$ до $\omega_1^{\max}$, так что

$$\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j,c_j\right)=\int_{\omega_1^{\min}}^{\omega_1^{\max}}\exp(s\omega_1)\,p_{\Omega_1}\left(\omega_1\middle|z_j,c_j\right)d\omega_1. \quad (28)$$

Подставив выражение (26) в выражение (25), получим

$$R_0=\min_{s\geq 0}\left(1-\frac{1}{b}\log_M\left(\sum_{v=0}^{b}C_b^v(M-1)^v\sum_{z_j=0}^{1}(1-\rho-(1-2\rho)z_j)E_{c_j}\left(\Phi_{\Omega_1}^v\left(s;z_j,c_j\right)\right)\right)\right) \quad (29)$$

Из выражения (29) следует порядок расчета критической скорости кодирования. Вначале необходимо определить $\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j,c_j\right)$ для фиксированного значения c_j, а затем – $E_{c_j}\left(\Phi_{\Omega_1}^i\left(s;z_j,c_j\right)\right)$.

Для метрики с «оптимальным взвешиванием»

$$m\left(\mathbf{Y_i},x_i;z_j,c_j\right)=c\left(z_j\right)Y_{x_i,i}. \quad (30)$$

где величина $c(z_j)$ для $z_j=1$ принимает значение 1, для $z_j=0$ – значение $c(0)\gg 1$, выражение (28) можно представить следующим образом:

$$\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j,c_j\right)=\Phi_{Y_{1,i}}\left(sc\left(z_j\right);z_j,c_j\right)\Phi_{Y_{0,i}}\left(-sc\left(z_j\right);z_j,c_j\right), \quad (31)$$

где

$$\Phi_{Y_{0,i}}\left(-sc\left(z_j\right);z_j,c_j\right)=\int_0^{\infty}\exp\left(-sc\left(z_j\right)y_{0,i}\right)p_{Y_{0,i}}\left(y_{0,i}\left|z_j,c_j\right.\right)dy_{0,i}, \quad (32)$$

$$\Phi_{Y_{1,i}}\left(sc\left(z_j\right);z_j,c_j\right)=\int_0^{\infty}\exp\left(sc\left(z_j\right)y_{1,i}\right)p_{Y_{1,i}}\left(y_{1,i}\left|z_j,c_j\right.\right)dy_{0,i}. \quad (33)$$

В выражении (31) величину c(0) всегда можно выбрать таким образом, что

$$\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j=0,c_j\right)\approx 1. \quad (34)$$

С учетом выражения (34) преобразуем выражение (29) к следующему:

$$R_0=\min_{s\geq 0}\left(1-\frac{1}{b}\log_M\left(1-\rho+\rho\sum_{v=0}^{b}C_b^i\left(M-1\right)^v E_{c_j}\left(\Phi_{\Omega_1}^v\left(s;z_j=1,c_j\right)\right)\right)\right). \quad (35)$$

Наихудшей будет помеха, для которой величина ρ выбрана таким образом, чтобы максимизировать правую часть выражения (35).

Для многочастотной помехи в состоянии $z_j=1$ выражение для $\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j,c_j\right)$ примет следующий вид [5]:

$$\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j=1,c_j\right)=\frac{1}{M}\Phi_{Y_{1,i}}\left(s;z_j=1,J=S_0\right)\Phi_{Y_{0,i}}\left(-s;z_j=1,J=S_0\right)+$$
$$+\frac{1}{M}\Phi_{Y_{1,i}}\left(s;z_j=1,J=S_1\right)\Phi_{Y_{0,i}}\left(-s;z_j=1,J=S_1\right)+$$
$$+\frac{M-2}{M}\Phi_{Y_{1,i}}\left(s;z_j=1,J=S_2\right)\Phi_{Y_{0,i}}\left(-s;z_j=1,J=S_2\right). \quad (36)$$

где

$$\Phi_{Y_{0,i}}\left(-s;z_j=1,J=S_k,c_j\right)=\int_0^{\infty}\exp\left(-sy_{0,i}\right)p_{Y_{0,i}}\left(y_{0,i}\left|z_j=1,J=S_k,c_j\right.\right)dy_{0,i}, \quad (37)$$

$$\Phi_{Y_{1,i}}\left(s;z_j=1,J=S_k,c_j\right)=\int_0^{\infty}\exp\left(sy_{1,i}\right)p_{Y_{1,i}}\left(y_{1,i}\left|z_j=1,J=S_k,c_j\right.\right)dy_{1,i}. \quad (38)$$

Рассмотрим случай воздействия шумовой импульсной помехи.

Для состояния канала $z_j=1$ выражения (37) и (38) с учетом выражений (32) и (33) соответственно примут следующий вид:

$$\Phi_{Y_{0,i}}\left(-s;z_j=1,c_j\right)=\frac{1}{2}\exp\left(-c_j\frac{\gamma^2(1)}{2}\right)\times$$
$$\times\int_0^{\infty}\exp\left(-\frac{y_{0,i}}{2}\left(1+2s\right)\right)I_0\left(2\sqrt{\frac{y_{0,i}}{2}c_j\frac{\gamma^2(1)}{2}}\right)dy_{0,i}, \quad (39)$$

$$\Phi_{Y_{1,i}}\left(s;z_j=1,c_j\right)=\frac{1}{2}\int_0^{\infty}\exp\left(-\frac{y_{1,i}}{2}\left(1-2s\right)\right)dy_{1,i}. \quad (40)$$

Сделав в выражении (39) замену переменных $u=y_{0,i}/2$ и используя табличный интеграл [6]

$$\int_0^{\infty}\exp\left(-pu\right)I_o\left(2\sqrt{au}\right)du=\frac{1}{p}\exp\left(\frac{a}{p}\right), \quad (41)$$

где $a=c_j\gamma^2\left(z_j\right)/2$, $p=1+2s$,

после некоторых математических преобразований получим

$$\Phi_{Y_{0,i}}\left(s;z_j=1,c_j\right)=\frac{1}{1+2s}\exp\left(-c_j\frac{\gamma^2(1)}{2}\frac{2s}{1+2s}\right). \quad (42)$$

Воспользовавшись известным выражением для неопределенного интеграла вида

$$\int\exp\left(au\right)du=\frac{\exp\left(au\right)}{a}, \quad (43)$$

где $a=-y_{1,i}\left(1-2s\right)/2$,

вместо выражения (40) будем иметь

$$\Phi_{Y_{1,i}}\left(s;z_j,c_j\right)=\frac{1}{1-2s}. \quad (44)$$

Подставив выражения (42) и (44) в выражение (31), получим после некоторых преобразований

$$\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j=1,c_j\right)=\frac{1}{1-4s^2}\exp\left(-c_j\frac{\gamma^2(1)}{2}\frac{2s}{1+2s}\right). \quad (45)$$

С учетом (45) выражение для $E_{c_j}\left(\Phi_{\Omega_1}^v\left(s;z_j=1,c_j\right)\right)$ примет следующий вид:

$$E_{c_j}\left(\Phi_{\Omega_1}^v\left(s;z_j=1,c_j\right)\right)=\frac{1}{\left(1-4s^2\right)^v}\int_0^{\infty}\exp\left(-c_j v\frac{\gamma^2(1)}{2}\frac{2s}{1+2s}\right)p\left(c_j\right)dc_j. \quad (46)$$

Интеграл в правой части выражения (48) представляет собой производящую функция моментов

$$M_{\tilde{n}_j}\left(p\right)=\int_0^{\infty}\exp\left(pc_j\right)p\left(c_j\right)dc_j, \quad (47)$$

где $p=v\gamma^2\left(1\right)s/\left(1+2s\right)$,

так что

$$E_{\tilde{n}_j}\left(\Phi_{\Omega_1}^v\left(s;z_j=1,c_j\right)\right)=\frac{1}{\left(1-4s^2\right)^v}M_{\ j}\left(-v\frac{\gamma^2(1)}{2}\frac{2s}{1+2s}\right). \quad (48)$$

Рассмотрим теперь случай воздействия многочастотной импульсной помехи.

Пусть $J=S_0$. При наступлении этого события плотности распределения случайных величин $Y_{0,i}$, $Y_{1,i}$ определяются выражением (22).

Поскольку плотность распределения $Y_{1,i}$ в выражении (22) совпадает с выражением (21), то по аналогии с выражением (44) запишем

$$\Phi_{Y_{1,i}}\left(s;z_j=1,J=S_0\right)=\frac{1}{1-2s}. \quad (49)$$

Соответственно, для $Y_{0,i}$ правая часть выражения (22) совпадает с выражением (21) в случае замены величины $\gamma^2(1)$ на величину $\gamma^2(\cos\varphi)$. Тогда аналогии с выражением (42) с учетом того, что фаза имеет равномерное распределение в интервале 0 до π, будем иметь

$$\Phi_{Y_{0,i}}\left(-s;z_j=1,J=S_0,c_j\right)=\frac{1}{\pi\left(1+2s\right)}\int_0^{\pi}\exp\left(-\frac{\gamma^2\left(\cos(\varphi),c_j\right)}{2}\frac{2s}{1+2s}\right)d\varphi. \quad (50)$$

Используя интегральное представление модифицированной функции Бесселя первого рода 0-го порядка, преобразуем выражение (50) к следующему виду:

$$\Phi_{Y_{0,i}}\left(-s;z_j=1,J=S_0,c_j\right)=\frac{\exp\left(-\frac{c_j\gamma_{sn}^2+\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1+2s}\right)}{(1+2s)}I_0\left(2\sqrt{c_j\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1+2s}}\right). \quad (51)$$

Пусть теперь $J=S_1$. Для $Y_{0,j}$ плотность распре-

деления определяется выражением (24), которое совпадает с выражением (21) в случае замены величины $\gamma^2(1)$ на величину γ_{sn}^2, что по аналогии с выражением (42) записать

$$\Phi_{Y_{0,i}}\left(-s;z_j=1,J=S_1,c_j\right)=\frac{1}{1+2s}\exp\left(-c_j\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\frac{2s}{1+2s}\right). \quad (52)$$

Для $Y_{0,i}$ подстановка выражения (24) в выражение (38) дает

$$\Phi_{Y_{1,i}}\left(s;z_j=1,J=S_1,c_j\right)=\frac{1}{2}\exp\left(-\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\right)\int_0^\infty\exp\left(-\frac{y_{1,i}}{2}(1-2s)\right)I_0\left(\sqrt{y_{1,i}\gamma_{Jn}^2}\right)dy_{1,i}. \quad (53)$$

Используя табличный интеграл (41) для вычисления правой части выражения (53), где $u=y_{1,i}/2$, $a=\gamma_{Jn}^2/2$, $p=1-2s$, после некоторых математических преобразований получим

$$\Phi_{Y_{1,i}}\left(s;z_j=1,J=S_1\right)=\frac{1}{1-2s}\exp\left(\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1-2s}\right). \quad (54)$$

Рассмотрим теперь случай $J=S_2$. Для $Y_{0,i}$ плотность распределения также определяется выражением (24), так что

$$\Phi_{Y_{0,i}}\left(-s;z_j=1,J=S_2,c_j\right)=\frac{1}{1+2s}\exp\left(-c_j\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\frac{2s}{1+2s}\right). \quad (55)$$

Для $Y_{1,i}$ плотность распределения в выражении (24) совпадает с выражением (21). Соответственно

$$\Phi_{Y_{1,i}}\left(s;z_j=1,J=S_2\right)=\frac{1}{1-2s}. \quad (56)$$

Подставив выражения (49), (51), (52), (54), (55), (56) в выражение (36), после некоторых математических преобразований получим

$$\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j=1,c_j\right)=\frac{1}{M}\frac{\exp\left(-c_j\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\frac{2s}{1+2s}\right)}{\left(1-4s^2\right)}\times$$
$$\times\left(\exp\left(-\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1+2s}\right)I_0\left(2\sqrt{c_j\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1+2s}}\right)+\exp\left(\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1-2s}\right)+M-2\right). \quad (57)$$

Если выразить $\Phi_{\Omega_1}\left(s;c_j\right)$ в виде

$$\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j=1,c_j\right)=\varphi\left(c_j\gamma_{sn}^2/2\right)\exp\left(-c_j\gamma_{sn}^2/2\right), \quad (58)$$

то с использованием метода [10] определим, что

$$E_{c_j}\left(\Phi_{\Omega_1}^v\left(s;z_j=1,c_j\right)\right)=v!\sum_{i=v}^{\infty}\frac{A\left(i,v,\mathbf{q}\right)}{i!}D_{c_j}\left(\frac{\gamma_{sn}^2}{2},v,i-v\right), \quad (59)$$

где

$$D_{c_j}\left(\frac{\gamma_{sn}^2}{2},v,i-v\right)=E_{c_j}\left(\left(c_j\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\right)^{i-v}\exp\left(-vc_j\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\right)\right). \quad (60)$$

где $A(i,v;q)$ – однородные полиномы Белла; $q=(q_1, q_2, \ldots q_\infty)$ – набор переменных, которые связаны с коэффициентами разложения функции $\varphi(t)$ в ряд Тейлора a_i, где $i=\overline{0,\infty}$, следующим соотношением:

$$q_i=ia_{i-1},\ i=\overline{1,\infty}. \quad (61)$$

В выражении (61) однородные полиномы Белла, с учетом того, что $A(1,1;q)=q_1$, удовлетворяют следующему рекуррентному соотношению [7]:

$$A\left(v+i,v;\mathbf{q}\right)=\begin{cases}q_{v+i}, & v=1,\\ \sum_{j=1}^{i+1}C_{v+i-1}^{j-1}g_jA\left(v+i-j,v-1;\mathbf{q}\right), & v>1.\end{cases} \quad (62)$$

Для наиболее используемых распределений выражения для $D_{c_j}\left(\alpha=\gamma^2/2,v,i\right)$ приведены в работе [10].

Для $\Phi_{\Omega_1}\left(s;z_j,J=S_n,c_i\right)$, заданного выражением (57),

$$\varphi(t)=\frac{1}{M\left(1-4s^2\right)}\left(\exp\left(-\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1+2s}\right)\psi_2(t,s)+\right.$$
$$\left.+\exp\left(\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1-2s}\right)\psi_1(t,s)+M-2\right) \quad (63)$$

В выражении (63)

$$\psi_1(t,s)=\exp(at), \quad (64)$$

где

$$a=\left(1+2s\right)^{-1}, \quad (65)$$

и

$$\psi_2(t,s)=\exp(at)I_0\left(\sqrt{bt}\right), \quad (66)$$

где

$$b=4\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\left(\frac{2s}{1+2s}\right)^2. \quad (67)$$

Используя разложения в ряд [8]

$$\exp(at)=\sum_{i=0}^{\infty}(at)^i/i!, \quad (68)$$

$$I_v\left(z=\sqrt{bt}\right)=\sum_{i=0}^{\infty}\frac{(z/2)^{2i+v}}{i!\Gamma\left(i+v+1\right)}=\sum_{i=0}^{\infty}\frac{(bt/4)^{i+v/2}}{i!\Gamma\left(i+v+1\right)}, \quad (69)$$

получим

$$\psi_1(t,s)=\sum_{i=0}^{\infty}\frac{1}{\left(1+2s\right)^i}\frac{t^i}{i!}, \quad (70)$$

$$\psi_2(t,s)=\left(\sum_{i=0}^{\infty}\frac{a^i}{i!}t^i\right)\left(\sum_{i=0}^{\infty}\frac{b^i}{(i!)^2}t^i\right). \quad (71)$$

Для произведения функций известно, что [8]

$$\left(\sum_{i=0}^{\infty}a_ix^i\right)\left(\sum_{i=0}^{\infty}b_ix^i\right)=\sum_{n=0}^{\infty}c_nx^n, \quad (72)$$

где

$$c_n=\sum_{i=0}^{n}a_ib_{n-i}. \quad (73)$$

Из сопоставления выражений (71) и (72) найдем, что

$$a_i=a^i/i!,\ b_i=(b/4)^i/(i!)^2, \quad (74)$$

С учетом (74) выражение (73) примет следующий вид:

$$c_n=\sum_{i=0}^{n}\frac{(b/4)^i}{(i!)^2}\frac{a^{n-i}}{(n-i)!}=\frac{a^n}{n!}\sum_{i=0}^{n}\frac{C_n^i}{i!}\left(\frac{b}{4a}\right)^i=\frac{a^n}{n!}L_n\left(-\frac{b}{4a}\right), \quad (75)$$

где $L_n(x)$ – полином Лаггера [8]

$$L_n\left(x\right)=\sum_{i=0}^{n}\frac{C_n^i}{i!}(-x)^i. \quad (76)$$

Таким образом,

$$\psi_2(t,s)=\sum_{n=0}^{\infty}a^n L_n\left(-\frac{b}{4a}\right)\frac{t^n}{n!}. \qquad (77)$$

Подставив выражения (70) и (77) в выражение (63), получим с учетом (65) и (66)

$$\varphi(t)=\frac{1}{M\left(1-4s^2\right)}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{t^n}{n!}\left(\frac{1}{1+2s}\right)^n\times$$

$$\times\left(\exp\left(-\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1+2s}\right)L_n\left(-\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{(2s)^2}{1+2s}\right)+\exp\left(\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1-2s}\right)+M-2\right). \qquad (78)$$

Из выражения (78) легко увидеть, что

$$a_i=\frac{1}{M\left(1-4s^2\right)}\left(\frac{1}{1+2s}\right)^i\times$$

$$\times\left(\exp\left(-\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1+2s}\right)L_i\left(-\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{(2s)^2}{1+2s}\right)+\exp\left(\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\frac{2s}{1-2s}\right)+M-2\right). \qquad (79)$$

Подстановка выражений (48) и (59) в выражение (35) позволяет определить критическую скорость кодирования в канале связи с группированием ошибок, вызванных наличием замираний и воздействием случайной импульсной помехи (шумовой и многочастотной соответственно).

Рассмотрим случай, когда замирания подчинены закону Райса, а интенсивность сигнала имеет следующее распределение [9]:

$$p_c(c_j)=(1+K)\exp\left[-K-(1+K)c_j\right]I\left(2\sqrt{K(1+K)c_j}\right). \qquad (80)$$

Для данной модели замираний производящая функция из выражения (48) имеет следующий вид [9]:

$$M_{c_j}(p)=\frac{(1+K)}{(1+K)-p}\exp\left[\frac{Kp}{(1+K)-p}\right] \qquad (81)$$

а параметр D_{c_j} из выражения (61) – имеет следующий [10]:

$$D_{c_j}(\beta,v,i)=\frac{(K+1)\exp(-K)}{\beta}\frac{\Gamma(1+i)}{p^{i+1}}\exp\left(\frac{a}{p}\right)L_i\left(-\frac{a}{p}\right), \qquad (82)$$

где

$$a=\frac{K(K+1)}{\beta},\quad p=v+\frac{K+1}{\beta}. \qquad (83)$$

Приравняв $r=R_0$, определим из полученного соотношения отношение E_b/N_J, необходимое для достижения критичной скорости кода R_0 при группировании ошибок в пакеты с максимальной различной длины ($b=1,2,4$). При этом будем рассматривать воздействие полигармонической помехи, поскольку для шумовой помехи, вызывающей группирование ошибок, результаты известны [4].

На *рисунке 1* представлены отношения E_b/N_J, необходимые для достижения различных значений критичной скорости кода R_0 при использовании ансамбля ортогональных сигналов различных объемов и соответствующего ему объема алфавита символов кода, некогерентном приеме в условиях воздействия наихудшей импульсной полигармонической помехи, вызывающей группирование ошибок в пакеты различной длины ($b=1,2,4$), и отсутствии райсовских замираний ($K=\infty$).

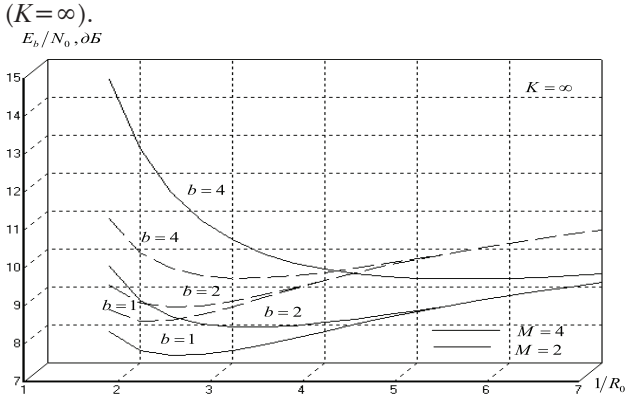


Рис. 1. Отношения *Eb/NJ*, необходимые для достижения различных значений R_0 в канале с различными ансамблями сигналов в условиях воздействия импульсной полигармонической помехи и отсутствии замираний

Из анализа *рисунка 1* следует целесообразность использования двоичных кодов и сигналов с двукратной частотной манипуляцией при группировании ошибок при $b\geq 4$. Для меньших значений b использование сигнально-кодовых конструкций с $M=4$ дает выигрыш по сравнению с использованием двоичных не более 1 дБ.

На рисунке 2 для указанных сигнально-кодовых конструкций и метода приема представлены отношения E_b/N_J, необходимые для достижения различных значений критичной скорости кода R_0 при наличии «блочных» релеевских замираний ($K=0$) в условиях воздействия наихудшей полигармонической помехи.

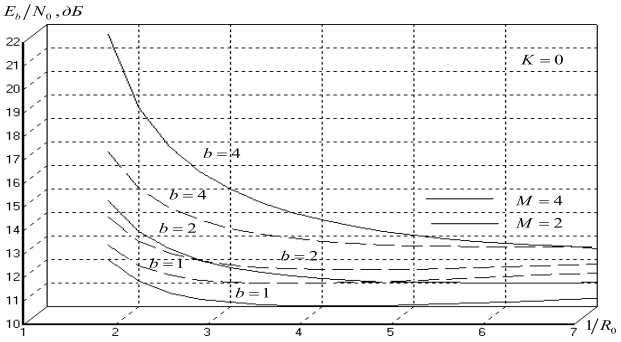


Рис. 2. Отношения *Eb/NJ*, необходимые для достижения различных значений R_0 в канале с различными ансамблями сигналов при наличии релеевских замираний в условиях воздействия полигармонической помехи

Из анализа *рисунка 2* также следует целесообразность двоичных кодов и сигналов с двукратной частотной манипуляцией при группирова-

нии ошибок с $b \geq 4$. Для меньших значений b выигрыш от использования сигнально-кодовых конструкций с $M=4$ по сравнению с использованием двоичных незначителен.

При этом результаты расчетов показывают, что при наличии релеевских замираний оптимальной является постановка непрерывных полигармонических помех.

Таким образом, из сравнения пороговых отношений E_b/N_J для различных M определена наибольшая эффективность двоичных кодов и сигналов с двукратной частотной манипуляцией для условий, когда имеет место группирование ошибок в пакеты с максимальной длиной $b \geq 4$.

Исходя из этого для определения оптимальной сигнально-кодовой конструкции и решающей метрики, используемой при декодировании, достаточно разработать методы оценки вероятности ошибки на бит как функции от отношения E_b/N_J в условиях группировании ошибок в пакеты только для двоичных кодов.

Литература

1. Кларк Дж., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1987. 392 с.

2. Simon M.K., Omura J.K., Scholtz R.A., Levitt B.K. Spread Spectrum Communications, vol.I-III, Rockville, MD: Computer Science, Marylend, 1985.

3. Mc.Elice R.J., Stark W.E. Channeles with Block Interference.//IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT-30, pp. 44-53, Jan. 1984.

4. Stark W.E. Coding for Frequency-Hopped Spread-Spectrum Communications with Partial-Band Interference – Part I: Capacity and Cutoff Rate. //IEEE Trans. On Commun. Vol. COM-33, p.p. 1036-1044, October 1985.

5. Kwon H.M., Lee P.J. Combined Tone and Noice Jamming Against Coded FH/MFSK ECCM Radios//IEEE journal on selected areas in communications, vol.8, № 5, June 1990, -pp. 871-883.

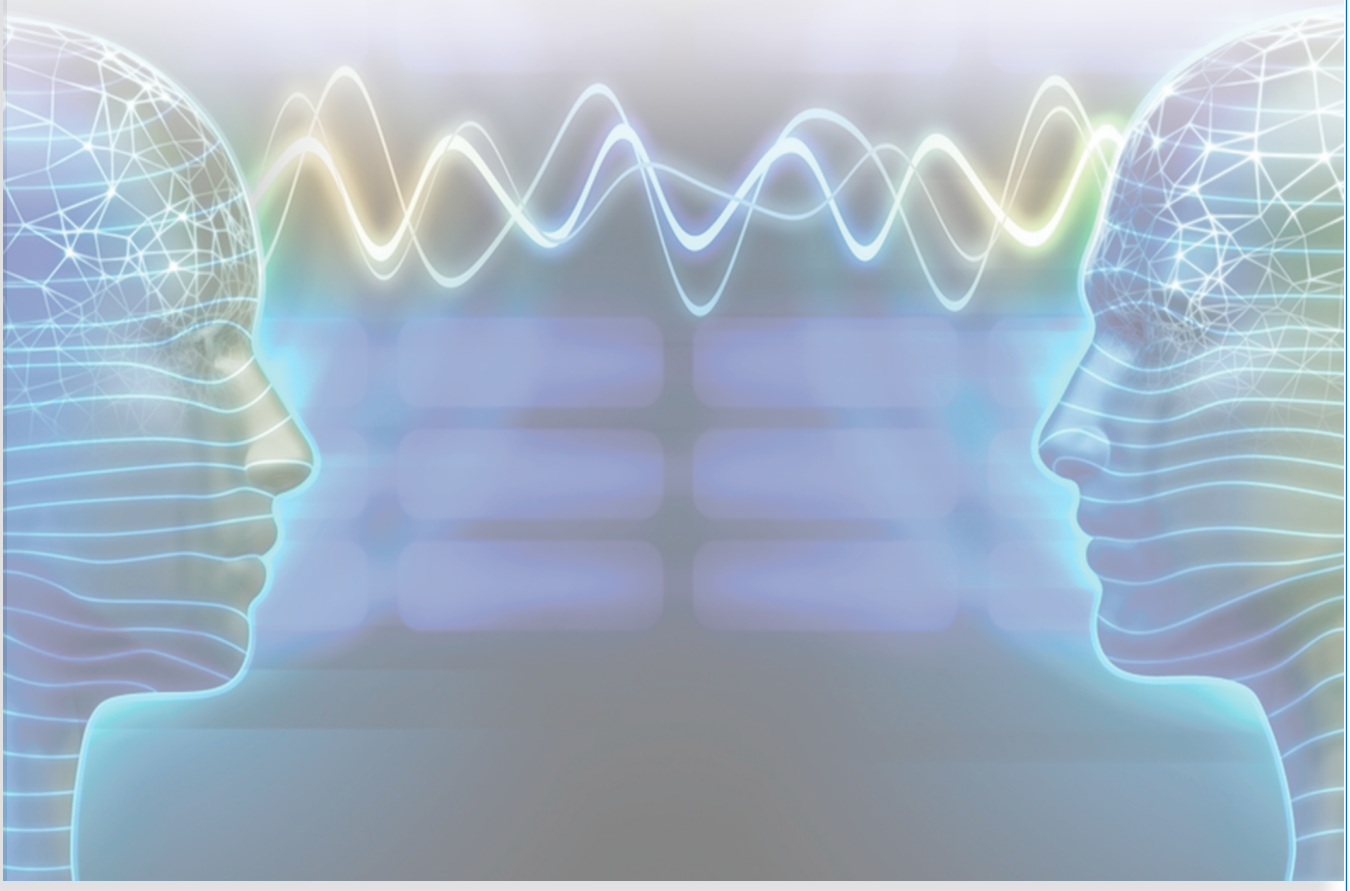
6. Бейтмен Г., Эрдейи А. Таблицы интегральных преобразований. Преобразования Фурье, Лапласа, Меллина. М.: Наука, 1969. 344 с.

7. Кузьмин О.В. Обобщенные пирамиды Паскаля и их приложения. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 294 с.

8. Грандштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 1232 с.

9. Simon M.K., Alouini M-S. Digital communication over fading channels: a unified approach to performance Analysis. John Wiley & Sons, Inc. 2000. – 546 p.

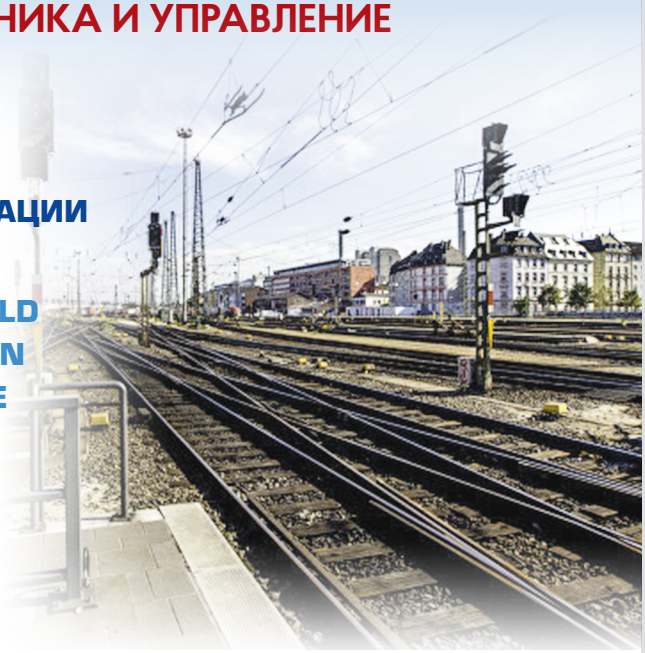
10. Шевченко В.А. Верхняя граница вероятности ошибки для двоичных кодов в «некогерентных» каналах связи с блочными замираниями// Двойные технологии, 2016. № 4 (77). С. 29-35.



УДК 681.5.23

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ПОЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ДЛЯ НАВИГАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

EVALUATION OF THE INFORMATION FIELD OF THE RAILWAYS FOR THE NAVIGATION OF ROLLING STOCK ACCORDING TO THE INFORMATION OF THE SYSTEMS OF TECHNICAL VISION



Александр Николаевич Попов
студент магистратуры
Московский авиационный институт
инженер
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967) 35-31-93

Александр Сергеевич Лычагов
кандидат технических наук
преподаватель кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра
Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (985) 135-48-38,
E-mail: lichagov@rambler.ru

Денис Евгеньевич Быстров
заместитель начальника отдела –
начальника группы 5 отдела
Управление перспективными и
межвидовыми исследованиями и
специальными проектами
Министерство обороны
Российской Федерации
Москва
Тел.: 8 (916) 807-01-03
E-mail: 9168070103@mail.ru

Аннотация

В статье проводится анализ объектов, присутствующих на железной дороге, и приводится их классификация. Определяется список объектов железнодорожной инфраструктуры, представленных в современных ГИС. Обосновывается выбор стрелочных переводов в качестве объектов, максимально удовлетворяющих условиям надежной навигации. Исходя из анализа большого объема картографической информации, получаются статистические оценки, характеризующие функцию распределения стрелочных переводов на железнодорожном пути.

Ключевые слова: система технического зрения, плотность распределения железнодорожных стрелок, подвижный рельсовый состав, навигация, информативность поля ориентиров.

Summary

The article analyzes the objects of the railroads and categorizes them. Defines the list of objects of the railway infrastructure, presented in a modern GIS. The choice switches as objects is proved satisfying the conditions of reliable navigation. Based on the analysis of a large volume of cartographic information obtained statistical estimates characterizing the distribution function of switches on the railway track.

Keywords: computer vision, distribution density of railway switches, movable rail structure, navigation, informativity field of landmarks.

Введение

Современные требования к точности позиционирования подвижного состава составляют 0.5 метров. Достижение столь высоких точностей не является возможным только с использованием спутниковых технологий, в силу их низкой помехозащищенности и многолучевости, особенно в условиях городской среды [1]. Существующие в настоящее время решения высокоточной навигации все чаще имеют в своем составе системы технического зрения, так компания *Google* использует *Velodyne Lidar* для обеспечения 10 см точности позиционирования [2].

Использование лидаров не является экономически целесообразным решением в силу их дороговизны, поэтому для навигации объектов предлагается использовать видеокамеры [3,4,5]. При таком подходе, навигацию подвижного объекта предлагается реализовывать путем создании подробной карты придорожных объектов и их распознавания во время движения объекта, что обеспечивает непрерывную коррекцию показаний навигационной системы (НС). Потенциальная точность такой НС напрямую зависит от количества используемых при распознавании объектов и частоте их появления. Так, в своих работах, компания *Mobileye* для навигации автомобилей предлагает использовать более 60 типов дорожных объектов [6]. Однако подобные исследования в области навигации подвижных железнодорожных объектов авторам не известны.

В статье авторы проводят анализ объектов присутствующих на железной дороге и приводят их классификацию. Для каждого объекта из списка определяется факт его наличия на цифровой карте (*openstreetmap*) [7], а также стабильность характеристик во времени и пространстве. Данные критерии позволяют выбрать объекты, имеющие максимальный потенциал для использования в качестве навигационных реперов для коррекции НС. Дальнейший анализ производится для стрелочных переводов, для которых определяются характеристики функции плотности распределения стрелочных переводов на железнодорожном пути.

Решение

Инфраструктура железнодорожного транспорта включает в себя подсистемы (железнодорожный путь, железнодорожное электроснабжение, железнодорожная автоматика и телемеханика, железнодорожная электросвязь, станционные здания, сооружения и устройства). В приведенной ниже классификации не будем использовать объекты, являющиеся линейными или площадными, в силу невозможности их идентификации системой технического зрения (СТЗ).

1. Объекты, принадлежащие железнодорожному пути. Выделяют нижние и верхние строения пути:

- элементы верхнего строения: рельсы, рельсовые скрепления, шпалы, железобетонные плиты, блоки, рамы, стрелочные переводы, глухие пересечения, переводные брусья и др.;
- элементы нижнего строения: мосты, трубы под дорогой, виадуки и эстакады, путепроводы, тоннели и др.

2. Объекты, принадлежащие железнодорожному электроснабжению: столбы линий электропередач, изоляторы, линии электропередач и др.

3. Железнодорожная автоматика и телемеханика: светофоры входные, светофоры выходные, светофоры маршрутные, светофоры проходные и др.

4. Станционные здания, сооружения и устройства:

- пассажирские станции: вокзалы; пассажирские платформы; тоннели; пешеходные мосты; технические парки; локомотивное и вагонное хозяйства; багажные и почтовые устройства.
- грузовые железнодорожные станции.

Для навигации подвижного объекта необходимо, чтобы объекты-реперы были стабильны в пространстве и во времени [5]. Стабильность в пространстве характеризует свойства объекта иметь неизменные координаты местоположения объекта и техническую сложность в его передвижении и переустановки. Стабильность во времени характеризует неизменность визуальных свойств объекта в течение времени суток или времен года. Также важна опознаваемость объекта, как свойство объекта иметь уникальные признаки, отличающие его от других. Указанные свойства по некоторым типам объектов представлены в *таблице 1*. Для оценки данных свойств использовалась субъективная экспертная оценка, при этом низкое значение свойства характеризуется нулем и высокое единицей. В *таблице 1* также приводятся данные о частоте встречи объектов на 1 км железнодорожного пути [8].

Таблица 1

Анализ объектов железной дороги для повышения точности навигации по информации СТЗ

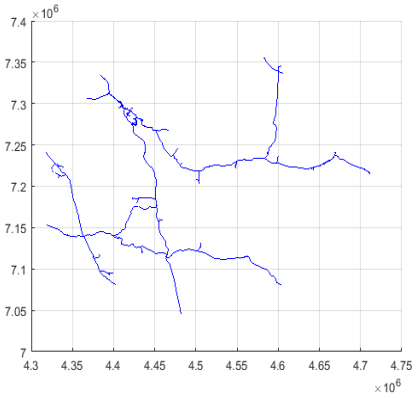
Объект	Стабильность в пространстве	Стабильность во времени	Опознаваемость	Наличие в ГИС	Частота появления на один км
Мост	1	1	0.25	Да	0,3
Стрелочный перевод	1	1	1	Да	2
Платформа	1	0.5	0.5	Да	0,15
Светофор	0.5	0.5	1	Нет	Н/Д
Столб	0.5	1	1	Нет	20-40

Анализ *таблицы 1* показывает, что целесообразно в качестве навигационного репера использовать железнодорожные стрелки, поскольку они обладают высокой стабильностью и опознаваемостью, а также представлены в современных ГИС. Официальные данные РЖД характе-

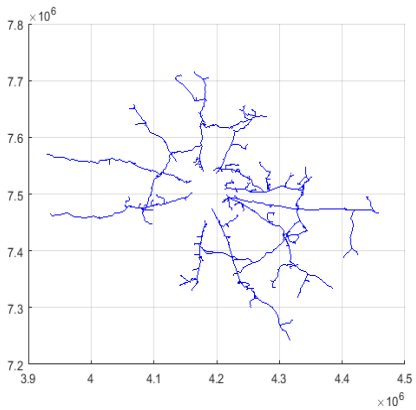
ризуют наличие более чем 166 975 дорожных стрелок при общей протяженности дорожной сети 85 281 км. Данные сведения характеризуют частоту их расположения – около 500 метров [8]. С другой стороны, анализ картографической информации свидетельствует, о том, что большая часть железнодорожных стрелок размещается на станциях что означает неэффективность их использования при движении в сквозном направлении. Вследствие этого, возникает вопрос получения реальных характеристик частоты появления железнодорожных стрелок.

Анализ расположения стрелочных переводов

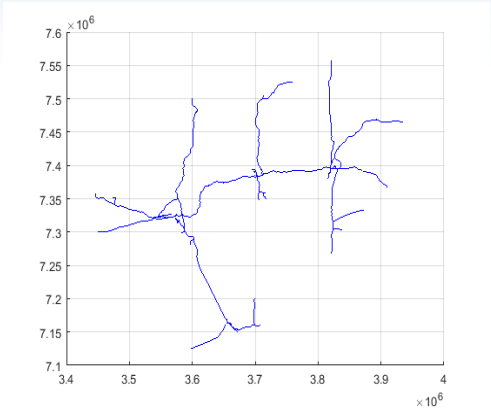
Анализ частоты расположения стрелочных переводов проводился путем моделирования проездов железнодорожного состава от одной случайно выбранной станции до другой и подсчета их количества. Маршруты строились по картам железных дорог четырех регионов Российской Федерации: Московская, Рязанская, Смоленская и Самарская области. Карты железных дорог рассматриваемых регионов были сформированы по данным открытого картографического интернет-ресурса *OpenStreetMap* [7], *рисунок 1*.



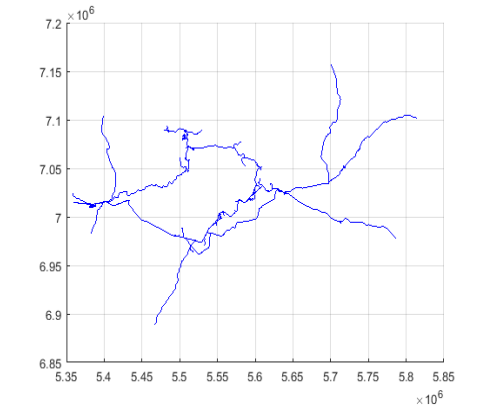
а) Рязанская область



б) Московская область



в) Смоленская область



г) Самарская область

Рис. 1. Карты железных дорог некоторых областей

Данную задачу удобно решать с использованием теории графов, для этого рассмотрим небольшой участок железнодорожного пути, *рисунок 2*.

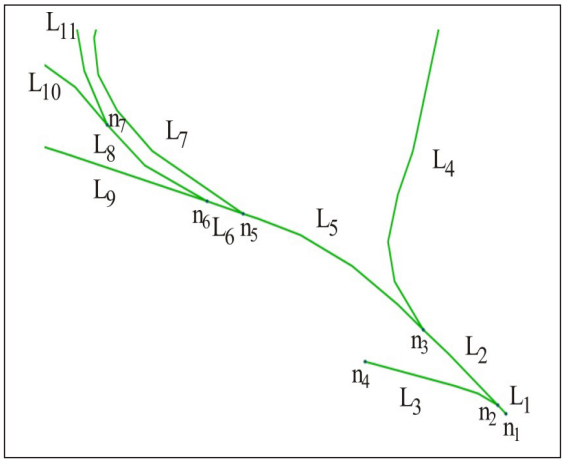


Рис. 2. Участок железной дороги

На рисунке обозначены:
n_i – точки пересечения участков дорог;
L_j – j-й участок дороги длиной L.

Точка n_i считается стрелочным переводом, если выполняется условие

$$\begin{cases} n_i \in L_i, n_i \in L_j, n_i \in L_k, \text{ то стрелочный перевод} \\ n_i \in L_i, n_i \in L_j, n_i \notin L_k, \text{ то стык} \end{cases} \quad (1)$$

где *i,j,k* – номера смежных участков железной дороги.

Представим фрагмент железнодорожной карты (*рисунок 2*) в виде неориентированного графа *G(V,A)* (*рисунок 3*). Ориентация графа не имеет значения в силу отсутствия на железной дороге путей с односторонним движением. Создадим граф *G(V,A)* такой, что вершинами графа *V* являются участки железных дорог L_j, а ребрами *A* стрелочные переводы n_i. Такой подход к представлению графа удобен при решении задачи расчета критического пути, когда общая протяженность маршрута будет складываться из протяженности вершин участвующих в критическом пути.

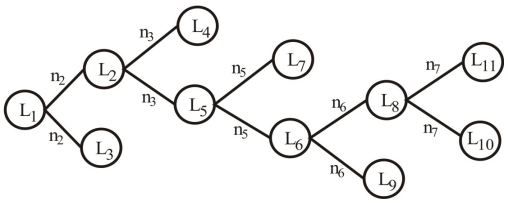
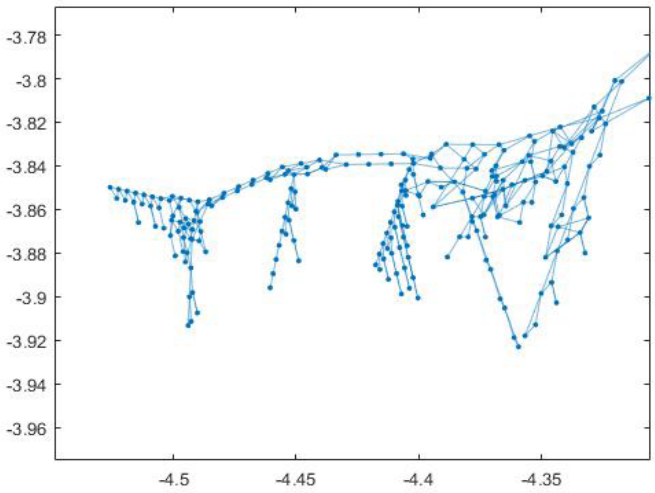


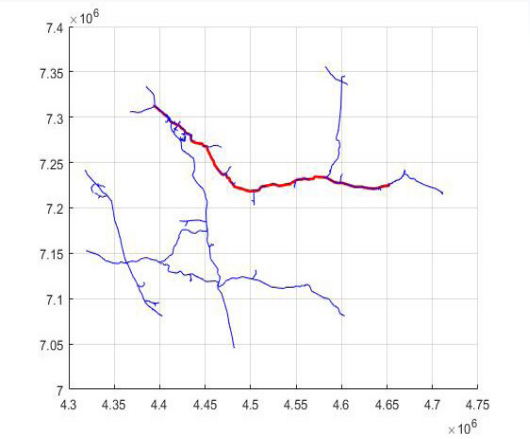
Рис. 3. Пример графа участка железной дороги

Некоторые прямые связи между вершинами, не отображаются и не используются, например L_2 и L_3 не связаны напрямую. Данное обстоятельство вызвано тем, что в отличие от автомобиля, для подвижного состава необходимо осуществить заезд на отрезок пути L_1.

На основе полученных карт и программы разработанной в среде Matlab для каждого из анализируемых регионов построен граф дорог, например, для Рязанской области, *рисунок 4*.



а) Фрагмент графа дорог



б) Пример критического пути (обозначен красным цветом)

Рис. 4. Фрагмент графа железных дорог и маршрут движения

Результаты проведенного моделирования представлены в *таблице 2*. Основная доля стрелок приходится на участки прохождения железнодорожных станций, при сокращении общего числа станций происходит увеличение среднего пути между железнодорожными переводами, что хорошо наблюдается на примере Рязанской и Смоленской областей (при равной протяженности сети количество стрелок сокращается примерно в три раза, расстояние до встречи с первой стрелок, а также расстояние между стрелками увеличивается в 2-3 раза).

Пример функции распределения событий встречи стрелок для Рязанской области представлен на *рисунке 5*.

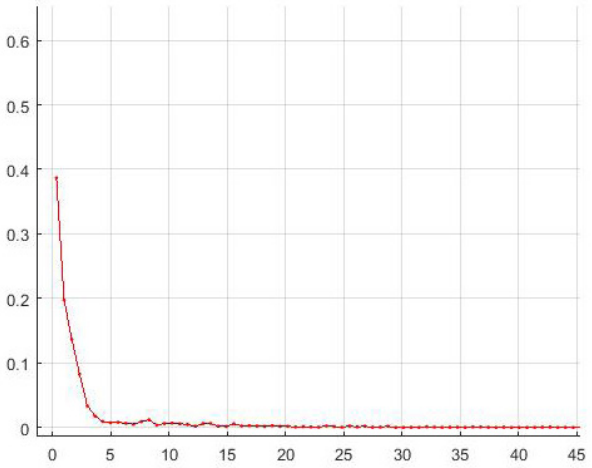


Рис. 5. Функция плотности распределения железнодорожных стрелок

В ряде работ [9, 10] оценка точности навигационной системы осуществляется с использованием аппарата Марковских цепей на основе ана-

Таблица 2

Результаты анализа «частоты» появления железнодорожных стрелок для различных регионов

	Московская область	Рязанская область	Смоленская область	Самарская область
Протяженность железнодорожных путей, км	10867	3603	3228	4444
Количество железнодорожных стрелок, шт	6713	2376	731	3284
Среднее расстояние между стрелками, км	0.617	0.659	0.226	0.738
Среднее расстояние до первой стрелки, м	3408.9	2939.5	9063.9	2899.7
Среднее расстояние между 1-ой и 2-ой стрелками, м	2497.4	2117.4	7400.1	1804.7
Среднее расстояние между n-ой и n+1-ей стрелками, м	~3500	~2800	~6700	~2500

лиза показателя информационной надежности. Предполагая, что события «встречи» стрелочных переводов являются регулярными и могут быть представлены простейшим (стационарным пуассоновским) потоком с постоянной интенсивностью λ.

Точка n_i считается стрелочным переводом, если выполняется условие

$$p(s) = \lambda \cdot s \cdot \exp(-\lambda \cdot s) \qquad (2)$$

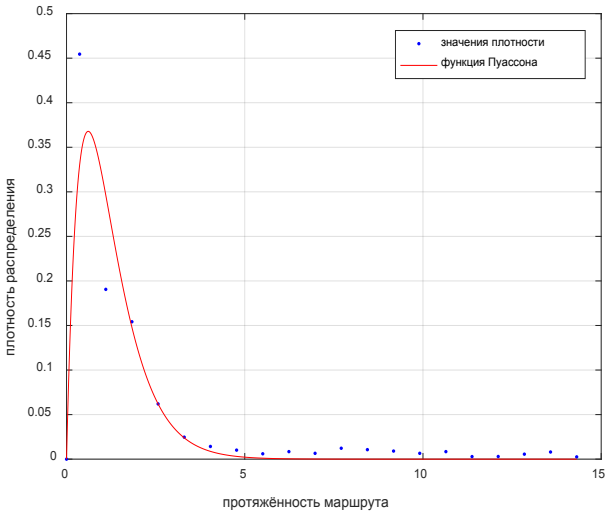


Рис. 6. Экспериментальная и аппроксимирующая функция плотности распределения вероятностей

Выводы

Повышение точности определения координат можно реализовать на основе позиционного подхода по информации систем технического зрения. Коррекция координат в рамках такого подхода осуществляется путем распознавания объектов и вычисления их координат с одной стороны и сравнении полученных координат с данными, представленными в цифровой карте. Анализ объектов железных дорого показал, что стрелочные переводы являются эффективным навигационным репером. Анализ карт железных дорог показал, что среднее расстояние между стрелочными переводами составляет около 2-3 км, при их номинальной частоте 0.5 км, полученной исходя из общей статистики РЖД. В работе на основе метода Монте-Карло получена плотность распределения стрелочных переводов, характеристики которой могут быть использованы в дальнейших работах обосновывающих потенциально достижимую точность навигации рельсового объекта.

Литература

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии / В 2 т. Т.1. Монография. ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. 334 с.: ил.

2. Waymo / Main page [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://waymo.com/. Дата обращения: 26.10.2017.

3. Mobileye / Main page [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://mobileye.com/. Дата обращения: 26.10.2017.

4. Шолохов А.В.. Использование методов компьютерного зрения для навигации автомобилей и наземных подвижных объектов / Асатрян К.А., Букин А.Г., Лычагов А.С., Садеков Р.Н. // Гироскопия и навигация, 2015. №2. С.58-66.

5. Беркович С.Б. Система технического зрения как дополнительный датчик в задаче автомобильной навигации / Беркович С.Б., Котов Н.И., Лычагов А.С., Панокин Н.В., Садеков Р.Н., Шолохов А.В. // Гироскопия и навигация, 2017. Ч.25. №1(96). С.49-63.

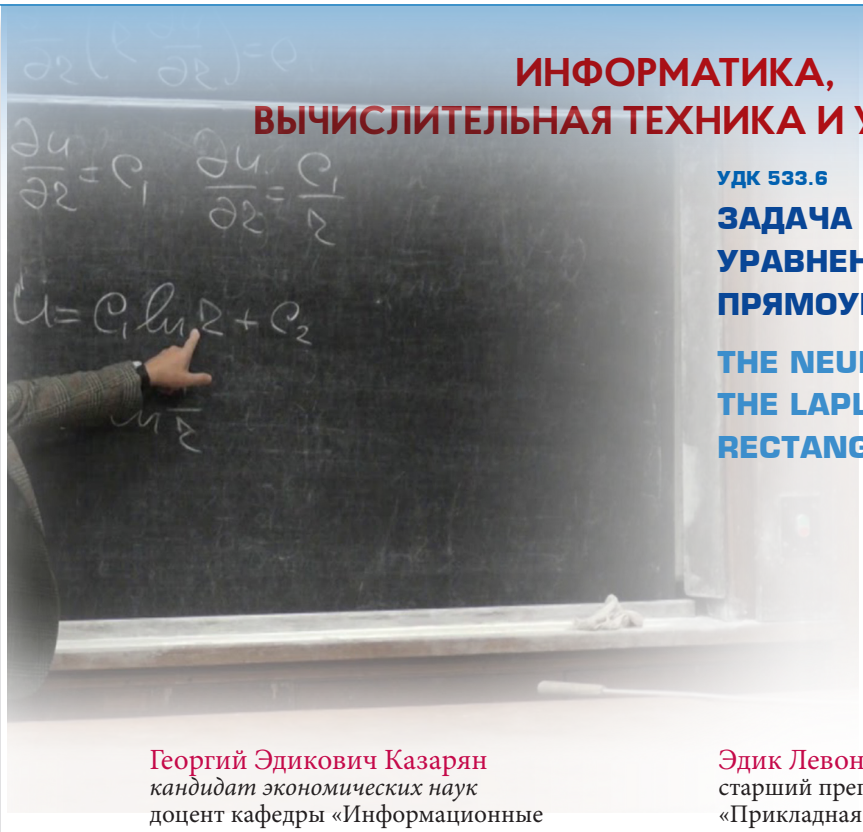
6. Amnon Shashua CVPR 2016 keynote: Autonomous Driving, Computer Vision and Machine Learning / Main page [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://www.youtube.com/watch?v=n8T7A3wqH3Q. Дата обращения: 26.10.2017.

7. OpenStreetMap / Main page [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://openstreetmap.org/. Дата обращения: 15.10.2017.

8. РЖД / Main page [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://ru.wikipedia.org/wiki/Российские_железные_дороги. Дата обращения: 15.10.2017.

9. Беркович С.Б. Оценка точности обзорно-сравнительных систем навигации в условиях эпизодической доступности корректирующей информации / Беркович С.Б., Котов Н.И., Садеков Р.Н., Шолохов А.В. // Материалы XXX конференции памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н. Острякова, 2016. С. 272-280.

10. Шолохов А.В., Ливенцев В.А. Оценка достоверности определения координат в навигационных системах, корректируемых по цифровым картам дорог // Измерительная техника, 2007. №5. С.35-39.



УДК 533.6

ЗАДАЧА НЕЙМАНА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ЛАПЛАСА В ПРЯМОУГОЛЬНИКЕ

THE NEUMANN PROBLEM FOR THE LAPLACE EQUATION IN THE RECTANGLE

Георгий Эдикович Казарян
кандидат экономических наук
доцент кафедры «Информационные технологии в экономике и менеджменте»
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт» (Национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Эдик Левонович Казарян
старший преподаватель кафедры «Прикладная математика и информатика»
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт» (Национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: +7 (919) 729-83-80

Аннотация
В статье выведена формула решения задачи Неймана для уравнения Лапласа в прямоугольной области в предположении разрешимости задачи.
Ключевые слова: область, граница, задача.

Summary
The paper deduces the formula to solve Neumann's problem for Laplace's equation in the triangular domain which is supposed to contribute to the solution of the problem.
Keywords: domain, boundary, problem.

Пусть $\Omega \subset R^m$ – ограниченная область в R^m, $x \in R^m$, $x=(x_1,x_2,\ldots,x_m)$, $U(x)=U(x_1,x_2,\ldots,x_m)$. Граница области $S = \partial\Omega$ кусочно-гладкая конечная поверхность, ν – нормаль, внешняя по отношению к области Ω.

Рассмотрим внутреннюю задачу Неймана [2].

$$\begin{cases} -\Delta U = F(x), x \in \Omega, & (1) \\ \dfrac{\partial U}{\partial \nu} = \varphi(x), x \in \Gamma, & (2) \end{cases}$$

где $\Delta = \sum_{k=1}^{m} \dfrac{\partial^2 U}{\partial x_k^2}$

Известно [2], что задача (1)-(2) в общем случае неразрешима. Необходимым условием разрешимости задачи (1)-(2) является следующее условие:

$$\int_\Omega F(x)dx + \int_\Gamma \varphi(x)d\Gamma = 0. \quad (3)$$

Нас интересует задача Неймана для оператора Лапласа в прямоугольной области на плоскости. Так как оператор инвариантен относительно сдвига, то без ограничения общности рассмотрим область $\Omega = \{0 \le x \le a, 0 \le y \le b\}$ (*рисунок 1*):

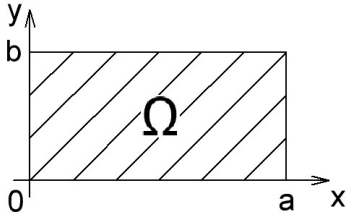


Рис. 1

и задачу Неймана, в предположении, что условие (3) выполнено, т.е. задача разрешима:

$$\Delta U(x,y) = 0, (x,y) \in \Omega. \quad (4)$$

$$\begin{cases}\left.\frac{\partial U}{\partial x}\right|_{x=0}=\varphi_0(y),\\ \left.\frac{\partial U}{\partial x}\right|_{x=a}=\varphi_1(y).\end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases}\left.\frac{\partial U}{\partial y}\right|_{y=0}=\psi_0(x),\\ \left.\frac{\partial U}{\partial y}\right|_{y=b}=\psi_1(x).\end{cases} \quad (6)$$

Заметим, что при $x=0$, производная по нормам должна быть $-\frac{\partial U}{\partial x}$, а при $y=0$, должна быть $-\frac{\partial U}{\partial y}$. Предполагается $\varphi_0(y)$ и $\psi_0(x)$ и получены после умножения на минус единицу.

Известна [3] формула решения для задачи Дирихле, т.е. когда заданы значения самой функции $U(x,y)$ на границе области.

Одним из авторов [1] выведена формула решения смешанной задачи для уравнения Лапласа в прямоугольнике в случае, когда на двух сторонах задано условие Дирихле, а на двух других сторонах условие Неймана.

Будем искать решение задачи (4)-(5)-(6) в виде суммы двух функций

$$U(x,y) = U_1(x,y) + U_2(x,y),$$

где $U_1(x,y)$ и $U_2(x,y)$ являются решениями следующих задач:

$$\Delta U_1(x,y)=0,(x,y)\in\Omega, \quad (7)$$

$$\begin{cases}\left.\frac{\partial U_1}{\partial x}\right|_{x=0}=\varphi_0(y),\\ \left.\frac{\partial U_1}{\partial x}\right|_{x=a}=\varphi_1(y),\end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases}\left.\frac{\partial U_1}{\partial y}\right|_{y=0}=0,\\ \left.\frac{\partial U_1}{\partial y}\right|_{y=b}=0,\end{cases} \quad (9)$$

$$\Delta U_2(x,y)=0,(x,y)\in\Omega, \quad (10)$$

$$\begin{cases}\left.\frac{\partial U_2}{\partial x}\right|_{x=0}=0,\\ \left.\frac{\partial U_2}{\partial x}\right|_{x=a}=0,\end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases}\left.\frac{\partial U_2}{\partial y}\right|_{y=0}=\psi_0(x),\\ \left.\frac{\partial U_2}{\partial y}\right|_{y=b}=\psi_1(x).\end{cases} \quad (12)$$

Очевидно, что сумма решений этих двух задач является решением задачи (4)-(5)-(6).

Исследуем задачу (7)-(8)-(9). Будем искать частное решение уравнения (7) в виде функции:

$$U_1(x,y)=X(x)\cdot Y(y). \quad (13)$$

Подставив функцию (13) в уравнение (7) и разделив переменные, получим:

$$\frac{X''(x)}{X(x)}=-\frac{Y''(y)}{Y(y)}=\lambda. \quad (14)$$

Легко заметить, что при $\lambda=0$ в общем случае задача не имеет решения. При $\lambda\neq0$ из (14) следуют уравнения:

$$\begin{cases}X''(x)-\lambda X(x)=0,\\ Y''(y)+\lambda Y(y)=0.\end{cases} \quad (15)$$

Без ограничения общности при $\lambda>0$ корни характеристического уравнения для первого уравнения (15) действительны и различны: $k_1=\sqrt{\lambda}$, $k_2=-\sqrt{\lambda}$, а для второго уравнения $k_{1,2}=\pm i\sqrt{\lambda}$ (если $\lambda<0$, то можем поменять местами оси координат).

Обозначим решение первого уравнения системы (15) $X\lambda(x)$, а второго уравнения $Y\lambda(y)$. Частное решение уравнения (7) – $U_{1\lambda}(x,y)$.

Известно [4], что решением является функция:

$$U_{1\lambda}(x,y)=(C_1e^{\sqrt{\lambda}x}+C_2e^{-\sqrt{\lambda}x})\cdot(C_3\cos\sqrt{\lambda}\,y+C_4\sin\sqrt{\lambda}\,y). \quad (16)$$

Тогда

$$\begin{cases}\frac{\partial U_{1\lambda}}{\partial x}=\sqrt{\lambda}(C_1e^{\sqrt{\lambda}x}-C_2e^{-\sqrt{\lambda}x})\cdot(C_3\cos\sqrt{\lambda}\,y+C_4\sin\sqrt{\lambda}\,y).\\ \frac{\partial U_{1\lambda}}{\partial y}=(C_1e^{\sqrt{\lambda}x}+C_2e^{-\sqrt{\lambda}x})\cdot\sqrt{\lambda}(-C_3\cos\sqrt{\lambda}\,y+C_4\sin\sqrt{\lambda}\,y).\end{cases} \quad (17)$$

Из условий (9) следует $C_3=0$, $\sin\sqrt{\lambda}b=0$, а C_4 без ограничения общности можно взять единицей. Тогда собственные значения и соответствующие собственные функции есть:

$$\lambda_n=\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2,n=1,2,...$$

$$X_n(y)=\sin\frac{n\pi}{b}y,n=1,2,...$$

Следовательно, решение примет вид (обозначим $U_{1n}(x,y)$):

$$U_{1n}(x,y)=\left(C_{1n}e^{\frac{n\pi x}{b}}+C_{2n}e^{-\frac{n\pi x}{b}}\right)\sin\frac{n\pi}{b}y,n=1,2,... \quad (18)$$

Будем искать решение задачи (7)-(8)-(9) в виде ряда

$$U_1(x,y)=\sum_{n=1}^{\infty}\left(C_{1n}e^{\frac{n\pi x}{b}}+C_{2n}e^{-\frac{n\pi x}{b}}\right)\sin\frac{n\pi}{b}y. \quad (19)$$

Потребуем, чтобы функция (19) удовлетворяла условиям (8):

$$\begin{cases}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{n\pi}{b}(C_{1n}-C_{2n})\sin\frac{n\pi}{b}y=\varphi_0(y),\\ \sum_{n=1}^{\infty}\frac{n\pi}{b}\left(C_{1n}e^{\frac{n\pi a}{b}}-C_{2n}e^{-\frac{n\pi b}{a}}\right)\sin\frac{n\pi}{b}y=\varphi_1(y).\end{cases} \quad (20)$$

Предположим, что функции $\varphi_0(y)$ и $\varphi_1(y)$ удовлетворяют условиям теоремы разложения в ряд Фурье по синусам и на отрезке $[0,b]$, т.е.:

$$\begin{cases}\varphi_0(y)=\sum_{n=1}^{\infty}\varphi_{0n}\sin\frac{n\pi}{b}y,\varphi_{0n}=\frac{2}{b}\int_0^b\varphi_0(y)\sin\frac{n\pi}{b}ydy,n=1,2,...,\\ \varphi_1(y)=\sum_{n=1}^{\infty}\varphi_{1n}\sin\frac{n\pi}{b}y,\varphi_{1n}=\frac{2}{b}\int_0^b\varphi_1(y)\sin\frac{n\pi}{b}ydy,n=1,2,...\end{cases} \quad (21)$$

Из соотношений (18)-(19) получим следующую систему уравнений для нахождения коэффициентов C_{1n} и C_{2n}:

$$\begin{cases} \frac{n\pi}{b}\left(C_{1n}-C_{2n}\right)=\varphi_{0n}, \\ \frac{n\pi}{b}\left(C_{1n}e^{\frac{n\pi}{b}a}-C_{2n}e^{-\frac{n\pi}{b}a}\right)=\varphi_{1n}. \end{cases} \quad (22)$$

Отсюда следует

$$\begin{cases} C_{1n}-C_{2n}=\frac{b}{n\pi}\varphi_{0n}, \\ C_{1n}e^{\frac{n\pi}{b}a}-C_{2n}e^{-\frac{n\pi}{b}a}=\frac{b}{n\pi}\varphi_{1n}. \end{cases} \quad (23)$$

Решив систему (22), находим:

$$C_{1n}=\frac{\frac{b}{\pi n}\varphi_{1n}-\frac{b}{\pi n}\varphi_{0n}e^{-\frac{n\pi a}{b}}}{e^{\frac{n\pi a}{b}}-e^{-\frac{n\pi a}{b}}}, C_{2n}=\frac{\frac{b}{\pi n}\varphi_{1n}-\frac{b}{\pi n}\varphi_{0n}e^{\frac{n\pi a}{b}}}{e^{\frac{n\pi a}{b}}-e^{-\frac{n\pi a}{b}}}.$$

Представим найденные значения в (19):

$$U_{1n}(x,y)=\left(\frac{\frac{b}{\pi n}\varphi_{1n}e^{\frac{n\pi x}{b}}-\frac{b}{\pi n}\varphi_{0n}e^{\frac{n\pi(x-a)}{b}}}{e^{\frac{n\pi a}{b}}-e^{-\frac{n\pi a}{b}}}+\frac{\frac{b}{\pi n}\varphi_{1n}e^{-\frac{n\pi x}{b}}-\frac{b}{\pi n}\varphi_{0n}e^{-\frac{n\pi(x-a)}{b}}}{e^{\frac{n\pi a}{b}}-e^{-\frac{n\pi a}{b}}}\right)\cdot\sin\frac{n\pi}{b}y.$$

После несложных преобразований найдём решение задачи (7)-(8)-(9):

$$U_1(x,y)=\frac{b}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\varphi_{1n}\operatorname{ch}\frac{n\pi x}{b}-\varphi_{0n}\operatorname{ch}\frac{n\pi(x-a)}{b}}{n\operatorname{ch}\frac{n\pi a}{b}}\cdot\sin\frac{n\pi}{b}y. \quad (24)$$

Рассмотрим задачу (10)-(11)-(12). Легко видеть, что эта задача абсолютно «симметрична» задаче (7)-(8)-(9). Собственные значения и собственные функции будут:

$$\lambda_n=\frac{n\pi}{a}x, n=1,2,\ldots \quad X_n(x)=\sin\frac{n\pi}{a}x, n=1,2,\ldots \quad (25)$$

Предположим, что функции $\psi_0(x)$ и $\psi_1(x)$ удовлетворяют условиям разложимости в ряд Фурье по синусам на отрезка $[0,a]$:

$$\begin{cases} \psi_0(x)=\sum_{n=1}^{\infty}\psi_{0n}\sin\frac{n\pi}{a}x, \psi_{0n}=\frac{2}{a}\int_0^a\psi_0(x)\sin\frac{n\pi}{a}x\,dx, n=1,2,\ldots \\ \psi_1(x)=\sum_{n=1}^{\infty}\psi_{1n}\sin\frac{n\pi}{a}x, \psi_{1n}=\frac{2}{a}\int_0^a\psi_1(x)\sin\frac{n\pi}{a}x\,dx, n=1,2,\ldots \end{cases} \quad (26)$$

Проводя абсолютно аналогичное исследование, получим решение задачи (10)-(11)-(12):

$$U_2(x,y)=\frac{a}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\psi_{1n}\operatorname{ch}\frac{n\pi y}{a}-\psi_{0n}\operatorname{ch}\frac{n\pi(y-b)}{a}}{n\operatorname{ch}\frac{n\pi b}{a}}\cdot\sin\frac{n\pi}{a}x. \quad (27)$$

Учитывая, что задача Неймана в случае разрешимости, имеет не единственное решение, напишем формулу решения исходной задачи (4)-(5)-(6):

$$U(x,y)=C+\frac{b}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\varphi_{1n}\operatorname{ch}\frac{n\pi x}{b}-\varphi_{0n}\operatorname{ch}\frac{n\pi(x-a)}{b}}{n\operatorname{ch}\frac{n\pi a}{b}}+$$
$$+\frac{a}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\psi_{1n}\operatorname{ch}\frac{n\pi y}{a}-\psi_{0n}\operatorname{ch}\frac{n\pi(y-b)}{a}}{n\operatorname{ch}\frac{n\pi b}{a}},$$

где C – произвольная постоянная.

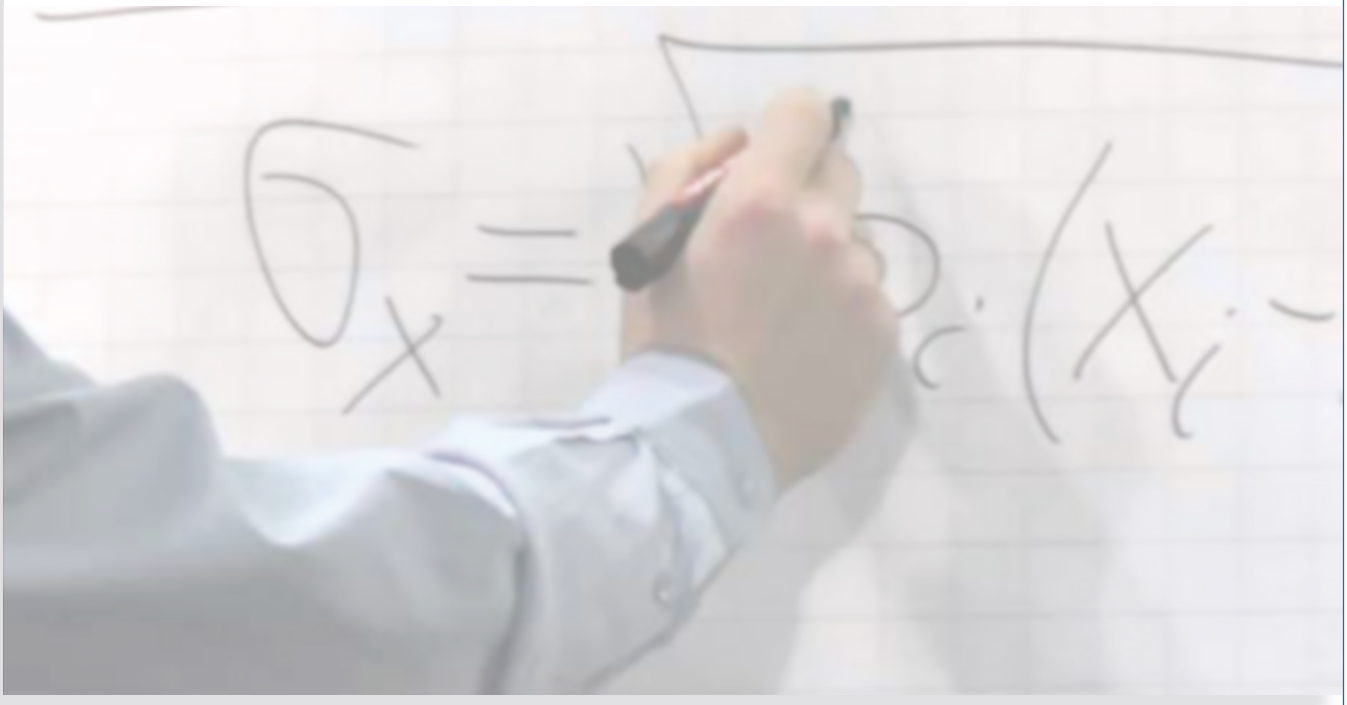
Литература

1. Казарян Г.Э. Об одной краевой задаче для уравнения Лапласа. Труды XXXIV Всероссийской научно-технической конференции. Сб.№1. Серпухов, 2015. С. 85-89.

2. Михлин С.Г. Курс математической физики. М.: Наука, 1968. 576 с.

3. Смирнов М.М. Задачи по уравнениям математической физики. М.: Наука, 1975. 125 с.

4. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Издательство МГУ. 2008. 742 с.



УДК 004.932.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АВТОРСКОГО ПРАВА НА ЭЛЕКТРОННЫЕ ДОКУМЕНТЫ

USE OF DIGITAL WATERMARKS TO PROTECT COPYRIGHT ON ELECTRONIC DOCUMENTS

Михаил Павлович Коваленко
кандидат технических 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: spmo@iifmail.ru

Алексей Михайлович Рязанцев
кандидат технических наук
начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: amr@iifmail.ru

Игорь Александрович Игнатенко
старший научный сотрудник отдела СПМО
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская область,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: spmo@iifmail.ru

Антон Владимирович Нижниковский
кандидат технических наук
заместитель начальника отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: nizhan@iifmail.ru

Аннотация

В данной статье представлено описание форматов документы программных продуктов LibreOffice и Microsoft Office. А также приведены способы внедрения цифровых водяных знаков в данные типы документов. Данные способы позволяют защитить авторское право на электронные документы даже при их редактировании.

Ключевые слова: цифровые водяные знаки, авторское право, цифровые документы.

Summary

This article describes the formats of the LibreOffice and Microsoft Office software products. As well as ways to introduce digital watermarks into these types of documents. These methods allow you to protect copyright on electronic documents, even when editing them.

Keywords: digital watermarks, copyright, electronic documents.

Введение

Быстрое развитие глобальной сети Интернет в последнее время обеспечило наличие единой среды передачи информации, доступной практически в любой точке мира. На базе Интернет можно организовать эффективный поиск и доставку электронных документов пользователям, объединять разнородные удаленные информационные ресурсы. Однако, учитывая высокую степень анонимности, простоту распространения информации, значительную аудиторию, при этом остро встает проблема защиты авторского права на электронные документы [1].

Одним из наиболее эффективных методов защиты авторского права на электронные документы является встраивание в защищаемый объект невидимых меток – цифровых водяных знаков (ЦВЗ). Название этот метод получил от известного способа защиты ценных бумаг, в том числе и денег, от подделки, и впервые был применен в работе [2].

Программные продукты LibreOffice и Microsoft Office

Программные продукты LibreOffice и Microsoft Office – это всемирно известные офисные пакеты [3].

Первый выпуск LibreOffice состоялся в 2001 году. Тогда программный пакет развивался компанией Sun Microsystems и назывался OpenOffice. С самого начала программа распространялась под открытой лицензией GPL и была полностью свободна. Ее код был основан на проекте StarOffice. Затем, Sun была куплена Oracle, а большинство разработчиков основали некоммерческую организацию The Document Foundation, которая занялась разработкой форка OpenOffice – LibreOffice.

Microsoft Office начал развиваться гораздо раньше. Первую версию компания Microsoft выпустила в 1990 году. Над программой работали профессиональные программисты и новые версии выходили почти каждый год. Поэтому сложилась ситуация, когда при первом релизе LibreOffice (тогда OpenOffice) продукт от Microsoft опережал его почти на 10 лет.

Каждый офисный пакет содержит все необходимые программы для редактирования документов.

В состав Microsoft Office входят:

- Word – текстовый процессор для работы с документами;
- Excel – программа для работы с электронными таблицами;
- PowerPoint – программа для создания презентаций;
- Outlook – управление персональной информацией и почтой;
- Access – работа с базами данных;
- Binder – управление подшивками;
- FrontPage – создание веб-страниц;
- PhotoDraw – графический редактор;
- Publisher – программа для работы с визитками, буклетами и другими публикациями;
- Project – управление проектами.

LibreOffice имеет следующий комплект:

- Writer – для редактирования текстовых документов;
- Calc – для редактирования электронных таблиц;
- Base – для управления базами данных;
- Draw – редактирование векторных изображений;
- Math – работа с математическими формулами;
- Impress – программа для создания презентаций.

Одно из важных отличий LibreOffice от Microsoft Office – основной формат файлов, использующийся в них: для LibreOffice – это OpenDocument, а для Microsoft Office – Office Open XML.

OpenDocument (ODF) – формат офисных документов, утвержденный в качестве стандарта ИСО (ИСО/МЭК 26300) в 2006 г. [4]. ODF является открытым специфицированным форматом, основанным на языке XML.

Office Open XML (OOXML, проект ISO/IEC IS 29500:2008) – серия форматов файлов для хранения электронных документов пакетов офисных приложений. Формат представляет собой zip-архив, содержащий текст в виде XML, графику и другие данные, которые могут быть переведены в последовательность битов (сериализованы) с применением защищенных патентами двоичных форматов, спецификации которых были опубликованы Microsoft для пользователей OOXML на условиях Microsoft Open Specification Promise [5].

Цифровые водяные знаки в ODF-документах

Для внедрения цифровых водяных знаков в ODF-документы предлагается использовать файл meta.xml из zip-архива защищаемого объекта. Процесс внедрения при этом сводится к добавлению дочернего тега, например, watermark, к тегу office:meta.

Например:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<office:document-meta xmlns:office="urn:oasis:names:tc:opendocument:xmlns:office:1.0"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns:dc=http://purl.org/dc/elements/1.1/
xmlns:meta="urn:oasis:names:tc:opendocument:xmlns:meta:1.0"
xmlns:ooo="http://openoffice.org/2004/office" xmlns:grddl="http://www.w3.org/2003/g/data-view#" office:version="1.2">
 <office:meta>
        <meta:initial-creator>Пользователь</meta:initial-creator>
        ...
  <meta:generator>LibreOffice</meta:generator>
        <watermark data="Это цифровой водяной знак"/>
    </office:meta>
</office:document-meta>
```

Цифровые водяные знаки в OOXML-документах

Для внедрения цифровых водяных знаков в OOXML-документы предлагается использовать

пользовательские свойства защищаемого объекта. Процесс внедрения при этом проходит следующим образом:

1. В каталоге docProps из zip-архива создается новый xml-файл, например, watermarks.xml со следующим содержимым:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<properties xmlns:vt="http://schemas.openxmlformats.org/package/2006/custom-properties">
    <property pid="1" name="watermark">
        <vt:lpwstr>[содержимое_цифрового_водяного_знака]</vt:lpwstr>
    </property>
</properties>
```

Например:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<properties xmlns:vt="http://schemas.openxmlformats.org/package/2006/custom-properties">
    <property pid="1" name="watermark">
        <vt:lpwstr>Это цифровой водяной знак</vt:lpwstr>
    </property>
</properties>
```

2. В файл [Content_Types].xml из zip-архива добавляется тег вида:

```
<Override ContentType="application/vnd.openxmlformats-officedocument.custom-properties+xml" PartName="[имя_файла]"/>
```

Например:

```
<Override ContentType="application/vnd.openxmlformats-officedocument.custom-properties+xml" PartName="/docProps/watermarks.xml"/>
```

3. В каталоге _rels в файл .rels из zip-архива добавляется тег вида:

```
<Relationship Id="rId[числовой_идентификатор]" Target="[имя_файла]" Type="http://schemas.openxmlformats.org/package/2006/relationships/custom-properties"/>
```

Например:

```
<Relationship Id="rId4" Target="docProps/watermarks.xml" Type="http://schemas.openxmlformats.org/package/2006/relationships/custom-properties"/>
```

Заключение

Цифровые водяные знаки, внедренные согласно предложенным в данной статье способам, не удаляются из электронных документов при их редактировании с последующим сохранением изменений в тот же файл при помощи программ из состава офисных пакетов LibreOffice версии 5.1.6.2 (ID сборки: 1:5.1.6~rc2-0ubuntu1~xenial2) и Microsoft Office 2010 (версия: 14.0.6112.5000, 32-разрядная).

Литература

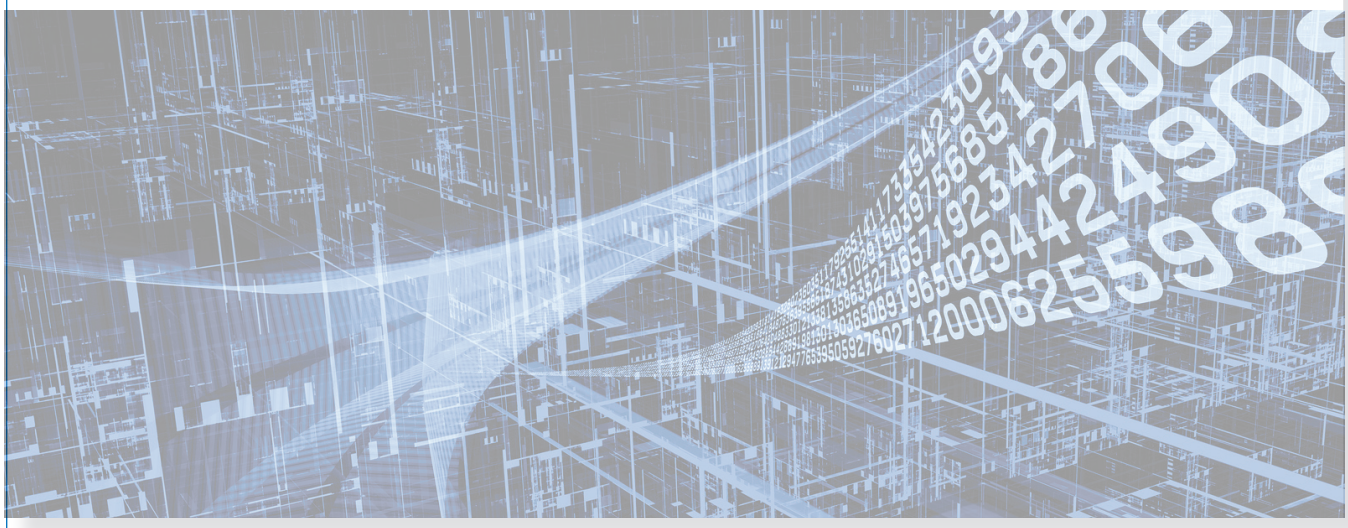
1. Коваленко М.П., Рязанцев А.М., Коваленко А.П. Методика внедрения цифровых водяных знаков в графические изображения на основе искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов // Известия Института инженерной физики, 2012. №4(26). С.2-6.

2. Osborne C., Van Schyndel R., Tirkel A. A Digital Watermark // IEEE In-tern. Conf. on Image Processing. – 1994. – P. 86–90.

3. Что лучше LibreOffice или Microsoft Office [Электронный ресурс]. URL: https://losst.ru/chto-luchshe-libreoffice-ili-microsoft-office (дата обращения: 20.11.2017).

4. Перспективы стандарта электронных документов ISO 26300. ODF. Сборник материалов. М.: INFO-FOSS.RU, 2008. 132 с.

5. What is OOXML? [Электронный ресурс]. URL: http://officeopenxml.com (дата обращения: 20.11.2017).



УДК 004.738

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЛАГРАНЖА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОПТИМИЗАЦИИ СКОРОСТИ В КАНАЛЕ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НАПРАВЛЕНИЯ «БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ – ЗЕМЛЯ» НА СЕАНСЕ СВЯЗИ

STATEMENT AND SOLUTION OF THE LAGRANGE PROBLEM WITH RESPECT TO SPEED OPTIMIZATION IN THE DATA CHANNEL OF THE DIRECTION OF «UNMANNED AERIAL VEHICLE – EARTH» DURING A COMMUNICATION SESSION

Максим Артурович Лягин
адъюнкт
филиал ВА РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967) 79-02-27
E-mail: varvsn-serp@mil.ru

Виталий Владимирович Хоптар
начальник 489 ВП МО РФ
АО НПП «Полет» (г. Нижний Новгород)
Адрес: 603950, г. Нижний Новгород,
пл. Комсомольская, д. 1
Тел.: +7 (951) 902-55-14
E-mail: vhoptar@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается задача оптимизации по методу множителей Лагранжа, позволяющая найти минимально достаточные скорости передачи информации в прямом и обратном каналах передачи данных, обеспечивающие заданную достоверность и оперативность доставки массива информации.

Ключевые слова: канал передачи данных, вероятностно-временные характеристики, минимально достаточная скорость передачи информации, задача Лагранжа, математическая модель информационного обмена.

Summary

In article the optimization problem on a method of multipliers of Lagranzha is considered, allowing to find is minimum sufficient speeds of information transfer in the direct and return data links, providing the set reliability and efficiency of delivery of a file of the information.

Keywords: data link, likelihood-time characteristics, minimum sufficient speed of information transfer, problem of Lagranzha, mathematical model of an information exchange.

В большинстве случаев целевой задачей беспилотного летательного аппарата (БПЛА) является землеобзор определенной поверхности и накопление некоторого массива информации [1]. Как правило, такой массив имеет значительные объемы (1 и более Мбит), и он должен быть доставлен в центр управления полетом (ЦУП) на сеансе связи с заданной оперативностью и достоверностью. Передача указанного массива осуществляется по некоторому каналу передачи данных (КПД) «борт-земля», на физическом уровне реализованному, например, в метровом или дециметровом диапазоне радиоволн, при этом логической основой качественной доставки массива является некоторый протокол информационного обмена. Так как используемый физический радиоканал на сеансе связи является каналом невысокого качества по вероятности ошибки двоичного символа (от 10-2 до 10-4), то для информационного обмена в КПД применяют известный протокол типа X.25, который ориентирован на каналы плохого качества [2].

Известно, что протокол типа X.25 для повышения достоверности доставки информации использует принцип решающей обратной связи, при этом доставляемый информационный массив разбивается на совокупность пакетов (и соответственно, кадров) и представляет собой, та-

ким образом, многопакетное сообщение (МПС). Тогда каждый пакет (кадр) доставляется самостоятельным порядком, при этом доставленный пакет квитируется принимающей стороной КПД соответствующей квитанцией. Отметим, что кадр представляет собой пакет, содержащий служебные поля [2].

Рассматриваемый КПД содержит прямой канал, по которому передаются кадры МПС, и обратный канал, по которому передаются квитанции на верно принятые кадры. Качество доставки МПС по КПД характеризуется оперативностью и достоверностью. Показателем качества доставки МПС являются вероятностно-временные характеристики (ВВХ), под которыми понимается вероятность правильной доставки МПС за время, не превышающее заданное [3].

Обеспечение высокой достоверности доставки МПС в протоколе канального уровня X.25 реализуется за счет повторов кадров, при этом забракованный на приемной стороне повтор отбрасывается. Выявление искаженного кадра реализуется на основе штатного помехоустойчивого БЧХ кода, работающего в режиме обнаружения ошибок [2].

Варьируемыми параметрами, определяющими качество информационного обмена в КПД по ВВХ, являются:

- длина передаваемого кадра $L_к$;
- длина квитанции $L_{кв}$;
- количество повторов на каждый кадр g.

Из физики процесса очевидно, что при высокой вероятности битовой ошибки в КПД нецелесообразно передавать пакеты большой размерностью, так как длина пакета непосредственно влияет на вероятность его доведения. В свою очередь, передавать пакеты слишком малой длины также непродуктивно в виду того, что в каждом передаваемом пакете (кадре) содержится служебная часть, обязательная для передачи. Для учета этого факта введен показатель кадровой эффективности

$$\eta = \frac{I_к}{L_к} = \frac{L_к - L_{сч}}{L_к}, \qquad (1)$$

где $I_к$ – информационная часть передаваемого кадра;

$L_{сч}$ – длина служебной части в передаваемом кадре.

Задача нахождения минимальных скоростей передачи информации в прямом и обратном каналах КПД, которые обеспечат гарантированное по ВВХ доведение фиксированного объема информации, формулируется так:

Найти:

$$\{V^*_{ПИ(пр)}, V^*_{ПИ(обр)}\} = \underset{\{V_{ПИ(пр)}, V_{ПИ(обр)}\}}{\arg\min} (V_{ПИ(пр)} + V_{ПИ(обр)}) \qquad (2)$$

При ограничениях:

$$\begin{gathered} P_{дов}\ \ t \le T^{доп}_{дов}\ \ge P^{треб}_{дов} \\ V_{ПИ(пр)} = \overline{V_{ПИ(пр)_{\min}}, V_{ПИ(пр)_{\max}}} \\ V_{ПИ(обр)} = \overline{V_{ПИ(обр)_{\min}}, V_{ПИ(обр)_{\max}}} \end{gathered} \qquad (3)$$

где: $P^{треб}_{дов}$ – требуемая вероятность доведения МПС;

$T^{доп}_{дов}$ – допустимое время доведения МПС;

$P_{дов}(t \le T^{доп}_{дов})$ – вероятность доведения МПС за время, не превышающее $T^{доп}_{дов}$;

$V_{ПИ(пр)}$ – скорость передачи информации в прямом КПД (V_1);

$V_{ПИ(обр)}$ – скорость передачи информации в обратном КПД (V_2).

Отметим, что значения длин кадра и квитанции являются постоянными на сеансе связи, за который доставляется исходное МПС. Задача нахождения количества передаваемых пакетов (u) является следствием из общего объема передаваемой информации и длины передаваемого пакета:

$$u = \frac{I}{L_к \cdot \eta}, \qquad (4)$$

где I – объем массива информации, представленного в виде МПС.

Основным принципом обеспечения требуемой вероятности доставки МПС по протоколу X.25 является реализация обратной связи и помехоустойчивое кодирование с обнаружением ошибок. Следовательно, в ходе доставки МПС возможны повторы пакетов (кадров), причем, чем больше их допустимое число, тем более достоверной является доставка. Таким образом, появляется потенциальная возможность накапливать на приемной стороне искаженные повторы отдельных пакетов (кадров) и при наличии 3-х и более таких повторов применять к ним принцип посимвольной мажоритарной обработки, что существенно снизит эквивалентную вероятность битовой ошибки в кадре [4, 5]. Тогда, зная требуемый для передачи объем информации, можно определить минимальное число повторов кадра, необходимых для достижения требуемой вероятности его доведения.

Применительно к рассматриваемому процессу доставки МПС с борта БПЛА на ЦУП по КПД существуют две задачи: задача анализа и задача синтеза. Задача анализа заключается в том, что при известных параметрах физического радиоканала и протокола информационного обмена необходимо найти достигаемые ВВХ доставки МПС. Задача синтеза заключается в том, что при известных требованиях к ВВХ доставки МПС необходимо найти такие минимально достаточные скорости передачи информации в

прямом и обратном каналах КПД, которые обеспечат требования по ВВХ. Как первая, так и вторая задача требуют построения математической модели процесса доставки МПС на сеансе связи. Наиболее распространенным подходом к построению таких моделей является применение поглощающих конечных марковских цепей (ПКМЦ) [3,6,7,8].

Модели протокола X.25 достаточно подробно представлены в [6-8].

Задача синтеза параметров КПД по ВВХ декомпозируется на две задачи: задачу синтеза по достоверности и задачу синтеза по оперативности, причем вторая задача использует результаты решения первой [3].

Задача синтеза по достоверности требует нахождения минимально достаточного числа повторов передачи кадра g. Данная величина находится итерационным образом. При этом строится математическая модель доставки рассматриваемой МПС в начале с числом повторов одного кадра g=1 в виде ПКМЦ. По ней находятся ВВХ его доставки и реализуется сравнение достигнутой вероятности доведения $P_{дов}$ с $P_{дов}^{треб}$. Если $P_{дов} < P_{дов}^{треб}$, то увеличивается число повторов кадра на единицу, строится также модель доставки с $g=2$ в виде ПКМЦ. Затем вновь осуществляется вышеуказанная последовательность действий, которая реализуется до тех пор, пока не выполнится условие $P_{дов} \geq P_{дов}^{треб}$ [8]. Все вышеперечисленное позволит нам выполнить требование по атрибутивному свойству – достоверности доведения заданного объема информации в КПД [3].

Построенная в конечном итоге математическая модель доставки МПС в виде ПКМЦ, состоящего из u кадров и минимально достаточного числа повторов (g) каждого из них, дает реальное число передач кадров (K_1) и квитанций (K_2) для достижения требуемой вероятности доведения.

Наличие величин K_1 и K_2 позволяет сформулировать оптимизационную задачу относительно скоростей в следующем виде:

$$\begin{cases} (V_1 + V_2) \to \min \\ \frac{C_1}{V_1} + \frac{C_2}{V_2} \leq T \end{cases}, \qquad (5)$$

где V_1 – скорость передачи информации в прямом канале КПД;

V_2 – скорость передачи информации в обратном канале КПД;

$C_1 = K_1 \cdot L_к$ – общий объем передаваемых бит в совокупности кадров;

$C_2 = K_2 \cdot L_{кв}$ – общий объем передаваемых бит в совокупности квитанций;

T – допустимое время доставки МПС.

Данная задача решается методом неопределенных множителей Лагранжа. Порядок решения данной задачи таков [9]:

1. Составляется обобщенная функция Лагранжа:

$$L = \lambda_0 (V_1 + V_2) + \lambda_1 \left(\frac{C_1}{V_1} + \frac{C_2}{V_2} - T\right), \qquad (6)$$

где λ_0, λ_1 – неопределенные множители Лагранжа.

2. Записываются необходимые условия экстремума:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial V_1} = \lambda_0 + \lambda_1 \left(\frac{-C_1}{V_1^2}\right) = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial V_2} = \lambda_0 + \lambda_1 \left(\frac{-C_2}{V_2^2}\right) = 0 \\ \frac{C_1}{V_1} + \frac{C_2}{V_2} \leq T \\ \lambda_1 \geq 0 \\ \lambda_1 \left(\frac{C_1}{V_1} + \frac{C_2}{V_2} - T\right) = 0 \end{cases} \qquad (7)$$

3. Решается система (7) для 2-х случаев:

а) пусть $\lambda_0 = 0$ и $\lambda_1 \neq 0$, но тогда $C_1 = C_2 = 0$ и нарушается условие $\lambda_1 \left(\frac{C_1}{V_1} + \frac{C_2}{V_2} - T\right) = 0$;

б) пусть $\lambda_0 \neq 0$, тогда введем новую переменную $\frac{\lambda_1}{\lambda_0} = \lambda$ и система (7) примет вид:

$$\begin{cases} 1 + \lambda \left(\frac{-C_1}{V_1^2}\right) = 0 \\ 1 + \lambda \left(\frac{-C_2}{V_2^2}\right) = 0 \\ \frac{C_1}{V_1} + \frac{C_2}{V_2} \leq T \\ \lambda \geq 0 \\ \lambda \left(\frac{C_1}{V_1} + \frac{C_2}{V_2} - T\right) = 0 \Rightarrow \begin{cases} \lambda = 0 \Rightarrow \text{тогда не выполняются первые два уравнения системы} \\ \lambda \neq 0 \quad \text{из 5-го условия следует } \frac{C_1}{V_1} + \frac{C_2}{V_2} - T = 0 \end{cases} \end{cases} \qquad (8)$$

Таким образом, необходимо решить систему [9]:

$$* \begin{cases} 1 + \lambda \left(\frac{-C_1}{V_1}\right) = 0 \\ 1 + \lambda \left(\frac{-C_2}{V_2}\right) = 0 \\ \frac{C_1}{V_1} + \frac{C_2}{V_2} - T = 0 \end{cases} \qquad (9)$$

В результате ее решения получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \lambda \left(\frac{C_1}{V_1^2}\right) = 1 \Rightarrow \boxed{\frac{C_1}{V_1^2} = \frac{1}{\lambda}} \Rightarrow V_1^2 = C_1 \lambda \Rightarrow V_1 \sqrt{C_1 \lambda} \\ \lambda \left(\frac{C_2}{V_2^2}\right) = 1 \Rightarrow \boxed{\frac{C_2}{V_2^2} = \frac{1}{\lambda}} \Rightarrow V_2^2 = C_2 \lambda \Rightarrow V_2 \sqrt{C_2 \lambda} \end{cases} \Rightarrow \frac{C_1}{V_1} + \frac{C_2}{V_2} = T \qquad (10)$$

$\lambda > 0$

Затем реализуется совокупность тождественных преобразований [9]:

$$\frac{C_1}{\sqrt{C_1\lambda}}+\frac{C_2}{\sqrt{C_2\lambda}}=T\Rightarrow\frac{\sqrt{C_1}}{\sqrt{\lambda}}+\frac{\sqrt{C_2}}{\sqrt{\lambda}}=T\Rightarrow\frac{\sqrt{C_1}+\sqrt{C_2}}{\sqrt{\lambda}}=T\Rightarrow$$
$$\Rightarrow\sqrt{\lambda}=\frac{\sqrt{C_1}+\sqrt{C_2}}{T}\Rightarrow\lambda=\frac{(\sqrt{C_1}+\sqrt{C_2})^2}{T^2}>0 \quad (11)$$

Вследствие таких преобразований получаем условное решение задачи:

$$\Rightarrow\ V_1=\sqrt{C_1}\sqrt{\lambda}=\frac{C_1+\sqrt{C_1C_2}}{T}\Rightarrow(V_1,V_2)-$$
$$V_2=\sqrt{C_2}\sqrt{\lambda}=\frac{C_2+\sqrt{C_1C_2}}{T}$$

условно стационарная точка (12)

Необходимо проверить существование экстремума (минимума) функции

$$f_{\min}=\frac{C_1+\sqrt{C_1C_2}+\sqrt{C_1C_2}+C_2}{T}=\frac{(\sqrt{C_1}+\sqrt{C_2})^2}{T} \quad (13)$$

4. Проверка выполнения достаточных условий экстремума [8]:

$$d^2L=\frac{\partial L}{\partial V_1^2}dV_1^2+\frac{\partial L}{\partial V_2^2}dV_2^2,\ \text{т.к.}\ \frac{\partial^2 L}{\partial V_1\partial V_2}=0$$
$$\frac{\partial L}{\partial V_1}=1+\lambda\left(\frac{-C_1}{V_1^2}\right)\Rightarrow\frac{\partial^2 L}{\partial V_1^2}=\lambda\left(\frac{-C_1(-2)}{V_1^3}\right)=\frac{2C_1\lambda}{V_1^3}$$
$$\frac{\partial L}{\partial V_2}=1+\lambda\left(\frac{-C_1}{V_2^2}\right)\Rightarrow\frac{\partial^2 L}{\partial V_2^2}=\lambda\left(\frac{-C_2(-2)}{V_2^3}\right)=\frac{2C_2\lambda}{V_2^3}$$

$d\left(\frac{C_1}{V_1}+\frac{C_2}{V_2}-T\right)=-\frac{C_1}{V_1^2}dV_1-\frac{C_2}{V_2^2}dV_2=0$ в точках (V_1,V_2)

будем иметь

$$-\frac{C_1}{(\sqrt{C_1\lambda})^2}dV_1-\frac{C_2}{(\sqrt{C_2\lambda})^2}dV_2=0\Rightarrow-\frac{1}{\lambda}dV_1-\frac{1}{\lambda}dV_2=0\Rightarrow\boxed{dV_1=-dV_2}$$

$$d^2L=\frac{2C_1\lambda}{V_1^3}dV_1^2+\frac{2C_2\lambda}{V_2^3}dV_1^2=2\lambda\left(\frac{C_1}{V_1^3}+\frac{C_2}{V_2^3}\right)dV_2^2\Rightarrow$$

d^2L (в точке V_1V_2) =

$$2\lambda\left(\frac{C_1}{C_1\lambda\sqrt{C_1\lambda}}+\frac{C_2}{C_2\lambda\sqrt{C_2\lambda}}\right)dV_2^2=2\left(\frac{1}{\sqrt{C_1\lambda}}+\frac{1}{\sqrt{C_2\lambda}}\right)dV_2^2>0$$

стационарная точка $\left(V_1=\frac{C_1+\sqrt{C_1C_2}}{T},V_2=\frac{C_2+\sqrt{C_1C_2}}{T}\right)$ является точкой минимума.

$$\frac{C_1}{V_1}+\frac{C_2}{V_2}\le T \quad (14)$$

$$\frac{C_2}{V_2}\le T-\frac{C_1}{V_1}\Rightarrow V_2\ge\frac{C_2}{T-\frac{C_1}{V_1}}\Rightarrow V_2\ge\frac{C_2V_1}{TV_1-C_1}$$

$$V_2\ge\frac{C_2}{T}\frac{V_1}{V_1-\frac{C_1}{T}}=\frac{C_2}{T}\left(1+\frac{\frac{C_1}{T}}{V_1-\frac{C_1}{T}}\right)=\frac{C_2}{T}+\frac{\frac{C_1C_2}{T^2}}{V_1-\frac{C_1}{T}}$$

Таким образом, получаем оптимальные значения скоростей в прямом и обратном каналах рассматриваемого КПД «БПЛА-ЦУП»:

$$V_1=\frac{C_1}{T}+\frac{\sqrt{C_1C_2}}{T} \quad (15)$$

$$V_2=\frac{C_2}{T}+\frac{\sqrt{C_1C_2}}{T} \quad (16)$$

Решение данной задачи оптимизации скорости передачи информации в асимметричном тракте передачи данных позволяет получить минимально необходимые скорости в прямом и обратном КПД при соблюдении требований по вероятности доведения информации в АСБУ, а также времени доведения.

На *рисунке 1* представлены зависимости минимально достаточных скоростей в прямом и обратном каналах КПД с протоколом X.25, обеспечивающих доставку в виде МПС с борта БПЛА информационного массива I=20 кбит с требуемой вероятностью 0,995 за время, не более 20 с. При этом варьируемым параметром является вероятность ошибки двоичного символа в прямом и обратном канале (каналы по вероятности ошибки одинаковы).

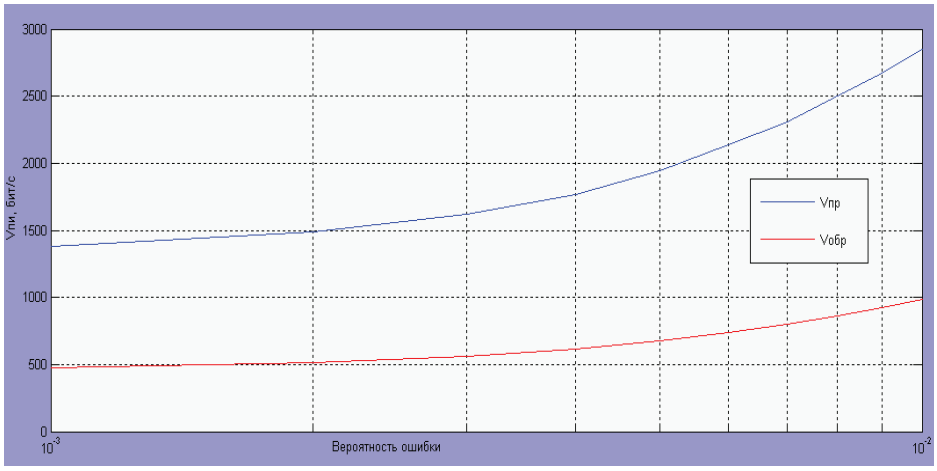
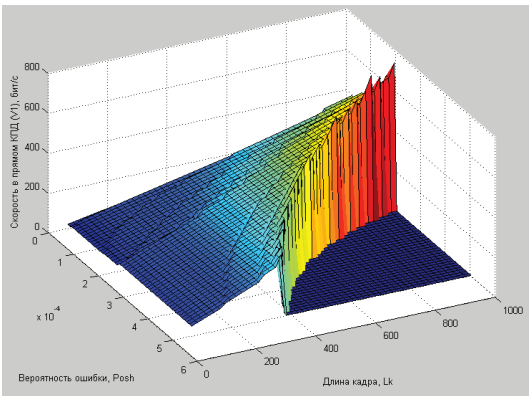


Рис. 1. Зависимость минимально достаточных скоростей в прямом и обратном каналах КПД с протоколом X.25, обеспечивающих заданные ВВХ доставки фиксированного массива информации с БПЛА в ЦУП

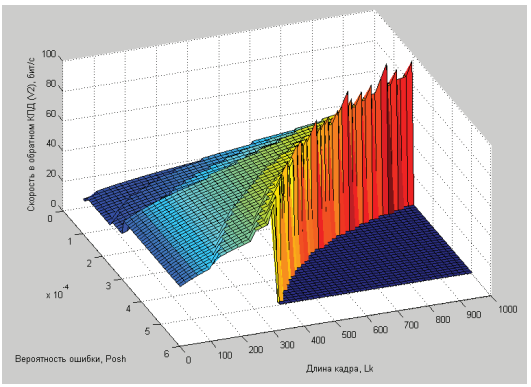
Из графиков следует, что с увеличением вероятности ошибки двоичного символа в канале связи необходимо увеличивать число повторов каждого кадра для выполнения требований

по вероятности доведения, а соответственно увеличивается число шагов ПКМЦ. В свою очередь, это требует увеличения минимально достаточных скоростей в прямом и обратном каналах КПД.

Сформированный подход к оптимизации скоростей в прямом и обратном каналах КПД «БПЛА-ЦУП» позволяет также найти границы применимости протокола типа X.25 в радиоканале передачи данных при требуемой достоверности и оперативности доставки МПС (рисунок 2) с учетом уменьшения воздействия средств РЭБ потенциального противника за счет минимизации времени непрерывного излучения.



а)



б)

Рис. 2. Трехмерный график зависимости скорости передачи информации по прямому (а) и обратному (б) каналам КПД от вероятности ошибки двоичного символа и длины кадра (пакета) в СПД типа u=5, g=3

Описанный подход может быть внедрен в программное обеспечение контроллера формирователя кадра звена передачи данных отправителя и звена передачи данных получателя и должен использоваться на стадии эксплуатации КПД для настройки сеансовых параметров перед началом информационного обмена.

Литература

1. Евдокименков В.Н., Красильщиков М.Н., Себряков Г.Г. Распределенная интеллектуальная система управления группой беспилотных летательных аппаратов: архитектура и программно-математическое обеспечение // Известия ЮФУ. Технические науки. Таганрог, 2016. Вып. 1(174). С. 29-44.

2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2012. 944 с.

3. Цимбал В.А. Информационный обмен в сетях передачи данных. Марковский подход: монографии. М.: Вузовская книга, 2014. 144 с.: ил.

4. Сорокин О.И., Лягин М.А., Бережной А.А., Хоптар В.В., Иванов С.Н. Исследование характеристик информационного обмена в тракте передачи данных из совокупности параллельных декаметровых каналов направления «земля-борт» // Новые информационные технологии в системах связи и управления: Тр. XV Рос. НТК / М-во промышленности и торговли РФ, ОАО «Концерн радиостроения «Вега», ОАО «Калужский НИИ телемеханических устройств». Калуга: Изд. ООО «Ноосфера», 2016. С. 52-56.

5. Цимбал В.А., Хоптар В.В., Сорокин О.И., Лягин М.А., Бережной А.А., Крючков Н.В. Правила автоматизированного синтеза конечной марковской цепи, описывающей доведение многопакетного сообщения в соединении «точка-точка» // Наука. Инновации. Технологии» Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета, 2016.Вып. 4. С. 91-98.

6. Цимбал В.А., Вальваков А.М., Попов М.Ю. Анализ характеристик конечных марковских цепей при разных шагах переходов / Известия Института инженерной физики, 2014: № 1(31). С. 53-56.

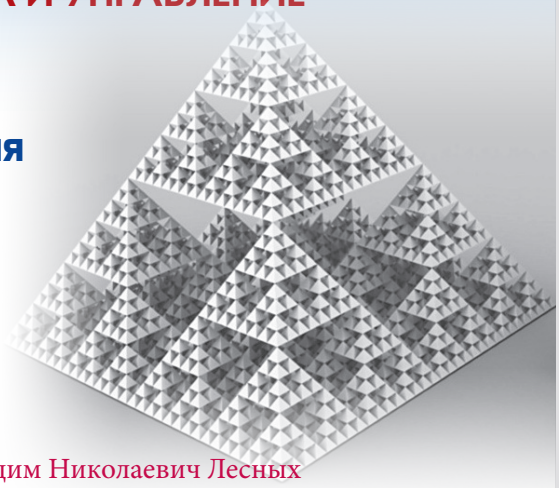
7. Цимбал В.А., Шиманов С.Н., Тоискин В.Е., Лягин М. А., Прасолов В.А. Оптимизация сеансовых параметров ассиметричного тракта передачи данных направления «борт-земля», обеспечивающего заданную своевременность информационного обмена многопакетными сообщениями / Сб. материалов 12-й ВНПК «Перспективные системы и задачи управления» и 8-й молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах»/ ИПК КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ. Ростов-на-Дону, 2017. С. 496-504.

8. Цимбал В.А., Тоискин В.Е., Лягин М.А. Оптимизация сеансовых параметров протокола информационного обмена по многоканальному дуплексному соединению «точка-точка», обеспечивающего заданную оперативность информационного обмена / Сб. трудов XI Международной отраслевой науч.-техн. конф. «Технологии информационного общества» / МТУСИ. – М.: Изд. ООО «Издательский дом Медиа паблишер», 2017. С. 346-347.

9. Босс В. Лекции по математике. Т. 7: Оптимизация: учеб. пособие. Изд. 3-е. М.: Либроком, 2010. 216 с.

УДК 519.21; 519.713; 524.852; 53.02; 575.224

ТРЕУГОЛЬНИК СЕРПИНСКОГО КАК УДОБНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПИСАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УТРАИВАЮЩИХСЯ ПЕРИОДОВ



SIERPINSKI'S TRIANGLE AS A CONVENIENT MATHEMATICAL MODEL FOR DESCRIBING THE UNIVERSAL SYSTEM OF TRIPLING PERIODS

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

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

Аннотация

Понятие фрактала прочно вошло в современную науку. Фракталы используются для упрощенного описания ряда сложных процессов и объектов. Перспективной математической моделью, обеспечившей формальное описание и дальнейшее исследование природы изучаемого нами феномена универсальной системы утраивающихся периодов, оказался треугольник Серпинского. Логарифмы периодов изучаемой нами системы равномерно заполняют диапазон между планковским и космологическим масштабами времени. В этой статье мы указываем на регулярность в утроениях периодов, объединяющую переломные этапы эволюции в указанном диапазоне масштабов, и делаем акцент на той же регулярности процесса прирастания треугольника Серпинского. Эффективность моделирования универсальной системы утраивающихся периодов посредством треугольника Серпинского иллюстрируется на примере биологического когнитивного эксперимента, выполненного в широком диапазоне периодов и удачно покрывшем момент резкого упрощения формы прирастающего фрактала. Дополнительные подтверждения того, что треугольник Серпинского является хорошей моделью универсальной системы утраивающихся периодов, мы рассчитываем получить в специальных экспериментах, а также путем совершенствования имеющейся модели изучаемого феномена.

Ключевые слова: утроение периодов, удвоение периодов, универсальная система утраивающихся периодов, планковский масштаб, треугольник Серпинского, математическая модель, биологический когнитивный эксперимент.

Summary

The concept of a fractal has become firmly embedded in modern science. Fractals are used for a simplified description of a number of complex processes and objects. The Sierpinski triangle turned out to be a promising mathematical model that provided so formal description and further investigation of the nature of the phenomenon of the universal period-tripling system. The logarithms of the periods of the system under study uniformly fill the range between the Planck and cosmological time scales. In this article, we point out the regularity in triplicates of periods that unites the turning points of evolution in this range of scales, and we emphasize the same regularity of the process of growing the Sierpinski triangle. The effectiveness of modeling the universal period-tripling system through the Sierpinsky triangle is illustrated by the example of a biological cognitive experiment performed over a wide range of periods and successfully covering the moment of sharp simplification of the shape of the growing fractal. Additional evidence that the Sierpinski triangle is a good model of the universal period-tripling system, we expect to receive in special experiments, as well as by improving the existing model of the phenomenon.

Key words: period tripling, period doubling, universal period-tripling system, Planck scale, Sierpinsky triangle, mathematical model, biological cognitive experiment.

Треугольник Серпинского – это фрактал, один из двумерных аналогов множества Кантора. Оказывается, треугольник Серпинского (ТС) может послужить удобной моделью для т.н. УСУП, универсальной системы утраивающихся периодов $T_{k,m}$ [1-8].

Согласно работам С. Петца (Stephen Joseph Puetz) с соавторами [9, 10], для периодов «темпорального фрактала», проявления которого обнаружены во множестве разнообразных явлений природы, (т.е. для периодов УСУП), значение периода $T_{k,m}$ задает формула

$$T_{k,m}/T_0 = 3^k/2^m.$$

Здесь T_0=114.6 лет, параметр m принимает значения 0, 1, 2, …, и, как потом стало ясно из наших работ, целочисленный параметр k лежит в интервале приблизительно от -108 до +17 [11-13].

Часть результатов исследования УСУП приведена в сжатом виде на *рисунке 1*.

Показательна прецизионность формулы Петца. Это иллюстрируют два примера, приведенные на *рисунках 2 и 3*.

В наших работах, начатых в финале пионерского этапа исследований С. Петца [16, 17] и С. Петца с соавторами [18, 19], были описаны периоды УСУП в области существенно меньших периодов, чем исходные периоды астрономических масштабов, исследованные группой С. Петца. На основании сводки данных, приведенной

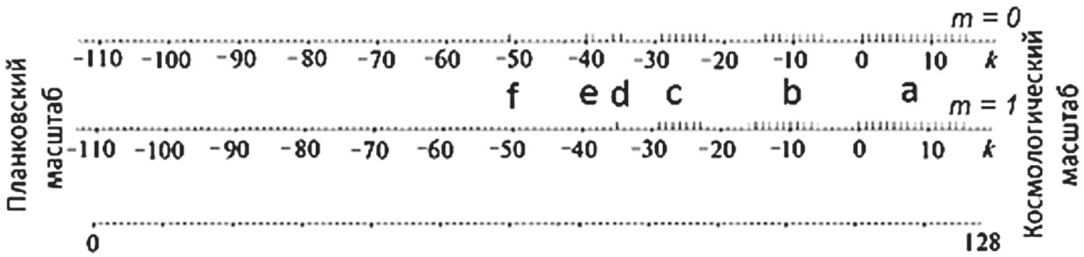


Рис. 1. Некоторые принадлежащие УСУП области периодов, уже обнаруженные к настоящему моменту:
a – область, указанная в статье Puetz et al 2014 года,
эта область ограничена сверху космологическим временем;
b÷*f* – найденные нами области более коротких периодов УСУП, а именно:
b – экспериментально найденные А.Т. Бондарем периоды колебаний
эффективности памяти человека (ср. с *рисунком 7*);
c – периоды УСУП, проявляющиеся в слухе человека;
d – периоды УСУП, используемые в УВЧ-физиотерапии;
e – периоды, к которым тяготеют тактовые частоты процессоров современных компьютеров;
f – период УСУП, на который настроено сумеречное зрение человека

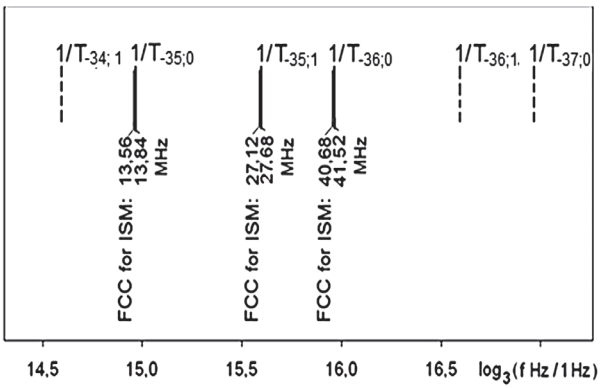


Рис. 2. Пример эффективности «УСУП-резонансной» медицинской техники. Частоты, рекомендованные FCC (т.е. американским Federal Communication Committee) для применения в УВЧ-физиотерапии (диатермии и собственно УВЧ терапии), практически совпадают с обнаруженными спустя три четверти века соответствующими частотами УСУП. Смещение относительно частот УСУП составляет 2%, (причем в одну сторону). Здесь ISM – это Industry, Science, Medicine (см. диапазон «*d*» *на рисунке 1*) [6]

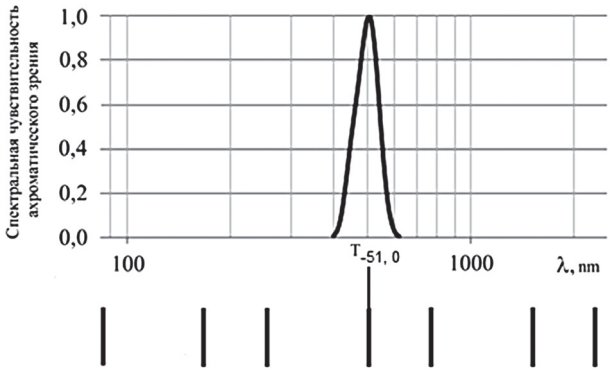


Рис. 3. Светочувствительность ахроматического (палочкового) зрения человека достигает максимума при 507 нм. В нижней части рисунка приведен соответствующий фрагмент УСУП; линия $T_{-51;0}$ УСУП-спектра отвечает длине волны 503 нм; относительное отличие длин волн 507 нм (эксперимент) и 503 нм (вычисленное значение) близко к 1%. Поскольку зона видимого света лежит в области 380–750 нм, то $T_{-51;0}$ – это единственная интенсивная спектральная линия УСУП при малых m, которая попала в диапазон видимого света [14-16] (см. «*f*» на *рисунке 1*).

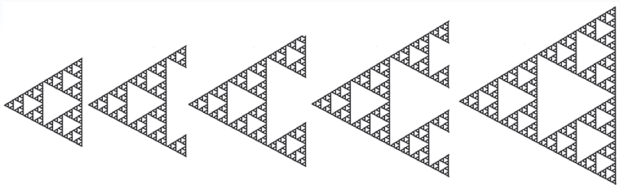


Рис. 4. Единичный акт утроения количества элементов треугольника Серпинского. Этот акт, представленный в виде серии кадров последовательного прирастания ТС вправо вплоть до восстановления исходных пропорций ТС. По мере увеличения количества (k) таких актов утроения количество элементов ТС растет как 3^k, т.е. 128 утроений периода (*рисунок 1*) могут быть представлены в не логарифмической шкале настолько разросшимся треугольником Серпинского, что он будет содержать в 3^{128} раз больше элементов

на *рисунке 1*, мы пришли к гипотезе, что периоды $T_{k,m}$, принадлежащие УСУП, простираются вплоть до планковского масштаба времени ~10-44 секунды. Поскольку в астрономических масштабах времени эти периоды согласно исследованиям группы, С. Петца простираются за миллиард лет, то есть, фактически ограничены космологическим масштабом времени, то получается, что УСУП проявляется во всех масштабах времени вселенной. При этом в границах каждого конкретного линейного масштаба времени может реально поместиться всего лишь несколько штук этих периодов. Надежное обнаружение УСУП задержалось до начала третьего тысячелетия фактически потому, что создателям учения об УСУП нужно было время, чтобы осознать самим и внедрить в сознание последователей представление об исключительной роли логарифмического масштаба в феномене УСУП [19, 20].

Механизм утроения может быть проиллюстрирован, например, прирастанием треугольника Серпинского, как показано на *рисунке 4*.

Топологическая размерность ТС равна единице, то есть, ТС – это такой же одномерный объект, как и, например, время. Грубо говоря, это линия, запутанная таким сложным образом, что ее размерность Хаусдорфа-Безиковича уже близка к 1,585.

Опираясь на нашу гипотезу о том, что периоды Tk,m УСУП простираются вплоть до окрестности планковского масштаба времени, мы смогли заметить, что узловые этапы сценария эволюции ранней вселенной тяготеют к значениям 2^s утроений планковского времени, где s – небольшие натуральные числа (см. *рисунок 5*). Поскольку планковские величины и, в частности, планковское время определены с точностью до безразмерного сомножителя порядка единицы, мы, пытаясь ликвидировать эту неточность, провели процедуру перекалибровки, заметив, что одно из значений параметра s указывает на период, близкий к очень точно измеренному значению – к периоду колебаний электромагнитных волн в максимуме микроволнового реликтового фона. Приравнивание этих периодов – это процедура перекалибровки; она приводит (см. *рисунок 5*) к вполне правдоподобному выводу, что минимальным значением периода УСУП является вовсе не планковское значение периода, а значение, приблизительно в 30 раз большее планковского. И действительно, в планковском масштабе пространство-время существует еще не в своей классической форме, а в виде т.н. пространственно-временной пены, и поэтому там еще нет периодических процессов в привычном для нас смысле. С ростом масштабов классическое пространство-время когда-то, наконец-таки, появляется, и тогда уже может сформироваться самый первый период, множественные утроения которого потом создают всю УСУП. Итог перекалибровки приведен на нижней шкале рисунка 5 [12]. Перекалиброванный период, в настоящий момент времени, соответствующий возрасту обозримой вселенной, приходится приблизительно на 125-е утроение исходного периода УСУП.

Привязка процедуры калибровки к периоду

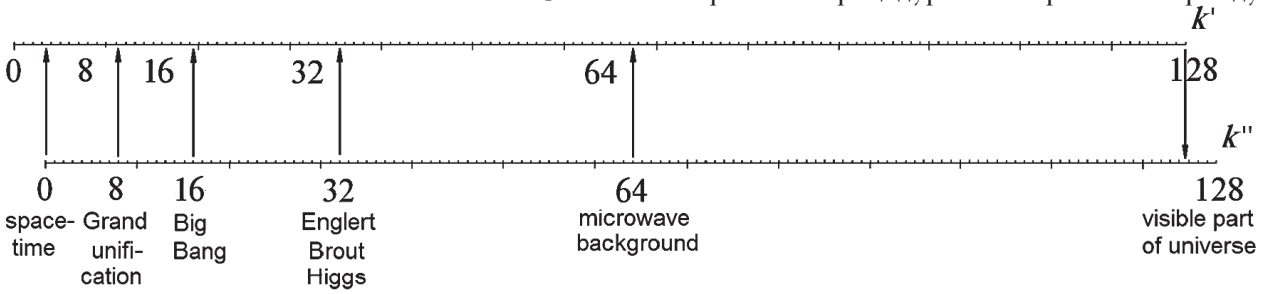


Рис. 5. Перекалибровка шкалы периодов *рисунка 1*, выполненная путем отождествления положения максимума спектра микроволнового реликтового фона с 64-м утроением околопланковского периода. Результатом перекалибровки является шкала k''; ключевые моменты эволюции, вселенной стали теперь заметно ближе к 2^s утроениям УСУП

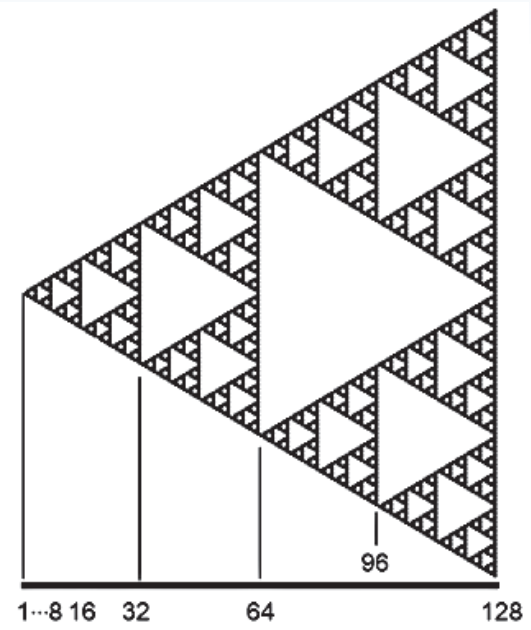


Рис. 6. Ось количества утроений периода и соответствующий ей треугольник Серпинского (ср. с *рисунками 1 и 5*)

электромагнитных колебаний в максимуме реликтового фона вызывает естественное возражение и может рассматриваться спокойно лишь как пример, приведенный в дидактических целях. Действительно, температура реликтового фона изменяется со временем, и если не впадать в физическую ересь, правдоподобность итога калибровки (*рисунок 5*) может означать только то, что в окрестности максимума микроволнового реликтового фона скрыт другой, на этот раз уже стабильный период УСУП, имеющий действительно фундаментальную природу. (Мы планируем проводить в этой области эксперименты, результатам которых надеемся посвятить специальную статью; см. ниже).

Обратившись теперь к *рисунку 6*, нетрудно понять, что ось у математического объекта – треугольника Серпинского – это фактически то, что уже получено на рисунке 5 для физических периодов УСУП после перекалибровки. Иными словами, в предлагаемой здесь модели радикальные изменения явлений вселенского масштаба происходят каждый раз в моменты восстановления канонической формы прирастающего вправо ТС. Физический «темпоральный фрактал» С. Петца – это, по-видимому, то, что скрывается на *рисунке 6* за математическим образом треугольника Серпинского.

При данном разрешении *рисунка 6* смещение вправо на каждый различимый глазом минимальный треугольник соответствует четырем последовательным утроениям периода УСУП. Числа вдоль оси на *рисунке 6* определены с точностью до сомножителя, равного целочисленной степени двойки, и степень специально выбрана так, чтобы соответствовать масштабу нижней шкалы *рисунка 5*. Самоподобные треугольники Серпинского появляются по ходу этого роста через удваивающиеся интервалы:

20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, …

Заметим также (ср. с рисунком 7), что значение 96 на нижней оси, не являющееся целочисленной степенью двойки, выглядит одним из важных промежуточных этапов разрастания ТС вправо. Ось на *рисунке 6* можно воспринимать также как изображение ТС при направлении взгляда снизу, вдоль плоскости рисунка. Боль-

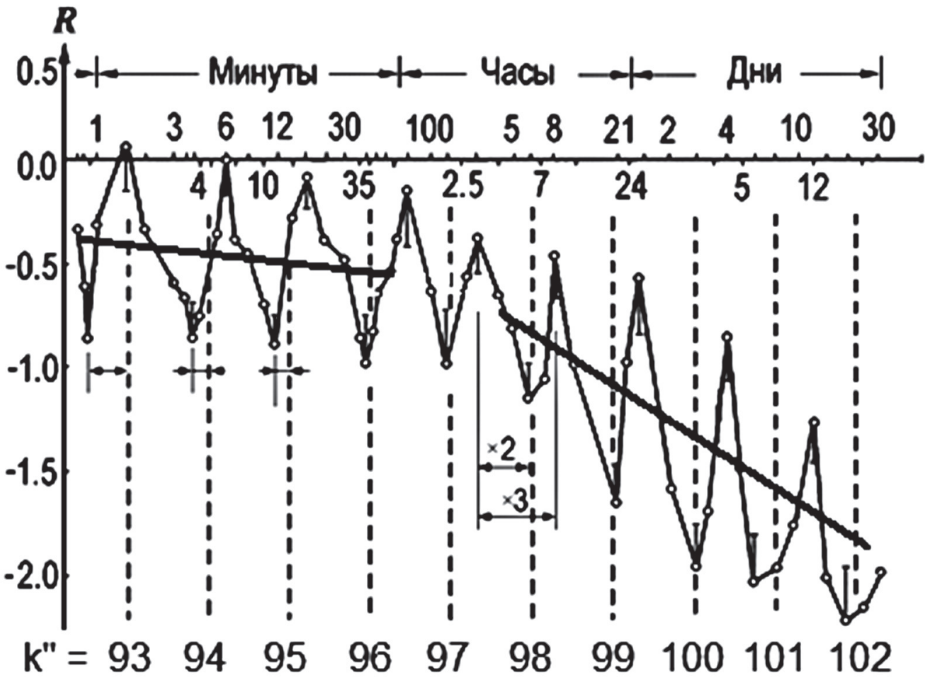


Рис. 7. Значительное изменение характера УСУП после периода с параметрами *k"=96, m=0*: начиная с *k"=97*, наклон графика достоверно увеличился. При *k"=96, m=0* период УСУП равен 113,4 мин, при *k"=97, m=0* уже 5 час 40 мин. Масштаб времени по горизонтальной оси логарифмический

шая часть сложного устройства ТС при этом полностью маскируется осью.

Подтверждение эффективности и перспективности физической модели УСУП, сформулированной на основе математического объекта – треугольника Серпинского, дает *рисунок 7*, где представлена окрестность значения $k''=96$ (ср. с *рисунком 6*) удачно просканированная в процессе исследования памяти человека. График, представленный на *рисунке 7*, был получен около 40 лет назад А.Т. Бондарем в эксперименте с 51 группой школьников города Пущино [1, 21, 22]. Эти эксперименты показали, что человек не просто постепенно забывает, как естественно было бы предположить, но, оказалось, что постепенно затухая, память при этом еще и сильно осциллирует с затягивающимся периодом: давно, казалось бы, забытые события вдруг вспоминаются почти с той же ясностью, что и раньше. Экстремумы этих осцилляций соответствуют периодам УСУП при $m=0$ (минимумы) и $m=1$ (максимумы). В данном контексте важно, что эксперимент Бондаря охватил широкую область окрестности значения $k''=96$, и мы теперь получили возможность увидеть, что на этом, хотя и не вполне «революционном», но, тем не менее, достаточно важном этапе прирастания ТС происходит резкое изменение в УСУП.

В дальнейшем мы предполагаем просканировать также широкую окрестность миллиметровых волн ($k''\approx64$, $m=0$), где можно будет ожидать проявления особенно ярко выраженного эффекта, обусловленного очередным точным восстановлением формы ТС. Получив сейчас удобную для пользования математическую модель УСУП, мы собираемся более зримо и поэтому более осмысленно продолжить попытки регистраций аномальных изменений периода в генераторах медленно меняющихся периодических колебаний при сканировании различных областей УСУП, например, интересного периода 3.11 сек с параметрами $k''=88$, $m=0$ (см. позицию $k''=96-8$ на *рисунке 6*). Предварительные результаты, аналогичные по выразительности приведенному на *рисунке 8*, указывают на возможность реального существования соответствующих аномалий.

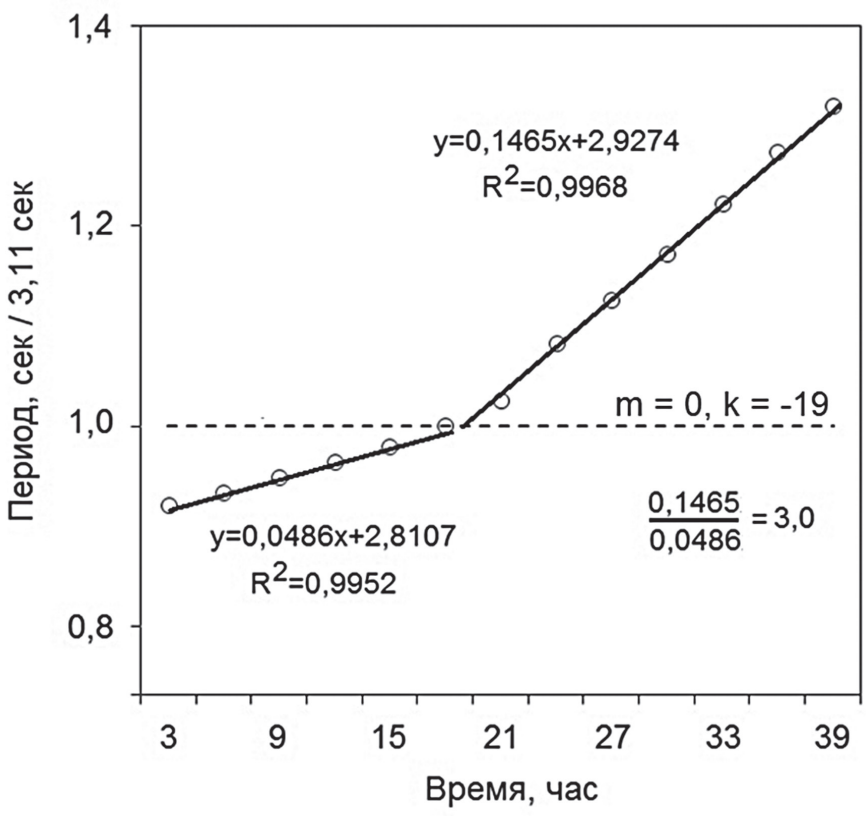


Рис. 8. Изменение скорости прироста длительности интервалов между вспышками неоновой лампы в генераторе затягивающихся релаксационных колебаний при пересечении периода УСУП 3.11 сек ($k''=88$, $m=0$). Интервал времени между соседними точками составляет три часа, каждая точка – это среднее арифметическое, вычисленное по 360 последовательным циклам полуминутных измерений периода. Масштаб времени по горизонтальной оси на этот раз линейный, и удается вычислить, что производная увеличилась ровно втрое

Таким образом, треугольник Серпинского вполне подходит на роль перспективной математической модели как для формального описания, так и для дальнейшего экспериментального исследования природы феномена существования в природе универсальной системы утраивающихся периодов.

Литература

1. Бондарь А.Т., Федоров М.В., Коломбет В.А. Утраивающиеся периоды в мультимасштабных физических и биологических явлениях // Биофизика, 2015. №60(6). С. 1208-1215.

2. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В., Федоров М.В. Обнаружение в технических устройствах фрактальной системы утраивающихся периодов, известной по своим физическим геофизическим, биофизическим и биологическим мани-

фестациям // Биофизика, 2016. №61(3). С. 615-624.

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

4. 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. №40(2). С. 55-58.

5. Коломбет Е.В., Лесных В.Н., Коломбет В.А. Особенность проявления фрактальной системы утраивающихся периодов в телевещании и мобильной телефонии // Известия Института инженерной физики, 2016. №42.(4), С. 34-40.

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

7. Коломбет В.А. Лесных В.Н., Коломбет Е.В. Учет существования сети Пица как новый путь к повышению эффективности распознавания целей // Известия Института инженерной физики, 2017. №45(3). С. 37-39.

8. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. Определение перспективных частот РЛС. // Известия Института инженерной физики, 2017. №46(4). С. 18-21.

9. Puetz S.J., Borchardt G. Quasi-periodic fractal patterns in geomagnetic reversals, geological activity, and astronomical events // Chaos, Solitons and Fractals. 81 (2015) 246–270.

10. Puetz S.J., Prokoph A., Borchardt G. Evaluating alternatives to the Milankovitch theory // Journal of Statistical Planning and Inference DOI: 10.1016/j.jspi.2015.10.006•October 2015.

11. Puetz, S.J. Unified Cycle Theory: Statistical Validation. Proceedings of the NPA. Long Beach 2010 Annual Conference. 2010. V. 6. No. 2. P. 1-8.

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

13. Puetz, S.J., The Unified Cycle Theory: How Cycles Dominate the Structure of the Universe and Influence Life on Earth. (2009) Outskirts Press, Denver, Colorado; ISBN: 978-1-4327-1216-7.

14. Пинегин Н.И. Проблемы физиологической оптики М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. Т.3.

15. Гуревич М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы. Л.: Энергоатомиздат, 1983.

16. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Под ред. В.А. Панова. Л.: Машиностроение, 1980.

17. Puetz, S.J. Unified Cycle Theory: Introduction & Data. (2010) Proceedings of the NPA, Long Beach 2010 Annual Conference.

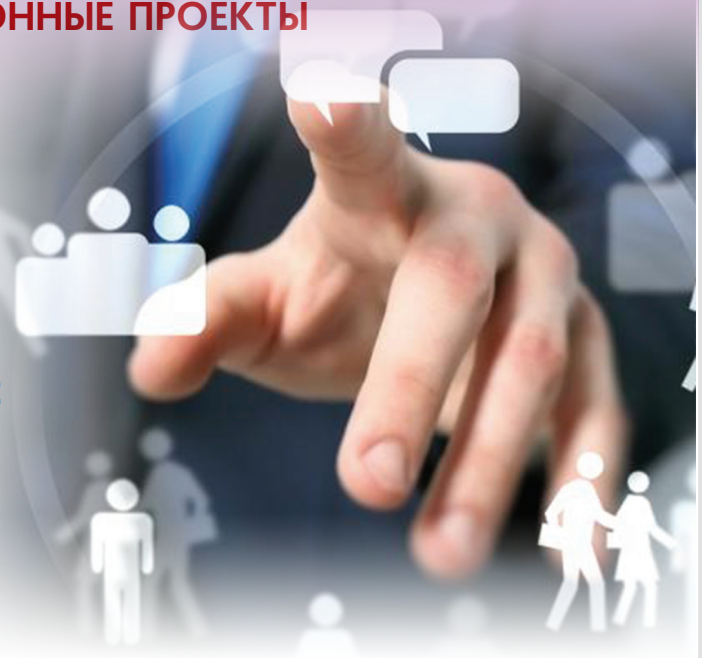
18. Prokoph A., Puetz S. J. Period-Tripling and Fractal Features in Multi-Billion Year Geological Records Mathematical geosciences DOI: 10.1007/s11004-015-9593-y•April 2015.

19. Puetz Stephen J., Prokoph Andreas, Glenn Borchardt, Mason Edward W. Evidence of synchronous, decadal to billion year cycles in geological, genetic, and astronomical events // Chaos, Solitons & Fractals. 2014, 62-63, P. 55–75.

20. Muller H. Fractal scaling models of resonant oscillations in chain systems of harmonic oscillators // Progress in physics, 2009. №2, P. 72-76.

21. Бондарь А.Т. О закономерностях воспроизведения памятного следа во времени // Доклады АН СССР, 1977. Т.236. № 6. С.1503-1508.

22. Коломбет В.А. Введение в гипнографический психоанализ. М.: ООО МЭЙЛЕР, 2008. 224 с.



УДК 334.7

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ИННОВАЦИОННОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУКОГРАДОВ

SYSTEM ANALYSIS OF CONDITIONS AND INDICATORS THAT DETERMINE THE INNOVATION ACTIVITY OF SCIENCE CITIES

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

Аннотация

В работе рассматриваются институциональные особенности наукоградов, а также их территориальные и демографические особенности. Оцениваются системные условия подтверждения статуса, нормативные правила проведения мониторинга и распределения субсидий. Формулируются предложения в состав данных, характеризующих инновационное направление развитие наукоградов, а также обсуждаются возможные направления развития инновационной деятельности.

Ключевые слова: институциональные особенности; территориальные и демографические различия; статус наукограда; данные мониторинга; направления инновационного развития.

Summary

The paper discusses the institutional features of science cities, as well as their territorial and demographic characteristics. Systemic conditions of status confirmation, normative rules for monitoring and distribution of subsidies are assessed. Proposals are formulated in the composition of data characterizing the innovative direction of the development of science cities, and also possible directions for the development of innovation activity are discussed.

Keywords: institutional features; territorial and demographic differences; status of science city; monitoring data; directions of innovative development.

Устойчивый интерес к феномену наукоградов [1, 6, 12] связан с удачностью их организации, позволяющей за счет высокой интеграции науки и производства обеспечить скорейшее внедрение результата в определенной области. И хотя былая слава наукоградов – как центров научной мысли, в настоящее время оказалась во многом исчерпанной, они по-прежнему результативны, выступая в качестве лидеров инновационного производства преимущественно в отраслях отечественного оборонно-промышленного комплекса.

При современном институциональном подходе в экономике, где определенная организация (в данном случае науки и производства) рассматривается не только как система правил и связей, но и как своеобразный механизм, наукограды особенно интересны своей способностью успешно функционировать практически без внешнего вмешательства, опираясь на содержащиеся внутри системы «*стимулы и соглашения членов*» [2].

С позиций институциональной теории жизнеспособность наукоградов можно объяснить возможностью экономить на взаимодействии между входящими в наукоград предприятиями и организациями, что обусловлено не только их формальной принадлежностью к одному территориально-муниципальному образованию, но и доминирующими внутри наукоградов неформальными, сетевыми по своему характеру отношениями. Экономия на трансакционных издержках, дополненная преимуществами сетевых взаимодействий, приводит в итоге к системному эффекту

совместного функционирования предприятий и организаций в рамках интегрированной среды научно-производственных комплексов (НПК) наукоградов.

Существование наукоградов (прошедших долгий путь от неофициального словосочетания до законодательно закрепленного термина, обозначающего особый вид муниципальных образований) на сегодняшний день опирается на исчерпывающе полный пакет логически согласованных между собой нормативных положений [3, 8, 9, 10]. Вместе с тем, попрежнему открытыми остаются вопросы о месте наукоградов в современной национальной инновационной системе, о подтверждении их способности стать локомотивами в современной экономике больших вызовов.

Таблица 1
Перечень наукоградов на 2017 год

№	Наименование наукограда	Субъект	Дата присвоения статуса	Численность населения, (тыс.чел.) на 01. 01.2017
1	Бийск	Алтайский край	Постановление Правительства РФ № 688 от 21.11.2005г (продление Постановление Правительства РФ №216 от 29.03.2011 г.)	213.5
2	Дубна	Московская область	Указ Президента РФ № 1472 от 26.12.2001 г.	73.3
3	Жуковский	Московская область	Постановление Правительства РФ №53 от 29.01.2007 г. (продление Постановление Правительства РФ №1195 от 19.11.2012 г.)	109
4	Кольцово	Новосибирская область	Указ Президента РФ №45 от 17.01.2003 г.	15.3
5	Королев	Московская область	Указ Президента РФ № 416 от 12.04.2001г.	190.3
6	Мичуринск	Тамбовская область	Указ Президента РФ № 1306 от 04.11.2003 г.	97
7	Обнинск	Калужская область	Указ Президента РФ № 821 от 06.05.2000г.	110.3
8	Протвино	Московская область	Постановление Правительства РФ №624 от 18.08.2008 г.	38.24
9	Пущино	Московская область	Постановление Правительства РФ №642 от 27.10.2005 г (продление Постановление Правительства РФ № 215 от 29.03.2011 г.)	214
10	Реутов	Московская область	Указ Президента РФ №1530 от 29.12.2003 г.	97
11	Троицк	Москва	Постановление Правительства РФ № 52 от 29.01.2007г. (продление Постановление Правительства РФ №895 от 07.09.2012 г.)	56.7
12	Фрязино	Московская область	Указ Президента РФ № 1531 от 29.12.2003г	60.1
13	Черноголовка	Московская область	ПП РФ №623 от 18.08.2008 г.	23.9

В [3] наукоградом называется *«муниципальное образование со статусом городского округа, имеющее высокий научно-технический потенциал, с градообразующим научно-производственным комплексом, т.е. совокупностью организаций, осуществляющих научную, научно-техническую, инновационную деятельность, экспериментальные разработки, испытания и подготовку кадров в соответствии с государственными приоритетными направлениями [4] развития науки, технологий и техники в Российской Федерации»* (*рисунок 1*).

Понятно, что приведенную выше формулировку нельзя рассматривать как определение, т.к. под него подходят все большие города с развитой наукой и промышленностью, например Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск и т.д. Кроме того, помимо официально признанных наукоградов, указанным условиям (по данным [5]) отвечают еще около 60 российских городов и поселков городского типа.

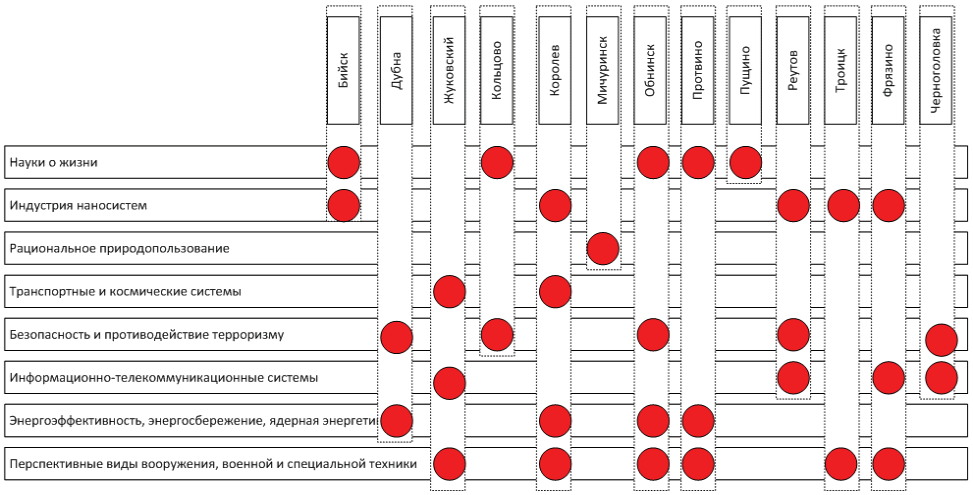


Рис. 1. Распределение государственных приоритетных направлений в деятельности наукоградов

Наукоград – это

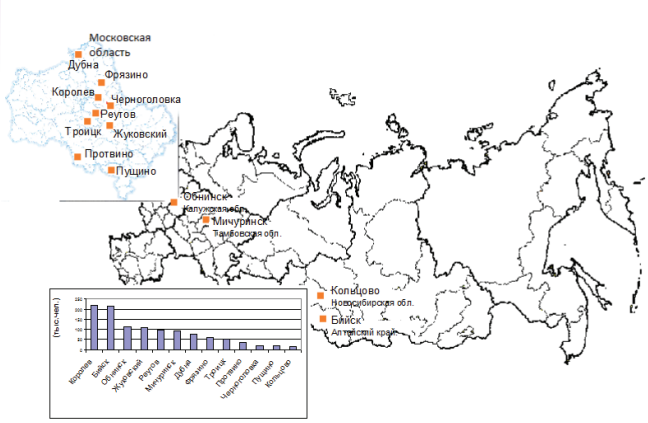


Рис. 2. Особенности территориального размещения

статус, который присваивается Правительством Российской Федерации на 15 лет, и в настоящее время он закреплен за 13 территориально-муниципальным образованиями (перечисленными в *таблице 1*).

Заметим, что исторически сложившееся размещение наукоградов (*рисунок 2*) вблизи крупных региональных столиц: более половины в Московской области - Королев, Дубна, Жуковский. Протвино, Троицк. Пущино, Фрязино, Черноголовка, а также – Обнинск (в Калужская область). Мичуринск (в Тамбовской области), Кольцово (Новосибирская область) и Бийск (Алтайский край) на сегодняшний день не может считаться стратегически удачным ни в военном, ни в социальном плане. Например, в настоящее время территории таких наукоградов как Королев и Реутов фактически (а Троицка и юридически) входят в состав большой Москвы.

Наукоград должен иметь на своей территории развитую инфраструктуру, жилищно-коммунальный сектор и сектор услуг, а также научный сектор и современную промышленность, интегрированные в НПК для реализации проектов национального масштаба, требующих:

- высокой концентрации интеллектуальных ресурсов,
- развитой экспериментально-исследовательской базы, а также
- обеспечения сохранения коммерческой и государственной тайны.

Именно с последним требованием в наибольшей степени связана необходимость придания наукоградам особого статуса, подтверждающего наличие государственных обязательств, связанных с формированием для жителей наукоградов особых условий проживания.

На *рисунке 3* представлены данные суммарных субсидий (межбюджетных трансфертов) всем наукоградам (вместе с Петергофом [6] до 2012 года), из которых виден рост объемов средств государственной поддержки до 2009 года и последующее его резкое падение на уровень около 500 млн. рублей (возникшее, по-видимому, в связи с переориентацией государственных интересов на модель иннограда [7] Сколкова).

Регулирующее деятельность наукоградов законодательство, установленное Федеральным законом № 70-ФЗ от 07.04.1999 г. (с уточняющим положениями №100-ФЗ от 20 апреля 2015 года, вступившими в силу с 2017 г.), а также Постановление Правительства Российской Федерации №1561 от 30.12.2016 [8], определяют правила предоставления и распределения субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации для осуществления мероприятий по реализации стратегий социально-экономического развития наукоградов, способствующих развитию научно-производственного комплекса, а также способствующих сохранению и развитию инфраструктуры наукоградов. При этом общая (законодательно неустановленная) сумма субсидий в оговоренной пропорции разделяется на две части, одна из которых также как и ранее распределяется между наукоградами пропорционально числу его жителей, а другая (оставшаяся) распределяется в рамках конкурса инновационных проектов наукоградов.

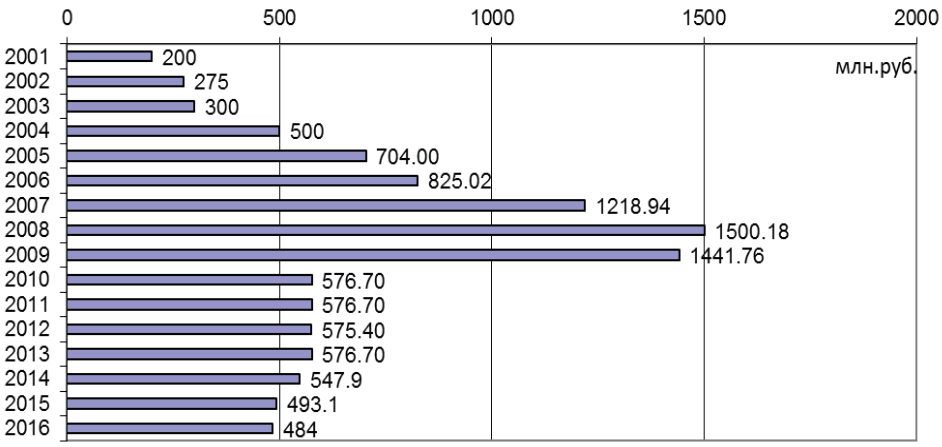


Рис. 3. Объемы государственных субсидий наукоградам

При *«подушевом»* распределении субсидий между наукоградами ежегодное добавление суммы порядка 400-500 рублей на каж-

дого жителя на бытовом уровне не может считаться значительным вложением, способным существенно повлиять на развитие города. Однако экономический потенциал наукоградов позволяет им оставаться бездотационными. И государственные средства правильнее рассматривать как меру стимулирования, инициирующего выделение дополнительного софинансирования на строительство и/или ремонт социальных объектов, имеющих значение для большинства жителей города.

То же можно сказать и о направлении конкурсной части, ориентированной в большей степени на развитие научно-производственного комплекса. Например, на состоявшемся 22.08.2017 конкурсном отборе мероприятий, способствующих реализации инновационных проектов наукоградов, победившими были признаны мероприятия, способствующие созданию индустриального парка в г. Жуковский, созданию детского технопарка в г. Реутов и развитию биотехнопарка в п.г.т. Кольцово, где общий размер субсидии из средств федерального бюджета на реализацию данных мероприятий в 2018 году составит 96 млн. рублей.

Основной новацией вступившего в силу с 2017 года №100-ФЗ от 20 апреля 2015, по сравнению с предыдущей версией закона, стала постановка во главу угла *«повышение эффективности научной и инновационной деятельности наукоградов»*. На это же предназначение наукоградов указывает и уточнения, внесенные в государственную программу Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы [9] при определении подпрограммы 3 «Институциональное развитие научно-исследовательского сектора».

Подтверждение/получение статуса наукограда согласно №100-ФЗ определяется условиями (индикаторами), устанавливающими что:

«1) среднесписочная численность работников организаций и обособленных подразделений научно-производственного комплекса наукограда составляет не менее чем 20 процентов среднесписочной численности работников, всех индивидуальных предпринимателей, осуществляющих производство и реализацию товаров (выполнение работ, оказание услуг), а также всех организаций, осуществляющих производство и реализацию товаров (выполнение работ, оказание услуг) и расположенных на территории данного муниципального образования, за исключением организаций, образующих инфраструктуру наукограда *(И1)*;

2) численность научных работников (исследователей) и лиц из числа профессорско-преподавательского состава (включая лиц, работающих по совместительству) организаций и обособленных подразделений научно-производственного комплекса наукограда на конец отчетного периода составляет не менее чем 20 процентов среднесписочной численности работников организаций и обособленных подразделений научно-производственного комплекса наукограда *(И2)*;

3) общий объем произведенных организациями и обособленными подразделениями научно-производственного комплекса наукограда товаров (выполненных работ, оказанных услуг) и их затраты на инвестиции в основной капитал и основные средства, необходимые для производства высокотехнологичной промышленной продукции и (или) инновационных товаров (выполнения инновационных работ, оказания инновационных услуг) в соответствии с приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники Российской Федерации, в стоимостном выражении составляют не менее 50 процентов общего объема произведенных товаров (выполненных работ, оказанных услуг), под которыми понимаются такие товары (работы, услуги), произведенные (выполненные, оказанные) всеми индивидуальными предпринимателями, а также всеми организациями, осуществляющими производство и реализацию товаров (выпол-

Таблица 2

Тенденции в изменении индикаторов 1-3,
где «Р» обозначает рост показателя, «С» – стабильное поведение,
«У» – убывание

	Бийск	Дубна	Жуковский	Кольцово	Королёв	Мичуринск	Обнинск	Протвино	Пущино	Реутов	Троицк	Фрязино	Черноголовка
(И1) Доля численности работников НПК в составе наукограда (> 20%)	У	У	Р	У	Р	У	У	У	У	Р	Р	Р	С
(И2) Доля численности исследователей НПК (> 20%)	С	Р	Р	С	Р	Р	У	Р	Р	Р	Р	Р	У
(И3) Доля отгруженных товаров НПК в общем объеме отгруженных товров наукограда (>50%)	С	У	Р	У	У	У	Р	Р	У	У	Р	У	У

нение работ, оказание услуг) и расположенными на территории данного муниципального образования, за исключением организаций, образующих инфраструктуру наукограда" *(И3)*; строгое исполнение которых, по нашему мнению, не в полной мере отвечают целям *«развития научной и инновационной деятельности» и «формирования точек инновационного роста»*.

Условия 1 и 3 копируют механизм ограничений, ранее содержащихся в №70-ФЗ, рассчитанных на территориальные образования закрытого типа, прирост населения в которых, а также объем производства и реализации товаров (выполнения работ, оказания услуг) строго регламентировался. Вместе с тем функционирование наукоградов в новых условиях приводит к тому, что по данным статистического наблюдения доля НПК в показателях *И1* и *И3* для большинства наукоградов убывает, отражая реальную ситуацию ограниченно растущих НПК в составе динамично развивающихся территорий (*таблица 2*). НПК, ориентированные на инновационное производство, по определению, не должны допускать экстенсивного развития, выражающегося в увеличении производства за счет увеличения числа работников. Кроме того, НПК, в которых основную долю производства составляет государственный оборонный заказ, в условиях мирного времени призваны в первую очередь сохранять определенный количественный паритет военной и гражданской продукции.

Так же мало пригодным для характеристики инновационного развития является и показатель *И2*, т.к. наукограды, расположенные вблизи крупных городов, не испытывают нужды в квалифицированных кадрах. К тому же показатель *И2* изначально неточен, допуская *«двойной»* или даже *«тройной счет»* совместителей.

Сбор данных федерального статистического наблюдения за деятельностью наукоградов выполняется согласно Постановлению от 1 июля 2016 года №620 [10], которое определяет организацию мониторинга (осуществляемого Минобрнауки) мероприятий по реализации стратегий социально-экономического развития наукоградов. Согласно [10] по предприятиям и организациям НПК ежегодно уточняется их полное наименование, организационно-правовая форма, а также основные виды и направления деятельности в соответствии с ОКВЭД и отвечающие списку приоритетных направлений [4].

Набор содержательных показателей, включающих для каждой организации НПК определение:

- среднесписочной численности работников;
- численности научных работников (исследователей);
- численности профессорско-преподавательского состава (включая лиц, работающих по совместительству);
- общего объема произведенных товаров (выполненных работ, оказанных услуг);
- затрат на инвестиции в основной капитал и основные средства, необходимые для производства высокотехнологичной промышленной продукции и (или) инновационных товаров, дополненный статистическими данными о среднесписочной численности жителей, а также об объеме произведенных товаров (выполненных работ, оказанных услуг) по наукограду, позволяет оценить условия 1-3. Вместе с тем, за исключением *«затрат на инвестиции в основной капитал»*, представленные показатели в целом не способны подтвердить инновационный путь развития наукограда, что, по-видимому, указывает на целесообразность расширения их состава *«иной информацией»*, наличие которой предусматривается в пункте 3 Правил [10]. Например, в качестве такой дополнительной информации (кроме сведений, определенных в постановлении №620) для характеристики инновационного развития накоградов могли бы использоваться показатели [11, 13], некоторые из которых перечислены в *таблице 3*.

Таким образом, перед наукоградами в ближайшее время стоит непростая задача организации сопоставимого с развитием территориального образования наращивания выпуска инновационных товаров (выполненных работ, оказанных услуг) и подготовки квалифицированных кадров, но не за счет дорогостоящего, ограниченно коммерциализуемого, не маркетируемого и во многом инвестиционно не привлекательного основного производства.

Такие возможности у наукоградов есть путем их преобразования в центры генерации, распространения и популяризации знаний в отраслевом и межотраслевом масштабе [2].

В этом плане на базе таких инновационных структур как технологические и исследовательские парки:

- должна быть расширена деятельность, связанная организацией центров коллективного пользования, с арендой и предоставлением уникальной научной, лабораторной и опытно-конструкторской базы НПК;
- созданы условия (в том числе и финансовые) для поддержки проведения и продвижения фьючерсных исследований, в том числе сторонними юридическими и физическими лицами;
- созданы условия (в том числе и за счет модернизации инфраструктуры) для проведения выставок, научных конференций, симпозиумов,

Таблица 3
Предложения показателей в состав мониторинга наукоградов

1.	Численность докторов наук
2.	Численность кандидатов наук
3.	Численность аспирантов докторантов
4.	Количество молодых исследователей до 39
5.	Численность стажеров повышения квалификации
6.	Количество публикаций WoS
7.	Количество докладов
8.	Количество проведенных научных мероприятий (выставок, конференций. семинаров
9.	Численность студентов
10.	Численность учащихся
11.	Балансовая стоимость машин и оборудование
12.	Балансовая стоимость нематериальных активов
13.	Количество полученных патентов и «ноу-хау»
14.	Объем выполненных НИОКР
15.	Объем товаров, произведенных на экспорт
16.	Приобретение внешних технологий (в объемном выражении)
17.	Внедрение инноваций (в объемном выражении)
18.	Объем экспорта инноваций

семинаров и других массовых мероприятий с целью создание региональных точек экономического, технологическою и интеллектуального сотрудничества.

На территории наукограда должно проводиться:

- формирование условий для организации непрерывного образования, дистанционного образования, повышения квалификации и создания естественно-научной ординатуры с целью подготовки высококвалифицированных специалистов в области наукоемких технологий, приоритетных направлений науки и техники;
- создание условий для актуализации знаний и реализации творческих идей и проектов молодых научно-технических кадров (студентов, аспирантов, выпускников вузов), формирования у студентов и специалистов инновационного мышления, а также необходимых умений и навыков работы путем привлечения к участию в инновационных проектах.

Литература

1. Гусев А.Б. Наукограды: забытый жанр или ренессанс? // Капитал страны, 2016. 26 апреля.

2. Акинфеева Е.В., Абрамов В.И. Роль наукоградов в развитии национальной инновационной системы России // Наука и технологии, 2015. №1. С.129-139.

3. Федеральный закон №70-ФЗ «О статусе наукограда Российской Федерации» от 07.04.1999 (с изменениями, дополнениями №122-ФЗ от 22 августа 2004 года); №230-ФЗ от 18 октября 2007 года; №360-ФЗ от 27 декабря 2009 года; №185-ФЗ от 2 июля 2013 года и №100-ФЗ от 20 апреля 2015 года.

4. Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 года №899 «Перечень критических технологий Российской Федерации».

5. http://megabook.ru/article/Наукоград%20Российской%20Федерации.

6. Проскурнин С.Д. Перспективы развития наукоградов, как территорий интенсивного научно-технологического развития // http://eee-region.ru/article/4909/.

7. Федеральный закон Российской Федерации №244-ФЗ от 28 сентября 2010 года «Об инновационном центре „Сколково“».

8. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.12.2016 №1561 «Об утверждении правил предоставления и распределения субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации для осуществления мероприятий по реализации стратегий социально-экономического развития наукоградов РФ, способствующих развитию научно-производственного комплекса наукоградов РФ, а также сохранению и развитию инфраструктуры наукоградов РФ и признании утратившими силу некоторых актов Правительства РФ».

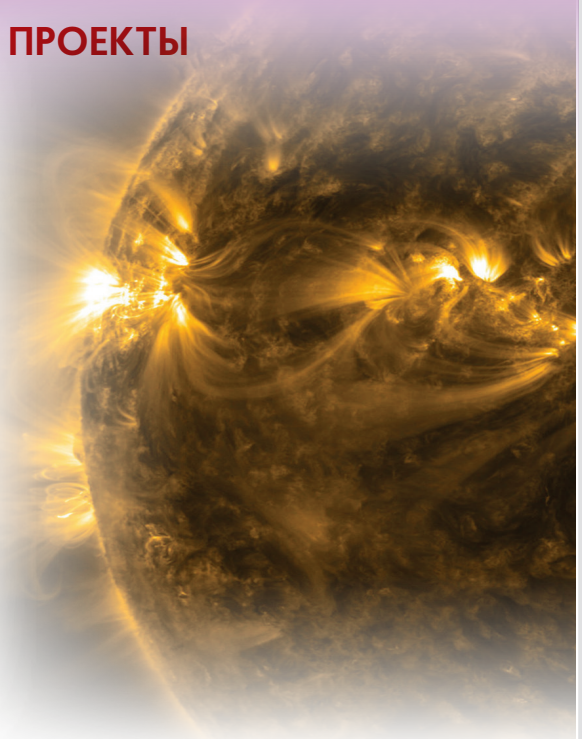
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 марта 2017 г. №363 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы.

10. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 июля 2016 года №620 «Об утверждении Правил проведения мониторинга осуществления мероприятий, включенных в планы мероприятий по реализации стратегий социально-экономического развития муниципальных образований, имеющих статус наукограда РФ, а также показателей деятельности организаций и обособленных подразделений научно-производственных комплексов наукоградов РФ.

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

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

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



УДК 687.2

ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

APPLICATIONS OF INNOVATIVE SYSTEMS LOCAL HEATING UNDER LOW TEMPERATURE CONDITIONS

Александр Григорьевич Мурашов
Вице-президент
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: Murashovan58@mail.ru

Денис Сергеевич Руднев
аспирант
начальник отдела сопровождения
выставочной деятельности
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: Rds650@iifmail.ru

Андрей Сергеевич Бутранов
старший научный сотрудник
филиал ВА РВСН им. Петра
Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (4967) 72-19-11
E-mail: varvsn-serp@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются разработки ученых МОУ «Институт инженерной физики» в области применения нагревательных элементов в снаряжении, разработанном в интересах Министерства обороны РФ и МЧС.

Ключевые слова: термоволокно, костюм с электрообогревом, эвакуационный термомешок с автономной системой обогрева, система обогрева для перелива инфузионных растворов.

Summary

The article deals with the development of the scientists of the Institute of Engineering Physics in the field of application of heating elements in equipment developed in the interests of the Ministry of Defense of the Russian Federation and the Ministry of Emergency Situations.

Keywords: thermal fiber, suit with electric heating, evacuation thermometer with autonomous heating system, heating system for overflow of infusion solutions.

В Межрегиональном общественном учреждении «Институт инженерной физики» – инновационном предприятии оборонно-промышленного комплекса России – разработан нагревательный элемент из искусственного волокна – термоволокно (*рисунок 1*) [1], которое не имеет недостатков (металлических и углеродных проводов), хорошо работает при многократных деформациях и обеспечивает невысокие температуры нагрева. Термоволокно явилось основой для целого комплекса снаряжения, позволяющего плодотворно нести службу, работать и оказывать помощь раненым в условиях низких температур.

В качестве основы термоволокна была использована металлизированная токопроводящая нить с температурой плавления 160-170°С, которая обеспечивает эластичность и устойчивость к

Рис. 1. Нагревательный элемент – термоволокно

многократным механическим деформациям такого нагревателя (механические деформации показали устойчивость более чем к 150000 циклам изгиба на 180°). Нанесенные на поверхность волокна металлические тонкопленочные покрытия, обладающие резистивными свойствами, при протекании электрического тока обеспечивают необходимое выделение тепловой мощности.

При общей толщине пленок в 5-6 Ангстрем тонкопленочные покрытия фактически являются единым целым с полимерной основой, и, обладая металлической проводимостью, приобретают свойства гибкого и неломающегося нагревателя. При этом контакт между нагревателем и токоподводящим проводом обеспечивается как «металл с металлом» и не приводит к созданию переходного сопротивления.

Помимо этого, конструкция нагревательного провода выполнена таким образом, что в случае нештатного использования изделия в рабочем состоянии (например, в сложенном в несколько раз) полимерная основа термоволокна расплавляется при температуре 160-170°С, разрывая электрическую цепь. Это срабатывает как термопредохранитель. Внешняя электроизоляция остается целой, так как она выполнена из сшитого полиэтилена с температурой плавления 190-200°С. Нагреватели из тепловолокна не только являются мягкими, легкими и гибкими, но и абсолютно безопасными для человека.

В МОУ «Институт инженерной физики» на основе термоволокна разработан целый комплекс специального снаряжения и оборудования, оснащенного инновационной системой локального обогрева для работы военнослужащих и медиков в условиях низких температур.

Инновационная разработка ученых Института – костюм с электрообогревом (*рисунок 2*) [2], предназначенный для создания комфортных температурных условий при работе в условиях низких температур окружающей среды. Костюм надевается непосредственно на тело или на тонкое нательное белье под водолазный гидрокостюм «сухого» типа. На внутренней поверхности костюма закреплены нагревательные провода по особой технологии, что позволяет ему растягиваться и плотно прилегать к телу водолаза, не создавая растягивающего усилия нагревательному проводу. Система обогрева футболки состоит из пяти нагревательных элементов, размещенных по одному на рукавах и груди, и два – на спине. Система обогрева кальсон состоит из четырех нагревательных элементов, по два для обогрева каждой ноги.

Каждый нагревательный элемент оснащен термовыключателем с температурой отключения 35°С, что обеспечивает автоматическое под-

Рис. 2. Костюм с электрообогревом

держание постоянного температурного режима в диапазоне 30-35°С. Все нагревательные элементы подключены по параллельной схеме электропитания. В комплект костюма входит две литий-ионные батареи, что обеспечивает непрерывную работу системы обогрева водолаза в течение 5-6 часов.

Предлагаемые технические решения обеспечивают создание комфортных условий работы военных в экстремальных условиях низких температур, а также водолазов на различных глубинах при температуре воды от –2 до +15°С и позволяют увеличить на 30-40% время пребывания водолаза под водой без переохлаждения организма.

Решить проблему эвакуации раненых и предотвратить переохлаждение может другая инновационная разработка Института – эвакуационный термомешок с автономной системой обогрева (*рисунок 3*) [3]. Он выполнен из плотной водонепроницаемой ткани, прошитой лавсановыми нитями, которые нагревают поверхность мешка на нужную температуру, что обеспечивает комфортную температуру при транспортировании в нем пострадавшего.

Ученые Института разработали систему обогрева для перелива инфузионных растворов (*рисунок 4*) [4]. Данная технология обеспечивает введение пострадавшему лекарственных препаратов уже подогретых до оптимальной температуры.

Применение инновационных систем локально-

Рис. 3. Эвакуационный термомешок с электрообогревом

Рис. 4. Система обогрева для перелива инфузионных растворов

го обогрева в экстремальных условиях способствует поддержанию уровня физической активности и морально-волевых качеств военнослужащих, выполняющих задачи в сложных температурных условиях, и позволяет оказать быструю и эффективную медицинскую помощь пострадавшим в экстремальных условиях низких температур.

Снаряжение для водолазов и военных, а также оборудование с термообогревом прошло целый ряд ведомственных испытаний и доказало свои характеристики, уникальность и удобство в использовании для работы в условиях низких температур.

Специалисты Главного военно-медицинского управления Минобороны и НИИ военной медицины провели испытания медицинской техники и средств (в том числе и разработок Института) в условиях Арктики. Двухнедельные тесты были проведены в суровых условиях арктической полярной ночи на полуострове Рыбачий (Мурманская область).

Решение практических задач в области проведения поисково-спасательных операций с выполнением водолазных работ со льда, подо льдом и при отрицательных температурах наружного воздуха были отработаны специалистами Института во время учений, испытаний экипировки водолазного снаряжения, оснащенной системой локального обогрева, в рамках Всероссийской научно-практической конференции «Арктика – территория безопасности. Развитие системы обеспечения комплексной безопасности Арктической зоны Российской Федерации», которая проходила 18-19 февраля 2016 года на базе «Арктического спасательного учебно-научного центра «Вытегра» (Вологодская область).

Рис. 5. Боевой робот-андройд экипированный системой обогрева

Экипировка с системой локального обогрева была продемонстрирована и получила положительную оценку Президента Российской Федерации на Международном военно-техническом форуме «Армия-2015», а также на испытательном полигоне Центрального научно-исследовательского института точного машиностроения в Климовске. Боевой робот-андройд (*рисунок 5*), которого продемонстрировали Владимиру Владимировичу Путину, был экипирован учеными Института инженерной физики.

Успешно проведены государственные испытания данных изделий, Государственная комиссия рекомендовала костюмы с электрообогревом принять на снабжение в Вооруженные силы Российской Федерации. Кроме того, костюмы использовались спасателями МЧС и зарекомендовали себя с положительной стороны во время спасательных работ при крушении самолета ТУ-154 в Сочи в 2016 году.

Снаряжение и оборудование для Арктики, разработанное учеными Института, демонстрировалось на крупнейших международных отраслевых выставках: «Армия-2015», «Комплексная безопасность», «Дни инноваций Министерства обороны РФ», «Материально-техническое обеспечение силовых структур», «INTERPOLITEX», «День передовых технологий и инноваций в системе МЧС России» и многих других и везде получило одобрение и высокую оценку экспертов и руководителей силовых структур.

В июне 2017 года на тематической выставке перед заседанием коллегии Министерства обороны главнокомандующий Военно-морским флотом РФ В.И. Королев доложил министру обороны РФ С.К. Шойгу о завершении в 2017 году ОКР и готовности принять на снабжение ВМФ РФ костюмов с системой локального обогрева, разработанных МОУ «Институт инженерной физики».

Литература

1. Патент РФ №2013155025/11, 12.12.2013. Теплокомбинезон водолаза // Патент России №140820. Бюл. №14. / Царьков А.Н., Мурашов А.Г., Ситников В.П. [и др.].

2. Патент РФ №2014111305/11, 26.03.2014. Электрообогревательная водолазная одежда // Патент России №2558409. Бюл. №22. / Царьков А.Н., Мурашов А.Г., Ситников В.П. [и др.].

3. Патент РФ №2017103283, 01.02.2017. Обогреваемый эвакуационный мешок // Патент России №174767. Бюл. №31. / Мурашов А.Г., Бутранов А.С., Мартынов С.В. [и др.].

4. Патент РФ №2016134768, 25.08.2016. Капельница медицинская // Патент России №170115. Бюл. №11. / Мурашов А.Г., Еремин Б.Г., Мартынов С.В. [и др.].

УДК 004.896

СИСТЕМА КОЛЛЕКТИВНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

SYSTEM OF COLLECTIVE SELF-MANAGEMENT BY MEANS OF TRANSPORT

Владислав Иванович Протасов
кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры «Информационные технологии»
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт»
(Национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Зинаида Евгеньевна Потапова
кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры «Математическая кибернетика»
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт»
(Национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Анатолий Васильевич Шаронов
доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой
«Информационные технологии»
ФГБОУ ВО «Московский
авиационный институт»
(Национальный исследовательский
университет)
Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4

Аннотация

В работе приводятся результаты компьютерного моделирования транспортных потоков в виртуальном городе, обладающем системой дорог трех типов колец – квартальных, скоростных и развязок, имеющих протяженные соприкасающиеся участки. Моделируется система самоуправления роботомобилей, основанная на применении правил взаимодействия, взятых из молекулярно-динамической модели с диссипацией кинетической энергии. Показано, что эти правила дают возможность организовать беспробочное бессветофорное движение в таком городе при максимально возможном трафике.

Ключевые слова: роботомобили, интеллектуальные агенты, взаимодействие между интеллектуальными агентами, безаварийность и трафик движения роботомобилей, виртуальный город будущего

Summary

The paper presents the results of computer modeling of transportation flows in a virtual city, with the road system formed by three types of circles, namely, sectional, high-speed and interchange, having extended adjoining sections. The self-managing system for robotic vehicles based on employing the rules of interaction, taken from the molecular dynamic model with kinetic energy dissipation is modeled. The paper demonstrates that these rules allow organize in the city the movement without traffic jam and traffic lights at maximally possible traffic.

Keywords: robotic vehicle, intellectual agents, interaction between intellectual agents, failsafety and traffic of robotic vehicles' movement, virtual city of the future.

Введение

Первую математическую модель, предназначенную для изучения транспортных потоков, и, в частности, механизмов возникновения пробок, создали в 1955 году Лайтхилл и Уизем [1, 2]. В основу модели была положена гидродинамическая модель, в которой описывалась зависимость плотности потока от его интенсивности на определенном участке дороги. Основными параметрами модели были средняя скорость транспортного потока, его плотность и интенсивность. В рамках этой модели было показано, что транспортный поток, как и жидкость, подвержен фазовым переходам – скачкообразным изменениям в скорости и плотности.

Результаты, полученные в этих работах, позволили качественно описать волновые процессы возникновения и затухания пробок, но конкретных рекомендаций по организации транспортных потоков, устраняющих на практике

возникновение пробок, сделать исходя из этих моделей невозможно. Большое количество исследований, в том числе и основанных на компьютерных моделях, проделанных многочисленными авторами с тех пор, не приблизили решение проблемы оптимальной организации транспортных потоков в современных городах.

В настоящей работе предпринята попытка построения работающей модели организации беспробочного движения роботомобилей в условном, виртуальном городе, транспортная сеть которого заранее подготовлена к нему. Основной упор в решении проблемы отсутствия пробок при максимально возможном трафике в таком городе делается на формулировании правил взаимодействия между искусственными интеллектуальными агентами, лишенными многих недостатков, как психологических, так и управленческих, присущим людям. Другими словами, нужно ответить на вопрос – можно ли в принципе, в чистом виде, реализовать в искусственной среде, с искусственными интеллектуальными агентами, свойства которых мы задаем сами, безаварийное, беспробочное движение с максимально возможным трафиком. Второй вопрос, который может быть поставлен в настоящей работе – какие рекомендации можно сформулировать для участников транспортных процессов в реальном городе для повышения безаварийности и оптимизации трафика.

Постановка задачи

В компьютерной модели города, разбитого на кварталы, задается транспортная схема дорог и развязок, расположенных на двух уровнях в виде соприкасающихся колец, обеспечивающих одностороннее движение. У каждого роботомобиля внутри квартала есть место постоянной стоянки. Также имеется такое же число вакантных мест стоянок.

В виртуальном городе организовано постоянное движение транспорта таким образом, что у каждого роботомобиля есть возможность в произвольное время начать движение к любой вакантной стоянке (или ближайшей к ней, если она занята), остановиться там на необходимое время и вновь вернуться на исходную стоянку. Считается, что он оснащен системами наблюдения за окружающей обстановкой и постоянно может определять координаты ближайших транспортных средств и элементов дороги. Транспортные потоки нигде не пересекаются (светофоры, следовательно, не используются).

Требуется разработать автономную систему самоуправления роботомобилем, основанной на применении правил взаимодействия с использованием расчетного аппарата молекулярной динамики. Система обладает следующими свойствами:

- должна быть обеспечена безопасность объектов – при любых обстоятельствах расстояние между двумя объектами не должно превышать заранее заданной величины R_b;
- система должна обеспечить отсутствие пробок;
- должен быть обеспечен максимально возможный трафик транспортной системы при оптимальном значении времени возможного простоя автомобиля, а также при оптимальном значении превышения фактически пройденного расстояния по сравнению с теоретически возможным.

Правила взаимодействия и алгоритмы

Решение задачи разбивается на две части. В первой части разрабатывается такая топология сети дорог и развязок, что при ортогональном двухуровневом расположении скоростных магистралей обеспечивается двустороннее бессветофорное движение транспортных средств без пересечений потоков. Параллельно рядом с каждым участком скоростного движения существуют кольцевые квартальные участки дороги. Скорость движения на этих участках ниже, чем на магистралях. Непосредственно к ним примыкают кольцевые развязки с еще более низкой скоростью движения.

Данная схема организации транспортных потоков приведена на *рисунке 1*.

В промежутке между квартальными кольцами распложены места стоянок роботомобилей. На стоянках с нечетными номерами располагаются прикрепленные к ним транспортные средства – у каждого из них есть закрепленная за ним стоянка. Стоянки с четными номерами являются общей собственностью. Схема организации движения такова, что каждый роботомобиль выбирает оптимальную траекторию дви-

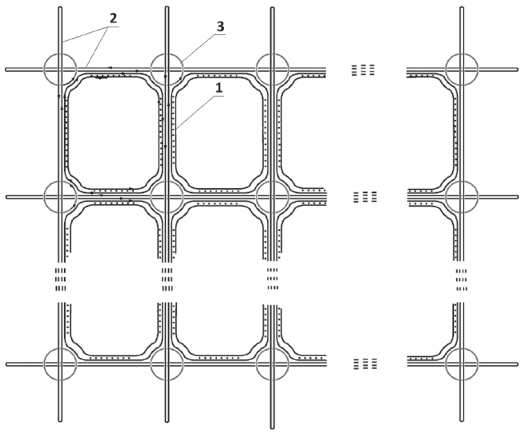


Рис. 1. Транспортная схема города:
1 – квартальные среднескоростные кольцевые дороги;
2 – скоростные магистрали;
3 – двухуровневые развязки

жения от его собственной стоянки к любой другой, незанятой стоянке с четным номером, нужной ему в соответствии с целью поездки. Если эта стоянка оказывается занятой другим роботомобилем, то наш роботомобиль выбирает ближайшую незанятую стоянку к ней.

При следовании по маршруту в соответствии с планом поездки роботомобиль может осуществлять перестраивания в следующем порядке: квартальное кольцо – развязка – квартальное кольцо – скоростная магистраль – квартальное кольцо – развязка – квартальное кольцо. Таким образом, перестраивания типа «развязка – скоростная магистраль – развязка» не предусмотрены.

При решении второй части задачи – организации бесконфликтного движения была разработана система правил взаимодействия между движущимися роботомобилями – интеллектуальными агентами, исходя из молекулярно-динамических расчетов (*рисунок 2*). Рассматривается одномерное движение каждого роботомобиля по линии какого-либо кольца. Кольцо при этих расчетах условно разворачивается в прямолинейный отрезок. При этом оно имитируется последовательностью соединенных между собой таких отрезков. Считается, что на роботомобиль воздействуют только соседние роботомобили.

Скорости и координаты роботомобилей рассчитываются исходя из модифицированного закона Кулона. Роботомобили рассматриваются как одноименно заряженные макрочастицы с единичными зарядами и массами. Модификация потенциала заключается в том, что он сдвинут по оси абсцисс на величину R_b и равен нолю при расстоянии между макрочастицами, превышающем радиус «обрезания» потенциала R_{ob}. Закон изменения силы, выведенный из этого потенциала взаимодействия между макрочастицами, представлен на *рисунке 2*. Там же приведен алгоритм численного интегрирования уравнений движения.

В уравнения движения введен экспериментально подбираемый коэффициент C, меньший единицы, имитирующий введение в систему вязких сил, устраняющих периодические колебания макрочастиц возле положений минимума потенциала. Расчеты проводятся в относительной системе координат, когда из скоростей всех макрочастиц вычитаются значения разрешенной для данного кольца скорости поступательного движения. В каждой точке транспортного кольца может быть рассчитан потенциал, как сумма потенциалов взаимодействия прилегающих с двух сторон к этой точке макрочастиц. В зависимости

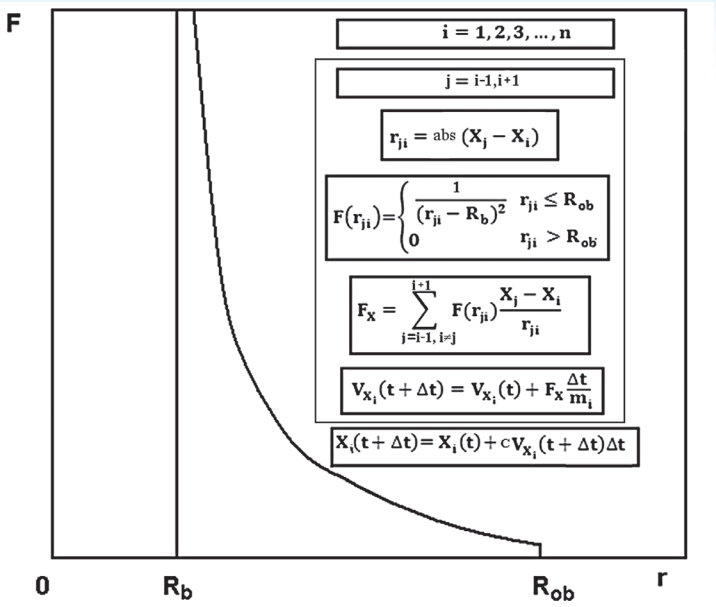


Рис. 2. Математическая модель расчета взаимодействий

от расстояний между макрочастицами и данной точкой такой потенциал может быть равен нолю или отличным от ноля. Будем называть в первом случае состояние трассы в данной точке ненапряженным, а во втором – напряженным.

Для организации безаварийного движения транспортных средств, управляемых с помощью молекулярно-динамических расчетов, сформулированы правила взаимодействия между ними в следующем виде:

1. Агент, начинающий движение в соответствии с имеющимся у него планом поездки, может въехать в квартальное кольцо, если в этот момент времени в этой точке кольца ненапряженное состояние.

2. Агент, у которого есть потребность перестроиться на другое кольцо, может въехать на него, если расстояние до ближайшего агента не превышает величину 0,5 R_{ob}.

3. По кольцу агент едет со скоростью, разрешенном для этого кольца, изменяя ее только в соответствии с молекулярно-динамическими расчетами, когда точка его расположения на кольце находится в напряженном состоянии.

Здесь следует отметить, что в случаях, когда агент, перестраиваясь на другое кольцо, попадает в напряженную точку, то в соответствии с молекулярно-динамическими расчетами он начинает «расталкивать» своих соседей, переводя их также в напряженное состояние. Этот процесс передается по цепочкам роботомобилей вперед и назад до тех пор, пока весь кортеж не окажется в ненапряженном состоянии. Если размеров кольца не хватает для такого перехода, то все кольцо остается в напряженном состоянии и на него за-

прещено перестраиваться автомобилям из соседних колец. Как только один или несколько автомобилей покинут это кольцо, происходит автоматическая перестройка роботомобилей в ненапряженное состояние и кольцо «открывается».

Данный процесс представлен на *рисунке 3*. В течение времени от *0* до t_0 по некоторому кольцу едет кортеж из шести роботомобилей. В момент времени t_0 между третьим и четвертым роботомобилями въезжает роботомобиль из другого кольца. Результаты молекулярно-динамических расчетов с диссипацией кинетической энергии показывают, что процессы перестройки протекают плавно и без переколебаний.

Следует заметить, что при $C=1$ наблюдаются сильные осцилляции положений роботомобилей относительно равновесных точек, располагающихся на расстояниях R_{ob}. Этот факт коррелирует с физическими процессами установления теплового равновесия в линейке гармонических осцилляторов. Именно диссипация кинетической энергии в системе приводит к отсутствию осцилляций и быстрому занятию равновесных положений частицами.

Результаты расчетов

Для модели города, состоящей из 10*10 кварталов и числе транспортных средств 20000 было проведено две группы экспериментов – в случае использования только роботомобилей и только автомобилей.

Были выбраны следующие значения относительных скоростей: для поворотного кольца $V_{kp}=1$, для квартальной трассы $V_{kw}=2$ и для скоростной $V_{tr}=4$. Внутри квартала вдоль каждой стороны располагалось по 50 транспортных средств и по 50 вакантных мест. Величина потока N_p регулировалась вероятностью выхода транспортного средства на трассу. Величина трафика измерялась в относительных единицах.

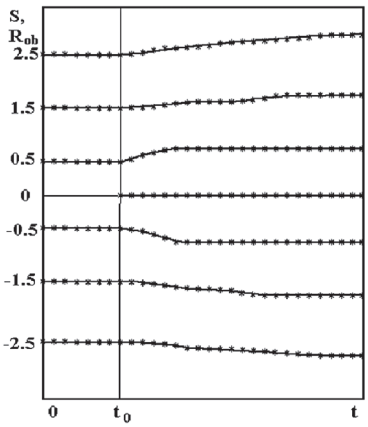


Рис. 3. Перестройка кортежа роботомобилей из напряженного в ненапряженное состояние

За максимально возможную величину N_{max} принималось количество средств, которые могли одновременно находиться на расстоянии R_{ob} друг от друга. Общее число транспортных средств, имеющихся в городе, превышало N_{max} в 3,2 раза. Во всех экспериментах при данных параметрах пробок не наблюдалось.

Исходя из анализа транспортных потоков при экспериментах с роботомобилями, и их индивидуальными историями поездок, были выработаны правила взаимодействия для автомобилистов в модельной ситуации виртуального города. Эти правила были сформулированы следующим образом:

1. Водители стремятся всегда поддерживать фиксированное расстояние между автомобилями.
2. На квартальную трассу водитель может выехать только тогда, когда расстояние между его автомобилем и уже едущими по трассе автомобилями превышает фиксированное значение.
3. При перестройке на другое кольцо можно въезжать при расстоянии между автомобилями, составляющем более половины фиксированного.
4. Водитель автомобиля всегда стремится занять положение посредине между передним и задним соседними автомобилями до тех пор, пока он не отодвинется от них на фиксированное расстояние.

Следует отметить, что в случае кольца у каждого автомобиля всегда есть передний и задний соседний автомобиль, хотя и находящихся на больших расстояниях от переднего и заднего автомобилей кортежа, следовательно, правило 4 универсально.

Эксперименты для этого случая также показали, что если соблюдаются эти правила, то пробки также не наблюдались.

В *таблице 1* приведены результаты компьютерных экспериментов для роботомобилей и автомобилей. Видно, что в случае роботомобилей наблюдаются лучшие параметры движения.

Таблица 1

Результаты компьютерных экспериментов

	Автомобили			Роботомобили		
Трафик	0.14	0.28	0.44	0.18	0.34	0.58
Превышение времени	1.22	1.28	1.47	1.08	1.15	1.35
Превышение пути	1.19	1.25	1.44	1.03	1.17	1.21

Литература

1. Ligthill M.J., Whitham F.R.S. On kinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads. // Proc. of the Royal Society Ser. A. No. 1178. Vol. 229. London, 1955. 317-345.
2. Lighthill M.J., Whitham G.B., A theory of traffic flow // Proc. R. Soc. A 229, 317 (1955).

УДК 004.94

РИСКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И СИМУЛЯЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

RISKS OF SIMULATION AND SIMULATION OF ROBOTIC COMPLEXE

Евгений Валерьевич Умников
ведущий инженер управления информационных систем
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д.1а
Тел.: +7(4967) 35-31-93
E-mail: rtk@iifrf.ru

Владимир Павлович Горковенко
начальник отдела маркетинга и системного анализа
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д.1а
Тел.: +7(4967) 35-31-93
E-mail: all_iif@iifrf.ru

Аннотация

Применение современных систем моделирования и симуляции робототехнических комплексов (РТК) имеет ряд ограничений и связанных с ними рисков. В данной статье авторы рассмотрели ряд наиболее значимых факторов риска, сопровождающих процессы подготовки к моделированию, проведения самого моделирования и симуляции, а также последующего применения полученных результатов моделирования РТК.

Ключевые слова: симуляция, моделирование, процессы моделирования и симуляции, риски, факторы риска.

Summary

The use of modern simulation and simulation systems of robotic complexes (RTC) has a number of limitations and associated risks. In this article, the authors examined a number of the most significant risk factors that accompany the modeling, simulation and application of the results obtained.

Keywords: simulation, modeling, modeling and simulation processes, risks, risk factors.

В данной работе термины «моделирование» и «симуляция» используются в несколько различающихся смыслах, отражающих применение на разных стадиях исследований.

Моделирование – процесс создания «модели», которая представляет объект или систему с выбранным подмножеством свойств. Модель может быть почти точно такой же, как исходная система, или приближенная к реальности по отдельным, значимым параметрам. Моделирование больше направленно на оценку внутреннего состояния и параметров РТК.

Симуляция – метод изучения и анализа поведения реальных или воображаемых систем, имитируя их компьютерной программой. Симуляция работает с математической моделью, описывающей систему. При симуляции изменяется одна или несколько переменных математической модели и наблюдаются изменения в других переменных. Симуляция, как имитационно-агентное моделирование [1], больше ориентирована на оценку процессов взаимодействия РТК с внешним окружением.

С целью повышения эффективности конструкторской работы, симуляция может проводиться на специализированном программно–аппаратном комплексе, реализующем функционал «Виртуального полигона» как для целей исследований и перспективных разработок, так и для разнообразных тестов многоагентных РТК управляемых операторами [2].

Говоря о риске, в данной работе мы подразумеваем «риск как неопределенность негативного влияния», с этой точки зрения работа с ри-

сками имеет своей целью уменьшение дисперсии между ожидаемыми исходами и действительными результатами [3]. Поскольку моделирование нацелено на получение результатов, которые как можно более точно соответствуют реальности при заданных ограничениях, отклонение полученных параметров от реальных данных, полученных в ходе натурной верификации, в любом случае означает негативное развитие событий.

Основными характеристиками риска являются вероятность и предполагаемая степень тяжести последствий наступления события риска. Каждому событию риска сопутствуют ряд факторов риска, характеризующихся степенью влияния на тяжесть последствий события риска и собственной вероятностью появления [4].

Работа с рисками предполагает следующие основные направления:

1. Выявление риска.
2. Оценка риска.
3. Установление приоритетов риска, планирование риска и принятие решений.
4. Мониторинг динамики риска.

Процессы, сопровождающие моделирование и симуляцию РТК, включают в себя следующие основные стадии:

1. Подготовка модели для симуляции;
2. Проведение симуляции;
3. Оценка и использование результатов.

На каждой из этих стадий процессам сопутствуют некоторые риски, связанные со сложностью и неопределенностью присущих факторов, которые можно выявить, оценить и в дальнейшем снизить их влияние на полученные симуляцией в виртуальном полигоне оценочные характеристики РТК, а также, принятие итогового решения.

Симуляцию функционирования РТК под управлением человека-оператора можно отнести к группе высокого риска. Стандартными рисками являются: выход за сроки и бюджеты проектов, снижение качества создаваемых образцов техники, наличие невыявленных будущих проблемных аспектов эксплуатации РТК. Как правило, данные риски, применительно к моделированию и симуляции РТК, обусловливаются такими специфическими факторами, как:

1) длительность и сложность согласований при постановке задач;

2) неопределенность и противоречивость технических характеристик РТК, необходимых для решения поставленных задач;

3) длительность и сложность согласования итогового облика РТК;

4) обеспечение совместной работы большой группы разнородных участников-разработчиков подсистем РТК;

5) высокая зависимость от качества систематизации и актуальности информации об элементах РТК;

6) обеспечение высоких требований по актуализации модели и т.д.

Рассмотрим подробнее процессы моделирования и симуляции РТК с учетом рисков.

1. Начальная стадия – подготовка модели для симуляции включает следующие процессы и риски.

1.1. Выбор метода и критериев оценки параметров модели:

а) риск использования неудачного или неподходящего метода оценки;

б) риск упущения существенного критерия оценки;

в) риск отсутствия на данной стадии работ информации, существенной для выбора значимых критериев.

1.2. Определение и оценка параметров модели, являющихся ключевыми для результатов симуляции:

а) риск упущения ключевого параметра модели;

б) риск неправильной оценки ключевого параметра модели;

в) риск отсутствия на данной стадии работ информации, существенной для выявления ключевых параметров модели.

1.3. Выбор модели среди близких вариантов:

а) риск выбора неподходящей или бесперспективной модели;

б) риск неполноты перечня выбираемых моделей.

1.4. Оценка совместимости модели со средой симуляции, а так же с другими использующимися моделями:

а) риск использования модели имеющей потенциальные проблемы с реализацией в используемой программной среде;

б) риск несовместимости используемых моделей.

1.5. определение необходимости коррекции используемой модели;

а) риск неправильного направления коррекций используемой модели;

б) риск ухудшения параметров модели в результате коррекций.

1.6. Адаптация используемой модели для учета имеющиеся особенности или создание новой.

а) риск неправильного адаптирования используемой модели;

б) риск ошибочного решения о разработке новой модели.

Риски данной стадии сильно зависят от квалификации исследователей и могут быть частично скомпенсированы за счет возврата со следующей стадии исследований с новыми и уточненными в ходе симуляций сведениями.

2. Основная стадия – проведение симуляции.

2.1. Проведение первичных циклов симуляции, оценка степени пригодности моделей, адекватности измеренных ключевых параметров выбранным критериям оценки и поставленным вопросам симуляции:

а) риск неправильной оценки степени пригодности модели;

б) риск неполноты перечня собираемых данных.

2.2. Проведение основных циклов симуляции с выбранными вариациями условий, оценка полученных результатов, накопление необходимой массы параметров статистики:

а) риск неправильной рабочей оценки полученных результатов и выбора направления экспериментов;

б) риск недостаточной детализации собираемых данных.

2.3. Верификация полученных результатов натурными экспериментами в части, доступной для текущих возможностей:

а) риск неправильного выбора верифицирующей натурной системы;

б) риск неправильного выбора полигона или набора натурных испытаний для верифицирующей системы.

3. Оценка и использование результатов.

3.1. Статистическая обработка накопленных материалов, выбор адекватных весовых и настроечных коэффициентов оценки для используемого метода:

а) риск упустить значимый тренд при оценке;

б) риск чрезмерного фокусирования на анализе одних параметров, в ущерб другим.

3.2. Анализ и обоснование выбора значений ключевых параметров и свойств моделируемых РТК, дающих наилучший результат в заданных условиях:

а) риск недооценки влияния вторичных параметров;

б) риск недооценки синергетического влияния отобранных свойств РТК.

3.3. Выявление критических (предельных) условий функционирования для РТК, имеющих параметры и свойства, выбранные по результатам анализа симуляции:

а) риск недооценки синергетического влияния условий функционирования РТК на отдельные компоненты моделируемой системы;

б) риск упущения критического условия (сочетания условий) для функционирования системы.

3.4. Оценка достижимости выбранных ключевых параметров и свойств моделируемых РТК в реальности:

а) риск недооценки влияния человеческого фактора оператора РТК;

б) риск недооценки реальных свойств моделируемых компонентов РТК.

4. Общие проблемы.

4.1. Обеспечение полноты, качества и корректной интерпретации исходных данных, необходимых для построения соответствующей составляющей модели, является крайне сложной. Характерной особенностью является задействование большого количества разнородных специалистов (компетенций). Это, в свою очередь, обусловливает ряд дополнительных рисков:

а) риски построения единой среды общения, необходимой для формализации используемых приемов работы;

б) риски в организации эффективной работы большого числа разнородных специалистов проектной команды;

в) риски интеграции данных от всех исполнителей в единую модель и дальнейшего выявления возможных причин отклонений от ожидаемого результата.

4.2. Проблема учета и порядка (включая приоритеты и последовательность) исполнения требований разнопрофильных групп заказчика:

а) риски неправильной расстановки приоритетов;

б) риски конфликтов команд при расстановке.

4.3. Проблема смены руководителей у заказчика, участвующих в проекте. В силу исключительно важной роли лиц, принимающих решения в постановке задач на моделирование и симуляцию, смена ключевых лиц в проекте имеет следующие риски:

а) риск пересмотра качества и полноты результатов работ, либо проведение дополнительных экспертиз и презентаций по реализованным этапам проекта;

б) риск внесения поздних изменений в постановки задач и условия по моделированию и симуляции РТК;

в) риск изменения порядка работ, включая корректировку базовых приоритетов;

г) риск изменения мест и масштаба симуляции модели.

Изначальная мотивация исполнителя на частые коррекции, которые должны будут вноситься в модели по ходу симуляции, позволит минимизировать претензии заказчика к качеству модели и, в итоге, конечного реального РТК. Данные изменения могут быть связаны как с выяв-

лением некорректности представления процессов, так и с необходимостью учета изменений в симулируемом порядке применения РТК.

4.4. Типичные проектные риски в отношении моделирования и симуляции могут быть связаны с:

а) неполнотой охвата исходных условий;

б) недостаточным уровнем детализации;

в) недостаточным уровнем чувствительности моделей;

г) неполнотой функциональных средств анализа;

д) неправильным отражением логики взаимодействия компонентов РТК;

е) неправильным отражением окружения РТК и оператора;

ж) «недружелюбностью» человеко-машинного интерфейса.

Для минимизации рисков применительно к созданию модели сложной системы с большим количеством операторов и РТК требуются специализированные средства тестирования, которые обеспечивают:

1) нагрузочное решение при работе в многопользовательском режиме;

2) «прогон» модели по максимально возможному количеству входных ситуаций (желателен перебор всех ситуаций);

3) различные сочетания использования разработанного прикладного функционала.

4.5. Риски, связанные с таким явлением как «паралич» детализации. Стремление охватить моделью все элементы и процессы с максимально возможной подробностью может привести к проблемам как для исполнителя, так и для заказчика. Слишком детальная и чувствительная модель может оказаться дорогой и неудобной. Дорогой – поскольку потребуются значительные ресурсы не только на ее создание, но и на симуляцию. Неудобной – потому что будет реагировать на малозначимые изменения исходных данных, существенными вариациями выходных параметров, отвлекая внимание и создавая угрозу пропуска действительно важных событий. Избыточный уровень детализации приводит к распылению ресурсов, происходит втягивание заказчика и исполнителя в нескончаемый процесс получения и согласования исходных данных.

В другом случае, противоположном «параличу» детализации, происходит завышение уровня абстракции моделей. Упрощение модели сверх меры может привести к тому, что создаваемые с ее использованием проекты РТК невозможно будет верифицировать и реализовать на практике.

Выводы

Риски, связанные с моделью, существуют не только на этапе разработки, но и на этапе внедрения, использования и развития РТК.

Используемая модель всегда находится в состоянии изменения, настолько активного, насколько сильны объективные изменения моделируемых условий функционирования РТК.

Литература

1. Строгалев В.П., Толкачева И.О. Имитационное моделирование. М.: МГТУ им. Баумана, 2008. 737 с.

2. Умников Е.В., Грачев В.А., Мурашов А.Г. Концепция многоцелевого виртуального робототехнического полигона / Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления»; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ. Т. 2, 2016.

3. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с.

4. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., испр. М.: Академия, 2008. 268 с.

5. Грей К.Ф., Ларсон Э.У. Управление проектами: практическое руководство. М.: Дело и сервис, 2003. 579 с.

УДК 37.012

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОСПРОИЗВОДСТВА КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF REPRODUCTION OF HIGHLY QUALIFIED PERSONNEL IN HIGHER EDUCATION

Виктор Васильевич Блаженков
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 117997, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7(499)706-81-25

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
В статье рассматривается алгоритм оптимизации параметров марковской модели воспроизводства кадров высшей квалификации в высшей школе, реализованный на языке MathCAD. Приводятся результаты апробации этого алгоритма.
Ключевые слова: марковские процессы, оптимизация, научные кадры, воспроизводство

Summary
The article deals with the algorithm for optimizing the parameters of the Markov model of reproduction of higher-level personnel in higher education, implemented in the language of MathCAD. Approbation results of this algorithm are given.
Keywords: Markov processes, optimization, scientific personnel, reproduction

Одной из главных задач обеспечения экономического развития страны является подготовка кадров высшей квалификации. Сложившаяся в настоящее время кадровая ситуация характеризуется сокращением притока в науку молодых ученых (доля ученых 27-40-летнего возраста составляет не более 30%) и старением действующих научных кадров (около 50% ученых перешагнули пятидесятилетний рубеж) [1]. А в условиях негативного демографического прогноза задача воспроизводства кадров высшей квалификации в высшей школе становится все более актуальной.

Процесс воспроизводства кадров высшей квалификации охватывает все уровни высшего образования и может быть представлен графовой моделью (*рисунок 1*), легко получаемой из обобщенной графовой модели воспроизводства научных кадров [2]. Состояния и переходы предлагаемой графовой модели имеют очевидное смысловое содержание. Отметим лишь, что участник процесса воспроизводства проходит индивидуальную траекторию из начальных состояний 1 «Обучение на бакалавра» или 2 «Обучение на специалиста» до больше всего нас интересующих состояний 11 «Научно-педагогическая деятельность (НПД) после аспирантуры» и 14 «НПД кандидата наук».

Учитывая случайный характер параметров, характеризующих систему воспроизводства кадров высшей квалификации, для ее моделирования можно использовать (при соблюдении некоторых ограничений, в частности, по экспоненциальности потоков событий) апробированный математический аппарат теории марковских процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем, позволяющий вычислить вероятности P_i нахождения участника процесса в i-ых состояниях из системы уравнений А.Н. Колмогорова (для стационарного режима) [3]:

$$-\sum_{j=1}^{N} a_{ij} \cdot P_i + \sum_{j=1}^{N} a_{ji} \cdot P_j = 0, \qquad (1)$$

с учетом нормировочного условия

$$\sum_{j=1}^{N} P_j(t) = 1, \qquad (2)$$

где N – число состояний;

a_{ij} – интенсивность перехода из i-го в j-е состояние, вычисляемая как

$$a_{ij} = \frac{p_{ij}}{\mu_i}, \qquad (3)$$

где μ_i – безусловное среднее время пребывания в i-ом состоянии;

p_{ij} – вероятность перехода из i-го состояния в j-е состояние.

Путем корректировки параметров μ_i и p_{ij} (что равносильно корректировке времен нахождения участников процесса в определенных состояниях и объемов потоков участников процесса, выходящих из этих состояний) мы можем добиться достижения необходимых значений P_i.

Но будет ли эта корректировка оптимальной? Для ответа на этот вопрос воспользуемся алгоритмом Р.Ховарда [4], являющимся вариантом динамического программирования для марковских моделей.

Методика оптимизации параметров марковских моделей достаточно подробно изложена в работе [5]. Отметим лишь, что исходными данными для решения задачи оптимизации являются число N возможных состояний системы, число K вариантов параметров марковских моделей, матрица $A^{(K)}$ интенсивностей переходов, характеризующая интенсивность перехода из i-го состояния в j-е состояние при выборе K-го варианта и составляемая для каждого состояния и аналогичная матрица $Д^{(K)}$ доходов.

Определение интенсивностей переходов a_{ij} и соответственно составление матрицы интенсивностей переходов $A^{(K)}$ не вызывает особых затруднений [2, 5], а вот составление матрицы доходов $Д^{(K)}$ требует пояснений.

Прежде всего каждому состоянию и переходу марковской модели (*рисунок 1*) необходимо поставить в соответствие некоторую величину доходов (затрат), приносимых участниками процесса воспроизводства кадров высшей квалификации как при нахождении в каждом возможном состоянии d_{ii} и при совершении переходов из них d_{ij}. Нетрудно видеть, что в процессе воспроизводства кадров имеют место как затраты на их подготовку, так и доходы, приносимые кадрами в результате своей последующей деятельности (или наоборот потери, если кадры работают не по специальности).

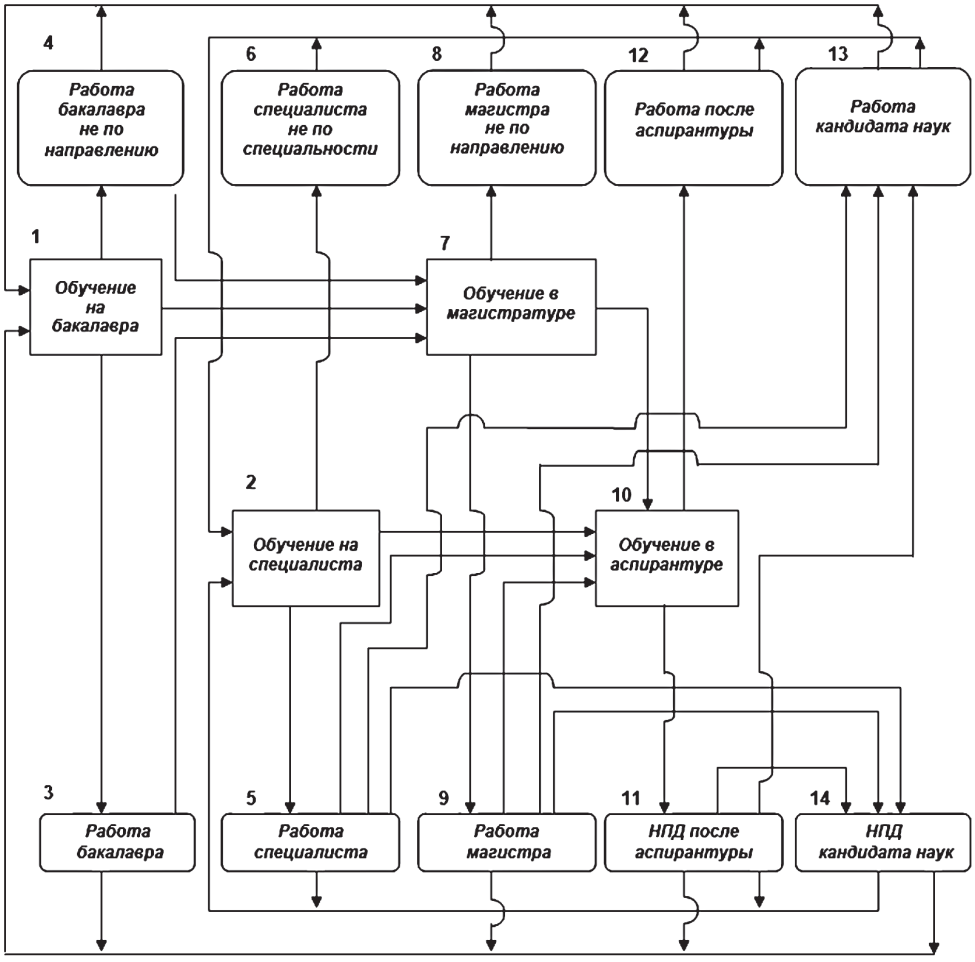


Рис. 1. Графовая модель воспроизводства кадров высшей квалификации в высшей школы

Как же оценить эти доходы и потери?

С точки зрения соотнесения затрат и получаемого результата выделяют две составляющие эффективности подготовки кадров выс-

Таблица 1
Исходные данные по переходам

Переход	Варианты значений							
	pij		μ_{ij}, год		a_{ij}, 1/год		d_{ij}, у.е.	
1-3	0,4	0,6	4	4	0,100	0,150	-9,60	-9,60
1-4	0,2	0,2	4	4	0,050	0,050	-9,60	-9,60
1-7	0,4	0,2	4	4	0,100	0,050	-9,60	-9,60
2-5	0,4	0,4	5	5	0,080	0,080	-1,80	-1,80
2-6	0,4	0,4	5	5	0,080	0,080	-1,80	-1,80
2-10	0,2	0,2	5	5	0,040	0,040	-1,80	-1,80
3-1	0,3	0,5	38	43	0,008	0,012	-7,60	-8,60
3-7	0,7	0,5	2	2	0,350	0,250	0	0
4-1	0,3	0,5	38	43	0,008	0,012	-5,70	-6,45
4-7	0,7	0,5	2	2	0,350	0,250	0	0
5-2	0,6	0,5	37	42	0,016	0,012	-8,51	-9,66
5-10	0,2	0,2	4	4	0,050	0,050	0	0
5-13	0,1	0,1	7	12	0,014	0,008	0	0
5-14	0,1	0,2	7	12	0,014	0,017	0	0
6-2	1,0	1,0	37	42	0,027	0,024	-6,29	-7,17
7-8	0,2	0,1	2	2	0,100	0,050	-9,60	-9,60
7-9	0,6	0,6	2	2	0,300	0,300	-9,60	-9,60
7-10	0,2	0,3	2	2	0,100	0,050	-9,60	-9,60
8-1	1,0	1,0	35	40	0,029	0,025	-7,00	-8,00
9-1	0,5	0,4	35	40	0,014	0,010	-9,10	-10,40
9-10	0,2	0,3	3	3	0,067	0,100	0	0
9-13	0,1	0,1	8	8	0,012	0,012	0	0
9-14	0,2	0,2	8	8	0,025	0,025	0	0
10-11	0,8	0,6	3	3	0,267	0,200	-1,80	-1,80
10-12	0,2	0,4	3	3	0,067	0,133	-1,80	-1,80
11-1	0,5	0,3	32	37	0,016	0,008	-10,56	-12,21
11-2	0,2	0,2	31	36	0,006	0,005	-10,23	-11,88
11-13	0,1	0,1	4	4	0,025	0,025	0	0
11-14	0,2	0,4	4	4	0,050	0,010	0	0
12-1	0,6	0,8	32	37	0,019	0,022	-8,00	-9,25
12-2	0,4	0,2	31	36	0,013	0,006	-7,75	-9,00
13-1	0,6	0,8	29	34	0,021	0,024	-8,70	-10,20
13-2	0,4	0,2	28	33	0,014	0,006	-8,40	-9,90
14-1	0,6	0,8	29	34	0,021	0,024	-11,60	-13,60
14-2	0,4	0,2	28	33	0,014	0,006	-11,20	-13,20

шей квалификации: внутреннюю и внешнюю [6]. Под внутренней составляющей понимается отношение количественных параметров увеличения научной продукции (статей, монографий, патентов и т.п.), выпуска специалистов с ученой степенью к затратам на достижение данного эффекта. Внешняя составляющая эффективности отражает социально-экономические последствия ее функционирования как результат, который распространяется на все общество, в сопоставлении с затратами на его получение. При таком подходе результат – повышение уровня жизни всего населения, затраты – расходы на сферы, инвестирующие в человеческий капитал: образование, науку, здравоохранение и т.д. Рассматривая внешнюю эффективность образования, мы убеждаемся, что она отражает его влияние на рост производительности труда и темпы развития производства в целом, на рост национального дохода.

Таблица 2
Доходы в состояниях

Состояние	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
dii, у.е./год	-10	-12	50	25	75	35	-15	80	100	-25	125	100	350	700

В таком случае результаты образования могут определяться эффективностью труда выпускников, которая в свою очередь может измеряться, к примеру, объемом заработанной платы, получаемой ими в послеучебный период, или доходом, получаемым выпускниками в течение жизни (пожизненным заработком).

В работе [7] на основе регрессионного анализа сделан вывод о линейной зависимости пожизненного заработка от средних издержек на обучение (или другими словами – от уровня образования). Используя полученные линейные регрессионные зависимости (более точные регрессионные зависимости приведены в работах [8, 9]), а также методику оценки затрат на подготовку кадров [10, 11], можно с некоторым приближением рассчитать как доходы (потери) в возможных состояниях нашей модели (*рисунок 1*), так и при совершении переходов. Учитывая, что мы прежде всего хотим найти оптимальный вариант параметров модели (не ставя задачи определения стоимостного выигрыша), доходы будем вычислять в относительных (условных) единицах. Рассмотрим состояния и переходы модели, которые приносят доходы или потери.

Состояния 1,2,7,10 характеризуются затратами на обучение; состояния 4,6,8,12,13 – потерями от работы не по специальности; состояния 3,5,9 – доходами, приносимыми от работы по специальности; состояния 11,14 – доходами, приносимыми в результате НПД.

При совершении переходов 4-1, 6-2, 8-1, 12-1, 12-2, 13-1, 13-2 и 3-1, 5-2, 9-1, 11-1, 11-2, 14-1, 14-2 будем иметь потери от завершения трудовой деятельности участника процесса воспроизводства и его выхода на пенсию, пропорциональные пожизненному заработку, в виде пенсионного обеспечения. Заметим, что именно эти переходы обеспечивают эргодичность системы, которая освобождаясь от «выбывшего» участника, готова принять на освободившееся место очередного участника.

Потери при переходах после окончания обучения 1-3, 1-4, 1-7, 2-5, 2-6, 2-10, 7-8, 7-9, 7-10, 10-11, 10-12 можно трактовать как неполученные доходы, пока обучающийся не мог полноценно трудиться.

И еще о двух группах переходов. Первая – 3-7, 4-7, 5-10 и 9-10, характеризуется затратами на поступление в вуз, вторая – 5-13, 5-14, 9-13, 9-14, 11-13, 11-14 – потерями на написание диссертации и ее защиту. Но сразу оговоримся, что эти потери малы по отношению к ранее рассмотренным, и при апробации алгоритма оптимизации Р.Ховарда мы ими пренебрежем.

Отметим одну деталь: различные размерности доходов в состояниях и при совершении переходов. Так, находясь в различных состояниях, участник процесса воспроизводства приносит доход в размере d_{ii} условных единиц в единицу пребывания в i-ом состоянии, а при совершении переходов – в размере d_{ij} условных единиц.

Теперь в соответствии с методикой оптимизации параметров марковских моделей [5] представим исходные данные в виде *таблиц 1 и 2*.

Реализовав на языке MathCAD [12] алгоритм оптимизации Р.Ховарда, процесс из 27 вариативных направлений сошелся к оптимальному решению за 2 итерации, что потребовало 11 секунд машинного времени. При этом полученный эффект равносилен полному перебору вариантов.

Какие выводы можно делать, анализируя параметры оптимального варианта при выбранных исходных данных? В качестве примера отметим, что наибольшая вероятность пребывания (т.е. доля времени из всего рассматриваемого интервала) отвечает 5-му и 14-му состояниям, т.е. работе специалиста по профилю подготовки (0,193) и научно-педагогической деятельности кандидата наук (0,191). В абсолютном исчислении это соответствует несколько более 8 лет работы в каждом из состояний. Любопытно, что оптимальный вариант содержит примерно в 9 раз большую долю подготовки специалистов по сравнению с бакалаврами (0,393 против 0,044), хотя затратность подготовки специалистов выше и по стоимости, и по времени. А работа не по профилю подготовки в оптимальном варианте нежелательна (вероятности 4-го, 6-го, 8-го и 12-го состояний чрезвычайно малы, порядка нескольких тысячных), хотя в этих состояниях все же учитывается довольно значительная доходность.

Для исследования чувствительности модели к изменению стоимостных характеристик повысим доходность состояния 14 – научно-педагогической деятельности кандидата наук с 700 у.е./год до 1500 у.е./год (см. *таблицу 2*), оставив

остальные значения параметров в исходных данных без изменений, и решим задачу оптимизации. Результаты решения показывают, что почти все оптимальные параметры не изменились, за исключением среднего дохода: он увеличился почти вдвое, что является логичной реакцией на увеличение более чем вдвое доходности 14-го состояния. Однако резкое увеличение доходности 14-го состояния не перетянуло процесс управления в свою сторону, оптимальное решение оказалось устойчивым.

Таким образом, результаты апробации подтверждают адекватность нашей модели и работоспособность алгоритма Р.Ховарда. Но мы понимаем, что при построении марковской модели воспроизводства кадров высшей квалификации были приняты достаточно серьезные допущения, и для подтверждения достоверности получаемых результатов целесообразно осуществить решение поставленной задачи с использованием математического аппарата теории полумарковских процессов [13], который не требует столь жестких допущений, а также с помощью имитационного моделирования [14, 15]. Один из подходов к построению имитационных моделей системы образования изложен в работе [16].

Литература

1. Научный потенциал вузов и научных организаций Министерства образования и науки Российской Федерации: Аналитический сборник. СПб: ФГНУ «СЗНМЦ», 2013.

2. Тараброва И.Н. Марковские модели воспроизводства научных кадров высшей квалификации // Известия Института инженерной физики, 2014. №4(34). С. 106-114.

3. Емелин Н.М. Марковские модели – простота и изящество // Известия Института инженерной физики, 2015. №2(36). С. 47-51.

4. Ховард Р.А. Динамическое программирование и марковские процессы. М: Сов. радио, 1964. 189 с.

5. Емелин Н.М. Анализ и синтез систем обеспечения надежности информационно-управляющих систем (марковский подход) // Известия Института инженерной физики, 2015. №4(38). С. 3-9.

6. Бедный Б.И., Серова Т.В. Оценка эффективности подготовки научных кадров в аспирантуре. Нижний Новгород: НГУ им. Лобачевского, 2012.

7. Дегтева О.А. Инвестирование в высшее образование как фактор развития социально-экономических систем. М: ГАСИС, 2007.

8. Гилева О.А. Анализ отдачи инвестиций в человеческий капитал на примере образования в России. М: ГУ-ВШЭ, 2006.

9. Антоненко В.В. Региональная оценка эффективности инвестиций в образование. М: Региональная экономика: теория и практика, 2013, №9 (288).

10. Беляков С.А. Лекции по экономике образования. М: ГУ-ВШЭ, 2002. 338 с.

11. Виноградова Е.Б., Мудрова Е.Б. Система оценки организационного подхода подготовки аспиранта за счет бюджетных средств. СПб: Проблемы современной экономики, 2008. №3 (27).

12. Блаженков В.В. Система численных и аналитических вычислений (MathCAD). М: ВА РВСН, 2004.

13. Блаженков В.В. Введение в прикладную теорию полумарковских моделей эксплуатации сложных систем. М: МО СССР, 1979.

14. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М: Мир, 1978. 420 с.

15. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М: Наука, 1978. 400 с.

16. Кадченко С.И., Лисьев Г.А., Попова И.В. Технологии поддержки принятия решений. Магнитогорск: Магнитогорский ГУ, 2009.

УДК 338.465.4: 37.072

МЕСТО РОССИИ В МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

RUSSIA IN THE INTERNATIONAL EDUCATION SYSTEM

Дмитрий Владимирович Сивоплясов
кандидат технических наук, доцент
начальник учебно-методического отдела
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)35-78-20
E-mail: dimasiv77@rambler.ru

Галина Петровна Мосягина
кандидат педагогических наук
заместитель директора по УВР МОУ СОШ №2
Адрес: 356800, Ставропольский край,
г. Будённовск, микрорайон 1
Тел. +7 (86559) 3-29-60
E-mail: galinapetrovna52@rambler.ru

Светлана Юрьевна Сивоплясова
кандидат экономических наук, доцент
доцент кафедры
ФГБОУ ВО «Московский
авиационный институт»
(Национальный исследовательский
университет)
УЦ «Интеграция»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов ул. Октябрьская, д. 21
Тел.: +7 (4967) 35-25-38
E-mail: svetlankamos84@rambler.ru

Аннотация

Статья посвящена определению роли и места России в международной системе образования. Представлено определение понятия международная система образования. Проанализированы особенности систем высшего образования в разных странах мира. Выявлено, что Россия, являясь привлекательной для иностранных студентов страной, занимает одно из ведущих мест в международной системе образования. Установлено, что, несмотря на стремление государств к унификации национальных систем высшего образования, формирование единого мирового образовательного пространства в ближайшей перспективе представляется вряд ли возможным.

Ключевые слова: международная система образования, унификация, Болонский процесс, образовательная миграция, Россия.

Summary

This article is devoted to definition of the role and place of Russia in the international education system. There is the definition of international education system. Peculiarities of higher education systems in different countries are analyzed. It was revealed that Russia, being attractive to foreign students, occupies one of leading places in the international education system. It is established that states attempt o harmonise national systems of higher education. But, at the same time, the formation of a unified world educational space seems unlikely in the near future.

Keywords: international education system, unification, Bologna process, educational migration, Russia.

Образование является важнейшей сферой жизни современного общества. Без него невозможно представить будущее любой страны и мира в целом. Для сохранения и укрепления лидирующих позиций в существующем многополярном мире государству требуются постоянные инвестиции в развитие образования.

Такие инвестиции имеют ряд особенностей:

- во-первых, они всегда имеют стратегический характер, это вложения в будущее;
- во-вторых, несмотря на то, что срок окупаемости этих инвестиций довольно длительный, они являются эффективными;
- в-третьих, эти вложения позволяют повысить качество населения страны, а это, в свою очередь, залог развития государства и повышение его статуса на международной арене.

Удивительным является тот факт, что далеко не во всех странах образование является приоритетной сферой жизнедеятельности. Вместе с

тем, ведущие развитые страны выстраивают свои системы образования таким образом, чтобы обеспечивалось его наивысшее качество. При этом, осознавая важность повышения качества образования, различные страны формируют разные системы образования, общая совокупность которых составляет международную систему образования.

Современной тенденцией в международной системе высшего образования является стремление стран к ее унификации. Так, европейскими странами в конце 1990-х годов был инициирован Болонский процесс, направленный на создание единого образовательного и научного пространства. Болонской декларацией 1999 года предусматривалось введение сравнимых квалификаций, реализация двухуровневой системы высшего образования – бакалавриат и магистратура, определение трудоемкости образовательных программ в зачетных единицах, внедрение единых образцов документов об образовании, развитие мобильности студентов, преподавателей и административно-управленческого персонала, обеспечение сопоставимого качества образования в странах-участницах [4].

Сегодня можно выделить несколько европейских стран, образовательные системы которых признаны ведущими. К ним относятся Великобритания, Германия, Франция, Россия.

Образовательная система Великобритании является одной из старейших, а английские университеты – престижнейшими образовательными учреждениями в мире. В некоторых англоязычных странах система образования построена по ее образцу (ярким исключением является США).

Отличительной особенностью английской образовательной системы является отсутствие единых образовательных стандартов. Для обучения в вузе и получения высшего образования желающие обязаны пройти обучение в старших классах по подготовительной программе A-level в течение двух лет (12-13 классы) или после окончания колледжа.

Несмотря на то, что английское высшее образование считается одним из лучших в мире, только четверть английских школьников стремятся его получить [10]. Вероятно, это связано с высокой стоимостью обучения. Вместе с тем, среди иностранных абитуриентов оно пользуется высоким спросом. Так, из 2,6 млн. студентов, обучающихся в вузах Великобритании, 16,4% составляют иностранцы. Абитуриенты из России также проявляют повышенный интерес к обучению в этой стране, особенно в Оксфорде и Кембридже. Если с 2002 по 2004 год в английских вузах по программам бакалавриата обучалось около 1,0 тыс. студентов из России, то в 2014-2015 гг. их число достигло 2,6 тыс. человек, а за первый квартал 2017 года образовательные визы получили 2,4 тыс. россиян [9].

Немецкое образование также высоко котируется во всем мире. Его отличает высокое качество и возможность бесплатного обучения, как для граждан страны, так и для иностранцев. Для тех, кто хочет поступить в вуз, обязательным является обучение в 11 и 12 классах гимназии. Обучение в 13-м классе является подготовительным курсом. Иностранные абитуриенты могут начать обучение по программам бакалавриата или магистратуры, обязательно сдав языковой экзамен.

Высшее образование студенты Германии получают в трех типах вузов: классических университетах, которые готовят специалистов в области фундаментальных наук, политехнических институтах и частных вузах, которые немногочисленны и ориентированы на конкретные дисциплины и специальности, необходимые для промышленных предприятий страны [13].

Обучение в Германии очень популярно среди российской молодежи. По данным Министерства образования ФРГ в 2017 году в Германии обучалось около 18,0 тыс. студентов из России, что составило около 5% от общего числа иностранцев. Данное число превышают только студенты из Китая и Индии (13% и 6% от общего числа иностранных студентов, соответственно).

Следует отметить, что численность иностранных студентов в Германии постоянно увеличивается. За последние десять лет она выросла на 37% и составила в 2017 году более 355,0 тыс. человек. Этому во многом способствуют меры государственной миграционной политики, направленные на стимулирование притока иностранных студентов в страну. Ожидаемый эффект от данных мер носит не только экономический характер (например, приток денежных средств в вузы, увеличение размера собранных налогов и т.д.), но и демографический (сокращение негативного эффекта, вызванного колебаниями показателей рождаемости в стране) [16].

Интересным представляется опыт построения образовательной системы высшего образования во Франции. Ее отличительной особенностью является то, что она предполагает скорее не университетское обучение, а получение специализированных знаний.

Правом поступления в высшие образовательные учреждения страны обладают выпускники лицеев – особых образовательных учреждений, в которых французские школьники обучаются на заключительном этапе среднего образования. Лицеи делятся на три типа: общие, техно-

логические и профессиональные. Однако, окончание только первых двух позволяет выпускникам поступать в вуз. Важной особенностью образовательной системы Франции является то, что степень бакалавра получают школьники по окончании именно лицея. Таким образом, во Франции диплом бакалавра не является документом о высшем образовании, а удостоверяет наличие среднего образования [11].

Система высшего образования Франции представлена университетами, технологическими школами при них и высшими школами. Обучение в вузе состоит из трех этапов (циклов).

Первый цикл длится 3 года и предполагает обучение по одному из двух направлений: исследовательскому или профессиональному. Первое направление позволяет в дальнейшем продолжить обучение на магистерских программах, второе – вести профессиональную деятельность. По окончании студент получает диплом лицензиата.

Второй цикл продолжается 2 года. Обучение проводится также по двум направлениям – исследовательскому и профессиональному. Первое направление выбирают студенты, планирующие дальнейшее обучение в докторантуре [2].

Французская система образования начала формироваться еще в XIX веке. И в течение всего этого периода обучение во Франции считалось очень престижным. В настоящее время страна занимает третье место в мире по числу иностранных студентов, уступая только США и Великобритании. Численность иностранцев составляет около 300 тыс. человек. Подавляющее большинство – это выходцы из стран Африки. Наиболее многочисленна группа марокканцев – 12% от общего числа иностранных студентов.

Российские студенты довольно часто выбирают французские университеты в качестве места обучения. Общее число наших соотечественников, получающих образование во Франции, превышает 5 тыс. человек [7]. Их привлекает географическая близость государства, невысокая стоимость обучения, и, пожалуй, та романтика, которой окутан образ страны в сознании россиян.

Помимо рассмотренных европейских государств лидирующие позиции в мировой образовательной системе занимают США, Япония и Китай.

Американская система высшего образования считается одной из самых лучших в мире. Она популярна среди абитуриентов во всех странах. Отличительной особенностью образовательной системы США, также как и Великобритании, является отсутствие единых образовательных стандартов. Они разрабатываются на уровне штатов.

Окончив 12 классов школы, молодые люди могут поступить в колледж или вуз. В вузах студенты учатся четыре года и получают степень бакалавра. Степень бакалавра можно также получить, проучившись дополнительно два года после колледжа. Далее можно продолжить обучение в магистратуре, где студент приобретает узкоспециализированные знания по определенным направлениям. Как правило, магистерскую программу выбирают близкую к направлению подготовки бакалавриата [5].

Следует отметить, что школьное образование в США имеет сравнительно низкое качество. Поэтому молодежь из других стран приезжает в страну получать именно высшее и послевузовское образование. Причем, несмотря на высокую стоимость обучения (около 15-35 тыс. долл. в год), США является лидером по приему иностранцев в вузы. Так, по данным на 2016 год в стране обучалось более 1 млн. иностранных студентов. При этом, в 2015-2016 учебном году их число увеличилось на 7,1% по сравнению с предыдущим учебным годом. Вместе с тем, несмотря на столь высокие абсолютные значения, доля иностранцев среди студентов относительно невелика – около 5%. Наиболее многочисленные группы студентов, обучающихся в США, приехали из Китая, Индии и Саудовской Аравии. Суммарно их доля составляет 53% от общего числа иностранных студентов.

Для российских студентов США является довольно популярным направлением для получения образования. Численность россиян в американских вузах превышает 5 тыс. человек. Однако, в относительных значениях их доля невелика – 0,5% от общего числа иностранных студентов [15].

Своего рода уникальной является практика построения системы образования в Японии. Ее целью является высокая социализация населения и сохранение национальных традиций.

В стране функционируют несколько типов высших образовательных учреждений: технологические колледжи (в них принимают выпускников после девятого класса), специализированные колледжи на базе среднего образования, неполные двухгодичные колледжи (в них чаще всего обучаются девушки), университеты и аспирантуры. Технологические колледжи нередко курируются крупными компаниями. Степень бакалавра можно получить в университете, а степень магистра – университете или аспирантуре. Учеба на первом уровне (бакалавриате) длится четыре года, на втором (магистратуре) – еще два. По окончании магистратуры выпускник имеет возможность поступить в докторантуру и, сдав экзамены и защитив диссертацию, получить ученую степень доктора наук [8].

Расходы на обучение в Японии относительно невелики (по сравнению с США и Великобританией) – 5-11 тыс. долл. в год. Однако, иностранных студентов в этой стране немного, около 5 тыс. человек. Причин такой низкой образовательной мобильности несколько: во-первых, строгое миграционное законодательство и административные сложности миграции; во-вторых, сложный язык, а для поступления в вуз необходимо сдать языковой экзамен; в-третьих, численность иностранных студентов в стране резко сократилась после цунами, вызвавшего ядерный кризис, связанный с разрушениями на АЭС Фукусима в 2011 году. Наиболее многочисленную группу иностранцев, обучающихся в японских вузах, составляют студенты из Китая (около 20% от всех иностранных студентов), далее следуют США и Таиланд. Студентов из России крайне мало [6].

Трансформация международных геополитических отношений последних лет порождает особый интерес к образовательной системе Китая. В настоящее время обучение в этой стране не так престижно, как, например, в США или европейских странах. Однако, высокие темпы развития государства и невысокая стоимость обучения открывают широкие возможности для выпускников китайских вузов, в том числе иностранцев, владеющих китайским языком.

Отличительной особенностью образовательной системы Китая является высокий уровень контроля со стороны государства, даже в отношении частных образовательных учреждений. В стране реализуются единые образовательные стандарты на всех уровнях образования.

Высшее образование в Китае построено по международным образцам. Выпускники школ после сдачи экзаменов в 12 классе имеют возможность поступить в вуз. В стране функционируют как государственные, так и частные высшие учебные заведения. В некоторые из них принимают иностранцев на платной основе. Плата составляет менее 5 тыс. долл. в год. Вместе с тем, Правительство Китая выделяет гранты для студентов из других государств на получение образования в стране [3].

Обучение в Китае довольно популярно среди иностранцев. Так, рост числа иностранных студентов с 2003 по 2015 года составил более 300 тыс. человек и достиг в 2015 г. 397,6 тыс. человек, из них 4,1% составляли российские граждане (16,1 тыс. человек). Интересно отметить, что большинство студентов из России обучалось на лингвистических специальностях, предусматривающих изучение китайского языка. Вместе с тем, несмотря на высокую образовательную иммиграцию в Китай, страна остается нетто-экспортером студентов для всего мира [14].

Образовательная система Российской Федерации в постсоветский период претерпела существенные изменения. С целью активного включения страны в международную образовательную систему, поиска ниши на европейском рынке образовательных услуг Россия в 2003 году присоединилась к Болонскому процессу. Как и следовало ожидать, процесс реформирования системы образования государства сегодня сопровождают и сторонники, и противники.

В поисках компромисса между традиционной школой высшего образования и принятой в Болонской декларации системой в России сегодня установлены уровни высшего образования – бакалавриата, специалитета и магистратуры, подготовки кадров высшей квалификации.

Поступить в вузы страны для обучения по программам бакалавриата или специалитета сегодня можно, получив среднее общее образование (окончив 11 классов средней школы) и сдав Единый государственный экзамен (ЕГЭ) по обязательным и профильным дисциплинам или получив среднее профессиональное образование и пройдя внутренние вступительные испытания в вузе. Для наиболее престижных вузов страны, например, Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, установлено право приема студентов по результатам ЕГЭ и проведения внутренних вступительных испытаний. Студенты могут обучаться в вузах как на бюджетной, так и на платной основе.

Обучение по программам магистратуры возможно после успешного окончания бакалавриата или специалитета, а по программам подготовки кадров высшей квалификации – специалитета или магистратуры [1].

При условии реализации основных образовательных программ объемом 60 зачетных единиц в год, срок обучения по программам бакалавриата составляет 4 года, магистратуры – 2 года, специалитета – 5 лет, подготовки кадров высшей квалификации – 3 года. Отдельными федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования – специалитета предусмотрен срок обучения 5,5 лет (330 зачетных единиц). Следует отметить, что в последние годы в отдельных вузах наметилась тенденция реализации ускоренного обучения по программам специалитета. При этом объем образовательной программы в год увеличивается до 75 зачетных единиц, а срок обучения сокращается до 4 лет.

Предпринимаемые Российской Федерацией шаги по включению в международную си-

стему образования привели, с одной стороны, к определенным успехам, с другой – не вполне оправдали ожидания реформаторов. Вместе с тем, Россия остается привлекательной страной для иностранных студентов. Согласно данным ЮНЕСКО (Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры), по численности обучающихся иностранных граждан наша страна занимает седьмое место в мире после США, Великобритании, Австралии, Франции, Германии, и Канады [12]. Общая численность иностранных студентов в стране составила 242,5 тыс. человек в 2015-2016 учебном году.

На протяжении последних двадцати лет отмечается устойчивая положительная динамика численности иностранных студентов в России. Некоторый спад произошел лишь в 2000/2001 и 2005/2006 учебных годах. В то же время, в 2013/2014 учебном году был зафиксирован резкий рост числа иностранных студентов в российских высших учебных заведениях. Данное увеличение связано, прежде всего, с возрастанием числа студентов из Казахстана в российских вузах (*рисунок 1*).

Подавляющее большинство иностранных студентов приезжают учиться в Россию из стран СНГ (более 60%) (*рисунок 2*). Лидером среди стран-доноров иностранных студентов является Казахстан. Доля студентов из этой страны в общей численности иностранных студентов в России варьировалась от 20% в 2012-2013 учебном году до 30% в 2009-2010 учебном году. Наименьшее же число иностранных студентов прибыло из Армении (чуть более 1% в 2015-2016 учебном году).

Следует отметить, что в настоящее время значению учебной миграции не уделяется должного внимания. В России нет четкой государственной политики в сфере продвижения российских образовательных услуг на зарубежных рынках, отсутствует эффективная миграционная политика в сфере привлечения образовательных мигрантов. Существующая практика по привлечению учебных мигрантов в Россию слабо увязана с геополитической стратегией, миграционной политикой, вопросами занятости и демографической политикой страны. К сожалению, учебная миграция пока не рассматривается как стратегический ресурс России [12].

Проведенный анализ показал, что, не смотря на стремление различных государств к унификации и взаимной интеграции образовательных систем, сохраняется их разнообразие. Россия, приняв Болонское соглашение, определенным образом включилась в международную систему образования. Мобильность студентов и преподавателей в некоторой степени повысилась. Увеличились масштабы образовательной эмиграции из страны, прежде всего в страны Европы, США и Китай. В то же время, вузы страны являются привлекательными для иностранных студентов, главным образом из стран СНГ и стран – геополитических партнеров России. Реформирование как отечественной, так и зарубежных систем образования продолжается, однако формирование единого мирового образовательного пространства в ближайшей перспективе представляется вряд ли возможным.

Литература

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 237-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [Электронный ресурс] / Справочная правовая система «Консультант Плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ Дата обращения: 02.01.2018.

2. Апкарова Е. Болонский процесс и система

Рис. 1. Динамика численности иностранных студентов в России, чел.

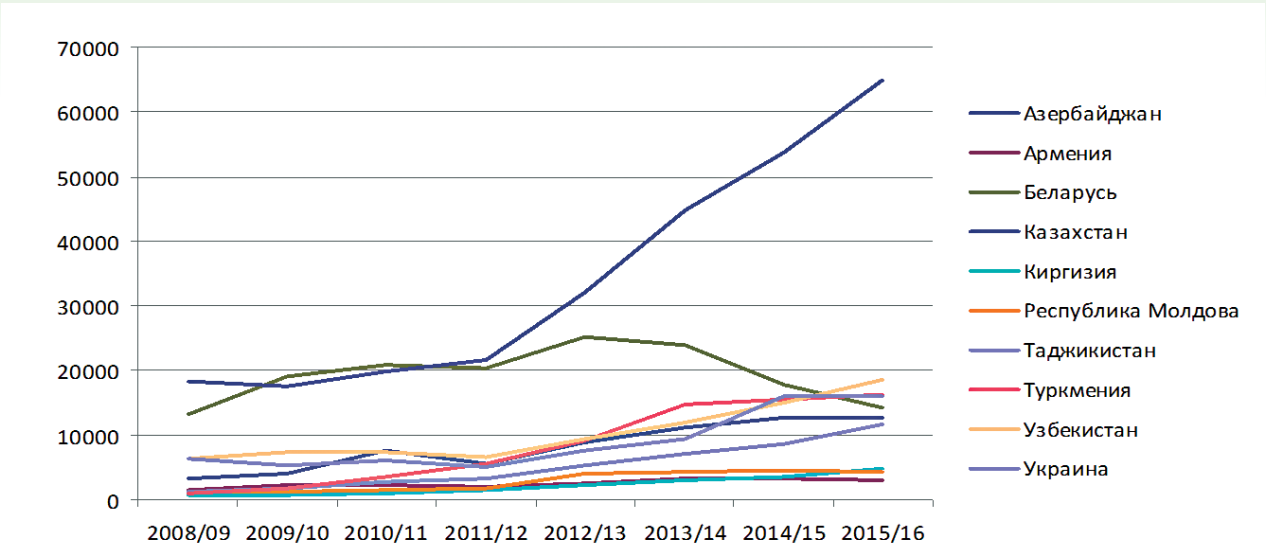


Рис. 2. Динамика численности иностранных студентов в России из разных стран, чел.

высшего образования Франции / Высшее образование в России, 2008. №10. С. 112-115.

3. Арефьев А., Любская К. Российские студенты в Китае [Электронный ресурс] / Demoscope, 2017. – №715-716. – Режим доступа: http://www.demoscope.ru/weekly/217/0715/tema02.php. Дата обращения: 11.01.2018.

4. Болонский процесс в России [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.bologna.ntf.ru. Дата обращения: 13.01.2018.

5. В США увеличилось количество студентов из России [Электронный ресурс] / Информационное агентство «Северная звезда». – Режим доступа: http://www.nstar-spb-ru/-KiUoS. Дата обращения: 09.01.2018.

6. В японских вузах наблюдается увеличение количества иностранных студентов [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://gaku.ru/news/2017/06/21/students.html. Дата обращения: 13.01.2018.

7. Загребнов Е. Франция по-прежнему привлекательна для иностранных студентов [Электронный ресурс] / Русский очевидец. – Режим доступа: http://rusoch.fr/ru/politique/franciya-po-prezhnemu-privlekatelna-dlya-inostrannyx-studentov.html. Дата обращения: 10.01.2018.

8. Краткий студенческий гид по Японии [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://blog.study-japan-guide.com. Дата обращения: 07.01.2018.

9. Левин Д. Число желающих учиться в Великобритании россиян увеличилось вдвое [Электронный ресурс] / РБК, 19 сентября 2017. – Режим доступа: https://www.rbc.ru/society/19/09/2017/59c117b29a79472755959431. Дата обращения: 25.12.2017.

10. Образование в различных странах [Электронный ресурс] / Образовательный портал StudyGlobe. – Режим доступа: http://studyglobe.ru/countries/ Дата обращения: 26.12.2017.

11. Образование во Франции: система, уровни, особенности и отзывы [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://fb.ru/article/249801/obrazovanie-vo-fransii-sistema-urovni-osobennosti-i-otzivi. Дата обращения: 13.01.2018.

12. Сивоплясова С.Ю., Мосягина Г.П. Образовательная иммиграция в Россию: динамика, последствия, политика / Сборник трудов участников VII Всероссийской научно-практической конференции «Современное непрерывное образование и инновационное развитие» // Под ред. А.Н. Царькова и И.А. Бугакова. Серпухов: МОУ «ИИФ», 2017. С. 901-905.

13. Система образования Германии [Электронный ресурс] / Образование за рубежом. – Режим доступа: http://vseobr.com/sistemy-obrazovanija/germanija. Дата обращения: 10.01.2018.

14. Хорошилов К. Слишком много выпускников: число студентов в Китае выросло в семь раз за 10 лет [Электронный ресурс] / Южный Китай. – Режим доступа: http://www.south-insight.com/node/1494. Дата обращения: 14.01.2018.

15. Число иностранных учащихся в США превысило 1 млн. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://eduabroad.ru/journal/20.11.2016/2. Дата обращения: 12.01.2018.

16. Foreign enrolment in German universities reach record high [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://monitor.icef.com/2014/07/foreign-enrolment-i-german-universities-reach-record-high. Дата обращения: 05.01.2018.

УДК 378.126

ОБОСНОВАНИЕ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПРОФЕССОРСКО–ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА

MOTIVATION PEDAGOGICAL MANAGEMENT FUNCTION PROFESSORIAL–TEACHING COMPOSITION ON BASE OF THE ANALYSIS TO MATHEMATICAL MODEL OF THE ASSIMILATION OF THE SCHOLASTIC MATERIAL IN EDUCATIONAL PROCESS OF THE HIGH SCHOOL

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

Игорь Анатольевич Обыночный
преподаватель филиал ВА РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967) 78-97-32
E-mail: Igorobynochnyy@mail.ru

Аннотация
Рассматривается функциональная зависимость скорости усвоения учебного материала обучающимся, которая позволяет обосновать управленческие функции профессорско-преподавательского состава вуза.
Ключевые слова: Математическая модель усвоения учебного материала, образовательный процесс вуза, управленческие функции профессорско-преподавательского состава.

Summary
It is considered functional dependency to velocities of the assimilation of the scholastic material training, which allows to motivate the management functions professorial-teaching composition of the high school.
Keywords: mathematical model of the assimilation of the scholastic material, educational process of the high school, management functions of the professorship.

Главным видом деятельности на кафедре, равно как и в вузе, является учебная деятельность или учебная работа. Она состоит из двух последовательно реализуемых этапов, первый из которых представляет собой разработку образовательной программы (основной образовательной программы (ООП) или дополнительной профессиональной программы (ДПП)) с последующим ее утверждением. А второй – реализацию образовательной программы (то есть, проведение всех мероприятий учебного плана образовательной программы) [8].

Скорость усвоения учебного материала обучающимися [1-3, 5, 6] (изменение состояния образованности (X) в единицу времени) на любом занятии характеризует эффективность учебного процесса, а именно: является следствием реализации конкретной методики проведения занятия, в соответствии с которой осуществляется взаимодействие следующих элементов образовательного процесса:

- соответствующий тематическому плану не-

который объем программного учебного материала ($X_{ПР}$), выносимого на занятие и обусловленного содержанием Федерального государственного образовательного стандарта ($X_{ФГОС}$) и квалификационными требованиями заказчика специалистов ($X_{КТ}$):

$$X_{ПР} = f_{пр}(X_{ФГОС}, X_{КТ}); \quad (1)$$

● профессорско-преподавательский состав (ППС), имеющий состояние профессиональной подготовленности ($X_{ППС}$), соответствующее содержанию программного учебного материала ($X_{ПР}$); в свою очередь, и $X_{ФГОС}$, и $X_{КТ}$, от которых зависит содержание $X_{ПР}$, соответствуют современному научному содержанию ($X_{НС}$) и современным требованиям к технической компоненте специальности ($X_{Т}$):

$$X_{ППС} = f_{ппс}(X_{ПР}(X_{ФГОС}(X_{НС}, X_{Т}), X_{КТ}(X_{НС}, X_{Т}))); \quad (2)$$

● учебно-методический комплекс (УМК) дисциплины с содержанием ($X_{УМК}$), соответствующим $X_{ПР}$ и учебные материалы которого ориентируются на современное научное содержание учебного материала $X_{НС}$, а элементы учебно-материальной базы на современные требования к технической компоненте специальности $X_{Т}$:

$$X_{УМК} = f_{умк}(X_{ПР}(X_{ФГОС}(X_{НС}, X_{Т}), X_{КТ}(X_{НС}, X_{Т}))); \quad (3)$$

● обучающийся, обладающий некоторым начальным уровнем состояния образованности X_0 и мотивированным состоянием $X_{ВР}$, которые также обусловлены содержанием специальности $X_{ПР}$:

$$X_0 = f_{др}(X_{ПР}), \quad (4)$$
$$X_{ВР} = f_{вр}(X_{ПР}). \quad (5)$$

Таким образом, формально изменение состояния образованности X в единицу времени, зависящее от состояния указанных выше элементов, можно представить следующим образом:

$$dX/dt = F_{УР}(X_{ПР}, X_{ППС}, X_{УМК}, X_0, X_{ВР}), \quad (6)$$

где $F_{УР}(*)$ – функциональная зависимость, связывающая состояния указанных элементов учебного процесса со скоростью изменения состояния образованности обучающегося и обусловленная учебной деятельностью преподавателя, реализующего на занятии педагогическую технологию передачи знаний обучающимся;

$X_{ПР}$, $X_{ППС}$, $X_{УМК}$, X_0, $X_{ВР}$ – описываются выражениями (1)-(5), соответственно.

Учитывая соотношения (1)-(5) в правой части уравнения (6) получим

$$dX/dt = F_{УР}(f_{пр}(X\Phi ГОС, X_{КТ}), f_{ппс}(X_{ПР}(X_{ФГОС}(X_{НС}, XT), X_{КТ}(X_{НС}, X_{Т}))), f_{умк}(X_{ПР}(X_{ФГОС}(X_{НС}, X_{Т}), X_{КТ}(X_{НС}, X_{Т}))), f_{др}(X_{ПР}), f_{вр}(X_{ПР})), \quad (7)$$

Уравнение (7) в отклонениях будет иметь следующий вид:

$$\Delta(dX/dt) = (\partial F_{УР}/\partial X_{ПР})((\partial f_{пр}/\partial X_{ФГОС})\Delta X_{ФГОС} + (\partial f_{пр}/\partial X_{КТ})\Delta X_{КТ}) + (\partial F_{УР}/\partial X_{ППС})((\partial f_{ппс}/\partial X_{ФГОС})((\partial f_{фгос}/\partial X_{НС})\Delta X_{НС} + (\partial f_{фгос}/\partial X_{Т})\Delta_{ХТ}) + (\partial fппс/\partial XКТ)((\partial f_{кт}/\partial X_{НС})\Delta X_{НС} + (\partial f_{ппс}/\partial X_{Т})\Delta X_{Т})) + (\partial F_{УР}/\partial X_{УМК})((\partial f_{умк}/\partial X_{ФГОС})((\partial f_{фгос}/\partial X_{НС})\Delta X_{НС} + (\partial f_{фгос}/\partial X_{Т})\Delta X_{Т}) + (\partial f_{умк}/\partial X_{КТ})((\partial f_{кт}/\partial X_{НС})\Delta X_{НС} + (\partial f_{умк}/\partial X_{Т})\Delta X_{Т})) + (\partial F_{УР}/\partial X_0)(\partial f_{др}/\partial X_{ПР})((\partial f_{пр}/\partial X_{ФГОС})\Delta X_{ФГОС} + (\partial f_{пр}/\partial X_{КТ})\Delta X_{КТ}) + (\partial F_{УР}/\partial X_{ВР})(\partial f_{вр}/\partial X_{ПР})((\partial f_{пр}/\partial X_{ФГОС})\Delta X_{ФГОС} + (\partial f_{пр}/\partial X_{КТ})\Delta X_{КТ}), \quad (8)$$

где

$$(\partial F_{УР}/\partial X_{ПР}) = K_{УР/ПР} - \quad (9)$$

матричный коэффициент эффективности влияния приращения программного учебного материала на изменение скорости усвоения его обучающимся, реализуемый методикой проведения занятия;

$$(\partial f_{пр}/\partial X_{ФГОС}) = K_{пр/фгос} - \quad (10)$$

матричный коэффициент соответствия содержания программного материала требованиям ФГОС, как результат реализации методики учета ФГОС при разработке образовательной программы;

$$(\partial f_{пр}/\partial X_{КТ}) = K_{пр/кт} - \quad (11)$$

матричный коэффициент соответствия содержания программного материала требованиям $K_{Т}$, как результат реализации методики учета $K_{Т}$ при разработке образовательной программы (таким образом, $К_{пр/фгос}$, $К_{пр/кт}$ характеризуют качество управления процессом разработки образовательной программы, то есть соответствия ее требованиям ФГОС и КТ);

$$(\partial F_{УР}/\partial X_{ППС}) = K_{УР}/П_{ПС} - \quad (12)$$

матричный коэффициент эффективности влияния повышения квалификации ППС на изменение скорости усвоения учебного материала, реализуемый методикой проведения занятия;

$$(\partial f_{ппс}/\partial X_{ФГОС}) = K_{ппс/фгос} - \quad (13)$$

матричный коэффициент соответствия содержания повышения квалификации ППС требованиям ФГОС, как результат реализации методики обоснования тематического содержания повышения квалификации;

$$(\partial f_{ппс}/\partial X_{ФГОС})(\partial f_{фгос}/\partial X_{НС}) = K_{ппс/нс} - \quad (14)$$

матричный коэффициент соответствия содержания повышения квалификации ППС требованиям последних достижений науки, как результат реализации методики обоснования научного содержания повышения квалификации;

$$(\partial f_{ппс}/\partial X_{КТ}) = K_{ппс/кт} - \quad (15)$$

матричный коэффициент соответствия содержания повышения квалификации ППС квалифи-

кационным требованиям КТ, как результат реализации методики обоснования тематического содержания повышения квалификации;

$$(\partial f_{ппс}/\partial X_{КТ})(\partial f_{кт}/\partial X_{Т})=K_{ппс/т}- \quad (16)$$

матричный коэффициент соответствия содержания повышения квалификации ППС требованиям последних достижений техники, как результат реализации методики обоснования научного содержания повышения квалификации (таким образом, $K_{ппс/фгос}$, $K_{ппс/нс}$, $K_{ппс/кт}$, $K_{ппс/т}$ характеризуют качество управления повышением квалификации ППС);

$$(\partial F_{УР}/\partial X_{УМК})=K_{УР/УМК}- \quad (17)$$

матричный коэффициент эффективности влияния содержания УМК дисциплины на изменение скорости усвоения его обучающимся, реализуемый методикой проведения занятия;

$$(\partial f_{умк}/\partial X_{ФГОС})=K_{умк/фгос}- \quad (18)$$

матричный коэффициент соответствия содержания УМК требованиям ФГОС, как результат реализации методики учета требований ФГОС при разработке учебно-методических материалов (контур управления учебно-методической работой);

$$(\partial f_{умк}/\partial X_{ФГОС})(\partial f_{фгос}/\partial X_{НС})=K_{умк/нс}- \quad (19)$$

матричный коэффициент соответствия содержания УМК требованиям последних достижений науки, как результат реализации методики внедрения научных результатов исследований в УМК,

$$(\partial f_{умк}/\partial X_{КТ})=K_{умк/кт}- \quad (20)$$

матричный коэффициент соответствия содержания УМК требованиям ФГОС, как результат реализации методики учета КТ при разработке учебно-методических материалов;

$$(\partial f_{умк}/\partial X_{КТ})(\partial f_{кт}/\partial X_{Т})=K_{умк/т}- \quad (21)$$

матричный коэффициент соответствия содержания УМК требованиям последних достижений техники, как результат реализации методики внедрения научных результатов исследований в УМК (таким образом, $K_{умк/фгос}$, $K_{умк/кт}$, характеризуют качество управления методической работой и совершенствованием УМБ, а $K_{уск/нс}$, $K_{умк/т}$ характеризуют качество управления научной работой);

$$(\partial F_{УР}/\partial X_{0})=K_{УР/0}- \quad (22)$$

матричный коэффициент эффективности влияния уровня начального состояния образованности обучающегося (то есть результатов довузовской работы) на изменение скорости усвоения учебного материала, реализуемый методикой проведения занятия;

$$(\partial f_{дп}/\partial X_{ПР})=K_{дп/пр}- \quad (23)$$

матричный коэффициент соответствия начального состояния обучающихся требованиям вступительных испытаний для освоения образовательной программы, как результат реализации методики проведения профориентационных мероприятий с потенциальными абитуриентами;

$$(\partial f_{дп}/\partial X_{ПР})((\partial f_{пп}/\partial X_{ФГОС})=K_{дп/фгос}- \quad (24)$$

матричный коэффициент соответствия начального состояния обучающихся «ФГОСовской составляющей» образовательной программы, как результат реализации методики проведения профориентационных мероприятий с потенциальными абитуриентами,

$$(\partial f_{дп}/\partial X_{ПР})((\partial f_{пп}/\partial X_{КТ})=K_{дп/кт}- \quad (25)$$

матричный коэффициент соответствия начального состояния обучающихся требованиям «КТ-й составляющей» образовательной программы, как результат реализации методики проведения профориентационных мероприятий с потенциальными абитуриентами (таким образом, $K_{дп/пп}$, $K_{дп/фгос}$, $K_{дп/кт}$ характеризуют качество управления довузовской работой);

$$(\partial F_{УР}/\partial X_{ВР})=K_{УР/ВР}- \quad (26)$$

матричный коэффициент эффективности влияния уровня мотивации обучающегося (то есть результатов воспитательной работы) на изменение скорости усвоения учебного материала, реализуемый методикой проведения занятия;

$$(\partial f_{вп}/\partial X_{ПР})=K_{вп/пр}- \quad (27)$$

матричный коэффициент соответствия мотивации обучающихся содержанию образовательной программы (правильности выбранной профессии и специальности), как результат реализации методики проведения внеаудиторных профориентационных мероприятий в период учебы;

$$(\partial f_{вп}/\partial X_{ПР})((\partial f_{пп}/\partial X_{ФГОС})=K_{вп/фгос}- \quad (28)$$

матричный коэффициент соответствия результатов воспитательной работы требованиям ФГОС;

$$(\partial f_{вп}/\partial X_{ПР})((\partial f_{пп}/\partial X_{КТ})=K_{вп/кт}- \quad (29)$$

матричный коэффициент соответствия результатов воспитательной работы требованиям КТ (таким образом, $K_{вп/пп}$, $K_{вп/фгос}$, $K_{вп/кт}$ характеризуют качество управления воспитательной работой в части формирования мотивированного отношения обучающихся к учебе).

С учетом принятых обозначений (9)-(29) уравнение (8) примет вид:

$$\Delta(dX/dt)=K_{УР/ПР}\Delta X_{ПР}+K_{УР/ППС}\Delta X_{ППС}+K_{УР/УМК}\Delta X_{УМК}+ +K_{УР/0}\Delta X_{0}+K_{УР/ВР}\Delta X_{ВР}, \quad (30)$$

где

$$\Delta X_{ПР}=K_{пп/фгос}\Delta X_{ФГОС}+K_{пп/кт}\Delta X_{КТ};$$

$$\Delta X_{ППС}=(K_{ппс/фгос}(K_{фгос/нс}\Delta X_{НС}+K_{фгос/т}\Delta X_{Т})+ +K_{ппс/кт}(K_{кт/нс}\Delta X_{НС}+K_{кт/т}\Delta X_{Т}));$$

$$\Delta X_{УМК}=(K_{умк/фгос}(K_{фгос/нс}\Delta X_{НС}+K_{фгос/т}\Delta X_{Т})+ + K_{умк/кт}(K_{кт/нс}\Delta X_{НС}+K_{кт/т}\Delta X_{Т}));$$

$$\Delta X_0 = K_{др/пр}(K_{пр/фгос}\Delta X_{ФГОС} + K_{пр/кт}\Delta X_{КТ});$$

$$\Delta X_{ВР} = K_{вр/пр}(K_{пр/фгос}\Delta X_{ФГОС} + K_{пр/кт}\Delta X_{КТ}).$$

Нетрудно видеть, что максимизация нормы скорости усвоения учебного материала обусловлена максимизацией норм всех матричных коэффициентов:
в учебной работе:

$$K_{УР/ПР}, K_{УР/ППС}, K_{УР/УМК}, K_{УР/0}, K_{УР/ВР};$$

в учебно-методической работе:

$$K_{умк/фгос}, K_{умк/кт};$$

в повышении квалификации ППС:

$$K_{ппс/фгос}, K_{ппс/кт};$$

в научной работе:

$$K_{фгос/нс}, K_{фгос/т}, K_{кт/нс}, K_{кт/т};$$

в воспитательной работе:

$$K_{вр/пр}, K_{пр/фгос}, K_{пр/кт};$$

в довузовской работе:

$$K_{др/пр,} K_{пр/фгос}, K_{пр/кт}.$$

Учитывая, что руководство учебной, воспитательной и довузовской работой осуществляется органами управления образовательным процессом на уровне факультета и вуза, то есть в этих видах деятельности ППС является исключительно исполнителем, то в оставшихся видах деятельности ППС не только реализует плановые мероприятия, но и активно участвует в руководстве этими видами деятельности на кафедре [5, 8].

Поэтому, налицо имеет место научная педагогическая задача, которая заключается в обосновании и разработке сущности, содержания и организационно-педагогических условий формирования педагогических управленческих функций соответствующих категорий ППС в учебно-методической, научной работе и в повышении квалификации ППС и подготовке НПК [4], поскольку только качественное управление этими видами деятельности позволит максимизировать нормы матричных коэффициентов:
в учебно-методической работе:

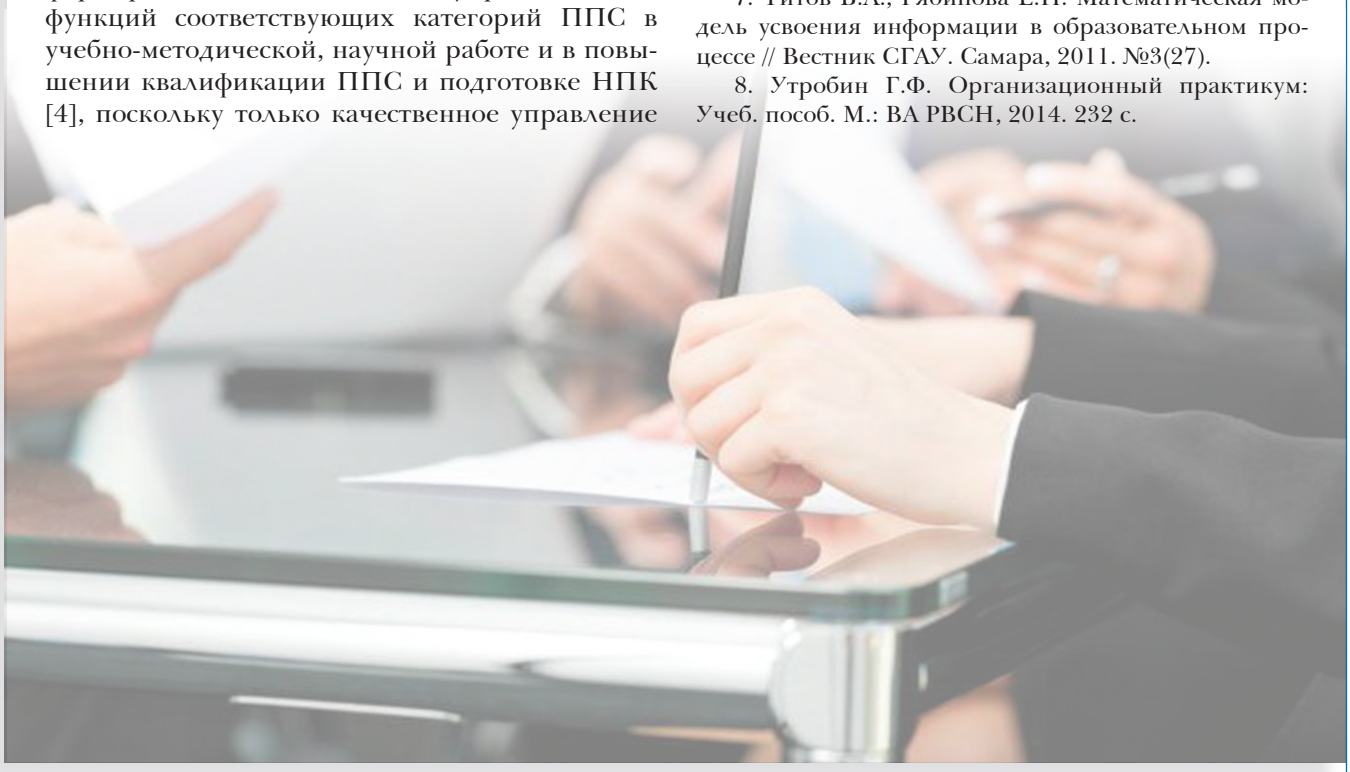
$$K_{умк/фгос}, K_{умк/кт};$$

в повышении квалификации ППС:

$$K_{ппс/фгос}, K_{ппс/кт};$$

в научной работе:

$$K_{фгос/нс}, K_{фгос/т}, K_{кт/нс}, K_{кт/т}.$$



Литература

1. Ительсон Л. Б. Математические и кибернетические методы в педагогике. М.: Педагогика, 1964. 248 с.
2. Леонтьев Л.П. Проблемы управления учебным процессом: математические модели. Рига: Изд-во РГУ, 1984. 239 с.
3. Лодатко Е.А. Моделирование педагогических систем и процессов. Славянск: СГПУ, 2010. 148 с.
4. Обыночный И.А. Сущность и содержание педагогических управленческих компетенций преподавателя военного вуза и условия их эффективного формирования // Сборник трудов XXXVI Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем». Серпухов: ФВА РВСН, 2017.
5. Обыночный И.А. Управленческие аспекты в функциональной модели деятельности профессорско-преподавательского состава на кафедре в военном вузе // Гуманитарный вестник ВА РВСН, 2017. № 1. С. 18-22.
6. Пиявский С.А. Математическое моделирование управляемого развития научных способностей // Известия РАН, серия «Теория и системы управления», 2000. № 3. С.100-106.
7. Титов Б.А., Рябинова Е.Н. Математическая модель усвоения информации в образовательном процессе // Вестник СГАУ. Самара, 2011. №3(27).
8. Утробин Г.Ф. Организационный практикум: Учеб. пособ. М.: ВА РВСН, 2014. 232 с.

AUTHORS

Ananiev Evgeny M. First Vice-President of the Institute – the First Deputy General Director, honored worker of science and technology of Russia, corresponding member of AIO. Candidate of Technical Sciences, associate professor. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Avdeeva Mariya M. The engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Bezrodny Boris F. Doctor of Technical Sciences, professor. Head of the Department of Applied Mathematics. Moscow State Automobile and Roads Technical University. Moscow, Leningradsky Prospekt, 64.

Bezrodny Igor F. Candidate of Technical Sciences, associate professor. Scientific consultant JSC «Scientific-Production Enterprise «GERDA». Moscow, V.Latsisa st., 17, building 1.

Blazhenkov Viktor V. Honored Worker of Science of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher of FSBSE «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

Bondar Alexander T. Candidate of biological sciences. Senior researcher. The Institute of Cell Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Butranov Andrey S. Senior Researcher. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Bystrov Denis E. Deputy Head of Division – Head of Group 5 Division, «Managing Perspective and Inter-Specific Research and Special. Projects» of the RF Ministry of Defense.

Dolgaya Anastasia A. cadet, S.M. Budjonny Military Academy of the Signal Corps in Saint Petersburg. St. Petersburg, Tikhoretsky Avenue, 3.

Dorozhkov Pavel A. The chief of the auto-armored service of the Strategic Missile Forces. Moscow, military unit 77087-B.

Emelin Nikolay M. Honored Scientist of the RSFSR, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of FSBSE «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

Gorkovenko Vladimir P. Head of marketing and systems analysis department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Ignatenko Igor A. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Kalyuzhnyy Alexander A. Master of the department of radio Engineering and radio systems, VLSU. Vladimir, ul. Gorky, 87.

Kazaryan Edik L. Senior lecturer of the Department «Applied Mathematics and Informatics». FGBOU VO «Moscow Aviation Institute» (National Research University). Moscow, Volokolamskoe highway, 4.

Kazaryan Georgy E. Candidate of Economic Sciences. Associate Professor of the Department «Information Technologies in Economics and Management» FGBOU VO «Moscow Aviation Institute» (National Research University). Moscow, Volokolamskoe highway, 4.

Khoptar Vitalij V. Chief of the 489 MR MoD RF, Joint Stok Company «POLYOT Research & Production Company». Nizhny Novgorod, pl. Komsomolskaya, 1

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.

Korovin Oleg V. Candidate of Technical Sciences, associate professor. The head of Department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Kovalenko Mikhail P. Candidate of Technical Sciences. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Larkin Vladimir V. Lecturer in electrical engineering, electronics and power missiles. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Lesnykh Vadim N. Junior scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Luzhetsky Sergey V. Candidate of Pedagogical Sciences, Head of the Faculty of «Start and Technical Missile Systems». Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Lyagin Maxim A. Adjunct. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Lychagov Alexander S. Candidate of Technical Sciences. Lecturer in «Astronomical and geodetic support, navigation and aiming of the RK». Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

MelihovVasiliy O. Candidate of Technical Sciences, associate professor. Deputy Head of Department in FSBSE «Gosmetodcentr». Moscow, Lyusinovskaya street, 51.

AUTHORS

Meshkov Il'ya S. Postgraduate student, S.M. Budjonny Military Academy of the Signal Corps in Saint Petersburg. St. Petersburg, Tikhoretsky Avenue, 3.

Mosyagina Galina P. Candidate of Pedagogics, Deputy Director for educational work, Secondary school №2. Stavropol reg. Budennovsk, District 1.

Murashov Alexander G. The Vice President. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Nikitin Alexander V. Adjunct. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Nizhnikovskiy Anton V. Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Obynochny Igor A. Teacher. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Podvigin Sergey V. Candidate of Technical Sciences. Senior lecturer. Senior scientific employee. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Popov Alexander N. Student. FGBOU VO «Moscow Aviation Institute» (National Research University). Moscow, Volokolamskoe highway, 4

Potapova Zinaida E. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor. Associate Professor of the Department of «Mathematical Cybernetics». FGBOU VO «Moscow Aviation Institute» (National Research University). Moscow, Volokolamskoe highway, 4.

Pozdnyakov Alexander D. Doctor of Technical Sciences, professor of the department of radio engineering and radio systems, VSLU. Vladimir, ul. Gorky, 87.

Pozdnyakov Vladislav A. Candidate of Technical Sciences. associate professor of the department of radio engineering and radio systems, VLSU. Vladimir, ul. Gorky, 87.

Protasov Vladislav I. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor. Associate Professor of the Department of Information Technologies. FGBOU VO «Moscow Aviation Institute» (National Research University). Moscow, Volokolamskoe highway, 4.

Repyakh Alexander P. Candidate of Technical Sciences, head of Department «Technical support». Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Rudnev Denis S. Aspirant. Head of accompany exhibition activity. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Ryazancev Alexey M. Candidate of Technical Sciences. Head of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Sal'nikov Denis V. Candidate of Technical Sciences, associate professor, S.M. Budjonny Military Academy of the Signal Corps in Saint Petersburg. St. Petersburg, Tikhoretsky Avenue, 3.

Sharanov Alexander V. Candidate of Pedagogical Sciences, Deputy Head of the Department of «Automotive Technical Support». Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Sharonov Anatoly V. Doctor of Technical Sciences, professor. Head of the Department «Information Technologies». FGBOU VO «Moscow Aviation Institute» (National Research University). Moscow, Volokolamskoe highway, 4.

Sivoplyasov Dmitriy V. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Head of Educational-Methodical Department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Sivoplyasova Svetlana Y. Candidate of Economics, Associate Professor, associate Professor of department, Moscow Aviation Institute (National Research University), Educational Center «Integration». Moscow reg., Serpukhov, Oktyabrskaya str., 21.

Smirnov Dmitriy V. Doctor of Technical Sciences, associate professor. General director – First Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Snedkov Denis M. Lead Systems Analyst of CJSC «NPP «Proekt-Teckhinca». Moscow, Svoboda Str., p. 22, 35.

Shevchenko Vyatchaslav A. Candidate of Technical Sciences. Head of Division - Deputy Head of the Main Directorate for the Development of Information and Telecommunication Technologies of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Moscow, Znamenka Str., 19.

Umnikov Evgeny V. Lead engineer of information systems management department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Utrobin Gennady F. Doctor of Technical Sciences, Professor. Associate Professor of the Department of military acmeology and Cybernetics VA SRF behalf of Peter the Great. Moscow reg., Balashikha, street Karbysheva, d. 8.

Vinogradov Alexey S. Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Zlobin Andrey Y. Candidate of Technical Sciences. Head of the Department of electrical engineering, electronics and power missiles. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

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

Avdeeva M.M., Ananev E.M., Korovin O.V., Podvigin S.V.
Selecting the index of the efficiency of a thermal electric fiber for the heating of the air transmission line depending on the target orientation of its creation 2

Zlobin A.Y., Larkin A.Y.
The use of electronic controllable valves in stand-alone power sources with tunable drive system 7

Bezrodnyi B.F., Bezrodnyi I.F., Vinogradov A.S., Smirnov D.V.
The method of determining the optimal variant innovative project for modernization systems of fire safety 11

Kalyuzhnyy A.A., Pozdnyakov A.D., Pozdnyakov V.A.
Recovering a periodic signal with non-synchronized gating in a virtual analyzer of the amplitude-frequency characteristic ... 18

Dorozhkov P.A., Luzhetsky S.V., Repyakh A.P., Sharanov A.V.
Mathematical modeling of the system for the restoration of aggregates of the missile complex 23

Nikitin A.V.
Mathematical model for determining the parameters of a continuous engine oil temperature maintenance system 26

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION

Sal'nikov D.V., Meshkov I.S., Dolgaya A.A.
Evaluation of the integrated availability of the global navigation satellite system 32

Shevchenko V.A., Snedkov D.M.
Critical coding rate for incoherent communication channels with error grouping caused by fading and impulse noise interference 39

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

Popov A.N., Bystrov D.E., Lychagov A.S.
Evaluation of the information field of the railways for the navigation of rolling stock according to the information of the systems of technical vision 47

Kazaryan G.E., Kazaryan E.L.
The Neumann problem for the Laplace equation in the rectangle 52

Kovalenko M.P., Ryazancev A.M., Nizhnikovskiy A.V. Ignatenko I.A.
Use of digital watermarks to protect copyright on electronic documents 55

Lyagin M.A., Khoptar V.V.
Statement and solution of the Lagrange problem with respect to speed optimization in the data channel of the direction of «unmanned aerial vehicle – earth» during a communication session 58

Kolombet V.A., Lesnykh V.N., Bondar A.T.
Sierpinski's Triangle as a convenient mathematical model for describing the universal system of tripling periods 63

INNOVATIVE PROJECTS

Melihov V.O.
System analysis of conditions and indicators that determine the innovation activity of science cities 69

Murashov A.G., Rudnev D.S., Butranov A.S., Smirnov D.V.
Applications of innovative systems local heating under low temperature conditions 75

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ROBOTICS

Protasov V.I., Potapova Z.E., Sharonov A.V.
System of collective self-management by means of transport 78

Umnikov E.V., Gorkovenko V.P.
Risks of simulation and simulation of robotic complexes 82

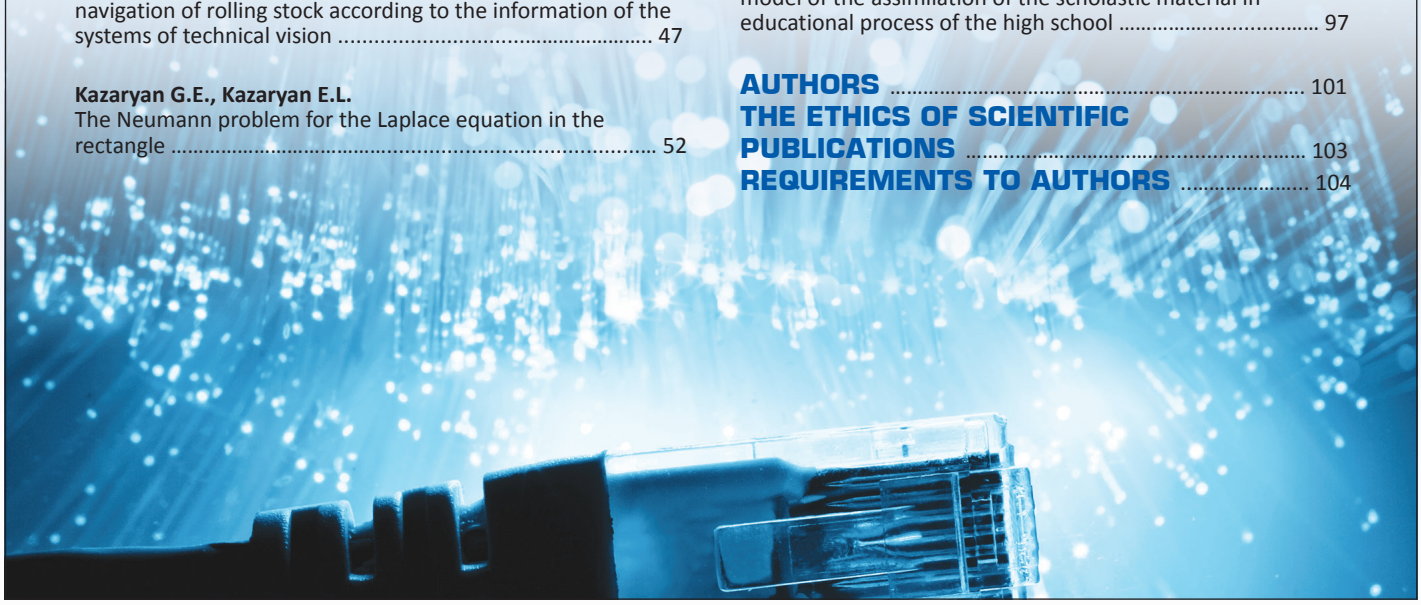
PROFESSIONAL EDUCATION

Blazhenkov V.V., Emelin N.M.
Optimization of the process of reproduction of highly qualified personnel in higher education 86

Sivoplyasova S.Yu., Sivoplyasov D.V., Mosyagina G.P.
Russia in the international education system 91

Utrobin G.F., Obynochny I.A.
Motivation pedagogical management function professorial-teaching composition on base of the analysis to mathematical model of the assimilation of the scholastic material in educational process of the high school 97

AUTHORS 101
THE ETHICS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS 103
REQUIREMENTS TO AUTHORS 104



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 (917) 581-48-74