

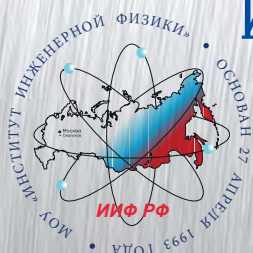
№ 3⁺⁰
2016

[41]

ИЗВЕСТИЯ

научно-технический журнал

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ



Определение границ допустимого изменения параметров для селекции импортозамещающих электронных компонентов **стр. 2**



Средства инженерно-технической защиты объектов от поражения стрелковым оружием **стр. 78**



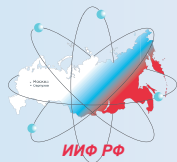
Управление ресурсами информационно-управляющей подсистемы АСУ огнем в интересах обеспечения ее живучести **стр. 57**



Практика применения охранных извещателей серии «TRAVERS» **стр. 100**

ARMY 2016

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
НА МЕЖДУНАРОДНОМ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОМ
ФОРУМЕ "АРМИЯ-2016"



В НОМЕРЕ

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

- 2 **Б.Ф. Безродный, Д.В. Смирнов, С.А. Майоров, О.Н. Андрух.** Определение границ допустимого изменения параметров для селекции импортозамещающих электронных компонентов

- 7 **С.А. Лычагов, С.В. Антонов.** Управление возбуждением синхронного генератора пульсирующим током

- 9 **С.А. Савочкин.** Оптимизация работы предпускового подогревателя переменной мощности

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

- 14 **К.В. Карпочкин, М.И. Пятков.** Синхронизация гибридной локальной сети на основе микросхемы AD9548

- 17 **К.Ю. Цветков, А.А. Ковальский, В.Ю. Пальгунов.** Прогнозирование остаточного ресурса антенных систем наземных станций измерительных комплексов

- 26 **Д.Р. Уткин.** Модель прогнозирования интенсивности поступления пользовательской нагрузки на мобильный комплекс военной сети спутниковой связи

- 33 **В.А. Цимбал, Р.Н. Хрусталёв, В.Е. Тоискин, К.И. Гвозд, Е.А. Ярёмченко.** Задача обоснования канальной емкости направлений системы радиосвязи с незакрепленными каналами в условиях их поражения и восстановления и ее решение

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- 38 **А.К. Никитин, Н.С. Кукин.** Алгоритм блочного выделения морфологических признаков на монохромных изображениях

- 41 **А.В. Лучин, Е.А. Строганов, С.В. Степанов.** Векторное управление параллельной работой дизель-электрических агрегатов систем автономного электроснабжения

- 43 **А.В. Рыбаков, В.И. Мухин, Р.Р. Вильданов.** О методике расчета пространственного распределения энергии осколков вследствие возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера

- 50 **Г.Г. Волков, Н.С. Кукин, А.Р. Мурадова, И.О. Глотова.** Тернарная групповая алгебра. Комплексный анализ в Евклидовом пространстве

- 57 **И.В. Грудинин, С.В. Суровикин.** Управление ресурсами информационно-управляющей подсистемы АСУ огнем в интересах обеспечения ее живучести

- 63 **А.Г. Букин, Г.А. Гордеев.** Метод нечеткой идентификации критических элементов автоматизированных систем на основе физически неклионируемых функций

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

- 70 **В.И. Мухин, Д.Г. Воронов, Е.В. Собакина.** Развитие теоретических основ принятия решений по управлению инновационной деятельностью на основе когнитивного подхода

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- 75 **А.Г. Попов, А.А. Масликов, В.М. Дунилин, Е.В. Бородай, Д.Н. Печерский, А.С. Шулаков.** Аппаратный комплекс для вибрационной и акустической диагностики конструкций

ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

- 78 **С.В. Мартынов, Б.Г. Ерёмин, В.В. Никитенко, А.В. Сытова, А.С. Бутранов.** Средства инженерно-технической защиты объектов от поражения стрелковым оружием

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

- 84 **И.А. Бугаков, А.Н. Царьков.** Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: система формальных признаков

- 96 **И.А. Обыкновенный.** Сравнительный анализ профессионального стандарта «Преподаватель высшего образования» и компетентностных моделей педагогов

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ

- 99 **С.Н. Шиманов, В.А. Прасолов.** Цифровая обработка сигналов и программно-определяемые средства радиосвязи в Институте инженерной физики

- 100 **В.П. Горковенко.** Практика применения охранных извещателей серии «TRAVERS»

Научно-технический журнал

**ИЗВЕСТИЯ
Института инженерной физики
№3(41)2016**

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

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

**Главный редактор, председатель
редакционного совета
и редакционной коллегии**

Алексей Николаевич Царьков

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

Редакционный совет

Геннадий Иванович Азаров

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

Сергей Владимирович Дворянкин

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

Анатолий Анатольевич Донченко

заместитель начальника Главного научно-
исследовательского испытательного центра
робототехники по научно-исследовательской и
испытательной работе Министерства обороны РФ,
доктор технических наук, профессор

Николай Михайлович Емелин

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

Валерий Иванович Николаев

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

Владимир Георгиевич Редько

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

Юрий Александрович Романенко

заместитель главы администрации города
Протвино, заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

Анатолий Васильевич Тодосийчук

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

Игорь Анатольевич Шеремет

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

Редакционная коллегия

Олег Николаевич Андрух

кандидат технических наук, доцент

Борис Фёдорович Безродный

доктор технических наук, профессор

Сергей Борисович Беркович

почетный геодезист РФ

доктор технических наук, профессор

Владимир Эрнестович Бородай

кандидат технических наук,

старший научный сотрудник

Игорь Александрович Бугаков

заслуженный изобретатель РФ,

доктор технических наук, профессор

Александр Михайлович Вальваков

почетный работник науки и техники РФ,

доктор технических наук, профессор

Вадим Геннадьевич Грибунин

доктор технических наук

Сергей Григорьевич Данилюк

доктор технических наук, профессор

Владимир Владимирович Зеленецкий

доктор технических наук, профессор

Николай Николаевич Казаков

член Союза писателей России

Олег Павлович Кузнецов

кандидат технических наук, доцент

Александр Ильич Куприянов

доктор технических наук, профессор

Дмитрий Геннадьевич Митрофанов

заслуженный изобретатель РФ,

доктор технических наук, профессор

Роман Леонидович Мусатов

кандидат технических наук

заместитель главного редактора

Игорь Павлович Новожилов

выпускающий редактор

Игорь Николаевич Оков

доктор технических наук, профессор

Владимир Петрович Пашинцев

заслуженный работник высшей школы РФ,

доктор технических наук, профессор

Валерий Николаевич Умников

доктор технических наук, профессор

Дмитрий Вячеславович Смирнов

доктор технических наук, доцент

Сергей Владимирович Смуров

доктор технических наук, профессор

Владимир Анатольевич Цимбал

заслуженный деятель науки РФ,

доктор технических наук, профессор

Сергей Николаевич Шиманов

почетный радист РФ,

доктор технических наук, профессор

ISSN 2073-8110

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

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

Адрес редакции: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.

Тел: +7(4967)35-31-93, 35-13-71

Факс: +7(4967)35-44-20 http://www.iifrf.ru

E-mail: info@iifrf.ru

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-26650 от 20 декабря 2006 г. Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ».

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а.

Подписано в печать 22.08.2016. Дата выхода

в свет 01.09.2016. Тираж 2000 экз. Цена свободная.

© Межрегиональное общественное учреждение

«Институт инженерной физики» (ИИФ), 2016



Александр Григорьевич Мурашов

Вице-президент
Межрегионального
общественного учреждения
«Институт инженерной физики»

Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

С 6 по 11 сентября Институт инженерной физики примет участие во II Международном военно-техническом форуме «Армия-2016», который пройдет в Конгрессно-выставочном центре Военно-патриотического парка культуры и отдыха Вооруженных сил Российской Федерации «Патриот».

Второй год подряд Институт является официальным партнером этого грандиозного по масштабу и составу участников выставочного мероприятия, организатором которого является Министерство обороны в соответствии с распоряжением Правительства РФ.

Институт традиционно примет активное участие в деловой и выставочной программе форума. Опыт участия Института в масштабных международных выставках показал их эффективность как важнейшего инструмента продвижения инновационных разработок. Благодаря этому был принят на вооружение ряд изделий Института.

Военно-технический форум «Армия-2016» – это уникальная возможность продемонстрировать первым лицам государства, представителям Министерства обороны, отечественным специалистам и зарубежным партнерам образцы своей продукции, инновационные разработки и новые технические решения. Форум – это установление новых контактов, поиск новых партнеров и заказчиков и, что очень важно, ознакомления с мнениями лиц, принимающих решения по ключевым вопросам разработки, производства и внедрения перспективных образцов вооружения и военной техники.

Хотелось бы выразить искреннюю благодарность организаторам форума, а также сотрудникам Института, которые приложили максимум усилий для того, чтобы достойно представить наши инновационные разработки на Международном военно-техническом форуме «Армия-2016». Участие в столь значимом для страны форуме – важный этап нашей работы в деле продвижения инноваций с целью принятия их на вооружение для повышения обороноспособности России.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 62–503.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ДОПУСТИМОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

DELIMITATION OF ADMISSIBLE CHANGE OF PARAMETERS FOR SELECTION OF IMPORT-SUBSTITUTING ELECTRONIC COMPONENTS

Борис Федорович Безродный

доктор технических наук, профессор

главный инженер

Проектно-конструкторско-технологическое бюро
железнодорожной автоматики и телемеханики –
филиал ОАО «РЖД» (ПКТБ ЦШ)

Адрес: 105082, Москва,

Переведеновский пер. д. 13/13, корп. 5

Тел.: +7(499)260-01-19

E-mail: boris-bezrodny@yandex.ru

Сергей Алексеевич Майоров

научный сотрудник

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

Дмитрий Вячеславович Смирнов

доктор технических наук, доцент

Генеральный директор –

Первый Вице-президент

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: dv_smr@mail.ru

Олег Николаевич Андрух

кандидат технических наук, доцент

заместитель генерального директора

по научно-методической работе

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: aon@iifmail.ru

Аннотация

Во исполнение приказа ФСТЭК России от 14.03.2014 №31 об информационной безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами критически важных объектов, предусматривающего максимальное импортозамещение электронных компонентов, используемых в аппаратуре, которой оснащены эти объекты, предложен подход к обеспечению высокой надежности импортозамещающих электронных компонентов на основе проведения предварительной селекции их образцов.

Поскольку известные методики не предоставляют возможности напрямую определить границы изменения каждого из контролируемых параметров электронного компонента, позволяющие гарантировать заданные вероятности ошибок селекции, в данной статье на основе анализа области заданной надежности, выделяемой в пространстве значений контролируемых параметров решающим правилом селекции, предлагается процедура определения таких границ изменения значений контролируемых параметров, позволяющая гарантировать исходные значения вероятностей ошибок селекции первого α и второго β рода.

Ключевые слова: импортозамещение, электронные компоненты, селекция, решающее правило, ве-

роятности ошибок, границы допустимого изменения параметров.

Summary

In pursuance of the order of FSTEC of Russia from 14.03.2014 №31 about information security of automated process control systems of crucial objects providing the maximum import substitution of the electronic components used in the equipment which has equipped these objects approach to ensuring high reliability of import-substituting electronic components on the basis of carrying out preliminary selection of their samples is offered.

As the known techniques do not allow to determine directly the borders of change of each of controlled parameters of an electronic component allowing to guarantee the set probabilities of errors of selection in this article on the basis of the analysis of area of the set reliability which is marked out in space of values of controlled parameters by the decisive rule of selection the procedure of determination of such borders of change of values of controlled parameters allowing to guarantee reference values of probabilities of errors of selection of the first α and the second β sorts is offered.

Keywords: import substitution, electronic components, selection, decisive rule, probabilities of mistakes, borders of admissible change of parameters.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

В настоящее время с целью обеспечения в соответствии с приказом ФСТЭК России от 14.03.2014 №31 [1] об информационной безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами критически важных объектов требуется решение задачи импортозамещения электронных компонентов, включая различные микроэлектронные изделия, применяемых в ответственной электронной аппаратуре, используемой на этих критически важных объектах. При этом особую актуальность приобретает задача обеспечения высокой надежности указанной электронной аппаратуры при проведении мероприятий по импортозамещению. В силу меньшей стабильности технологического процесса изготовления качество, надежность и, соответственно, значения параметров импортозамещающих электронных изделий имеют больший, по сравнению с импортными аналогами, разброс. Поэтому на практике оказывается необходимым проведение предварительной селекции образцов этих изделий с целью выбора наиболее приемлемых для изготовления конкретного типа электронной аппаратуры образцов, то есть для проведения ее «селективной сборки». Такую процедуру, как правило, проводят на основе статистического распознавания, считая из-за большого числа влияющих факторов распределения нормальными [2].

Для проведения контроля состояния образцов электронного изделия используют вектор из p параметров, принимаемых для простоты некоррелированными, а вследствие допущения нормального распределения и независимыми. При этом решающее правило будет иметь вид [2]:

$$\sum_{j=1}^p \left\{ \frac{1}{\hat{\sigma}_{0j}^2} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \hat{a}_{0j})^2 - \frac{1}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \hat{a}_{1j})^2 + n \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \right\} \geq 0. \quad (1)$$

При выполнении неравенства контрольная выборка из n замеров вектора контролируемых параметров признается соответствующей классу S_1 , то есть удовлетворяющих требованиям конкретного типа электронной аппаратуры, а при выполнении обратного неравенства – классу S_0 (неудовлетворяющих). В (1) $\hat{a}_i = (\hat{a}_{i1}, \dots, \hat{a}_{ip})$ и $\hat{M}_i = \text{diag}(\hat{\sigma}_{i1}^2, \dots, \hat{\sigma}_{ip}^2)$ – оценки векторов средних и ковариационных матриц распределений значений контролируемых параметров в различаемых классах образцов исследуемого электронного компонента, а $\bar{x}_i = (x_{i1}, \dots, x_{ip})$ – элементы контрольной выборки замеров вектора контролируемых параметров. При $n=1$ контролю подвергается каж-

дый отдельный образец, в противном случае – однородная партия образцов, имеющих практически идентичные качество и надежность.

Вероятности ошибок такого решающего правила, обеспечивающего селекцию отечественных электронных изделий при организации импортозамещения, подробно исследованы в [3]. Подобные методики селекции микроэлектронных изделий и иных электронных компонентов, комплектующих ответственную аппаратуру различного назначения, хорошо зарекомендовали себя уже давно. Они автоматизированы и используются при комплектации производства высоконадежных устройств и систем. Однако эти методики не позволяют напрямую задать допуска на значения контролируемых параметров, то есть непосредственно определить границы изменения каждого из них, позволяющие гарантировать заданные вероятности ошибок селекции. В данной статье на основе анализа области заданной надежности, выделяемой в пространстве значений контролируемых параметров решающим правилом (1) предлагается процедура определения таких границ изменения значений контролируемых параметров, позволяющая гарантировать исходные значения вероятностей ошибок селекции первого α и второго β рода.

С этой целью рассмотрим детально, что за область в пространстве значений контролируемых параметров определяет решающее правило (1). Учитывая известное неравенство для дисперсий [2]

$$s_1^2 < s_0^2$$

получаем, что область G_1 представляет собой эллипсоид в декартовом произведении n пространств R_p . Отметим, что случай $n>1$ соответствует групповому входному контролю надежности однородной партии образцов импортозамещающего электронного компонента. В этом случае, если обеспечена однородность партии, потребность в образцах исследуемого компонента – велика, а время селекции существенно ограничено, с помощью разработанной в [4] методики определяется минимальный достаточный для осуществления селекции с заданными ограничениями на вероятности ошибок объем обучающей выборки, после чего из однородной партии выбираются равномерно n образцов, у них замеряются значения контролируемых параметров, после чего в случае их одновременного попадания в np -мерный эллипсоид вся однородная партия признается обладающей требуемым ресурсом надежности. В случае индивидуальной селекции образцов $n=1$, правило селекции высекает в пространстве зна-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

чений контролируемых параметров эллипсоид. Для определения допусков на контролируемые параметры, гарантирующих такие же заданные вероятности ошибок селекции, воспользуемся именно этим случаем $n=1$. С этой целью преобразуем правило селекции (1) к виду:

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{\hat{\sigma}_{0j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{0j})^2 - \frac{1}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{1j})^2 + n \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \right\} \geq 0, \quad (2)$$

из анализа которого можно сделать вывод, что из неотрицательности выражения в фигурных скобках в (2) следует выполнение всего неравенства (1). Поэтому попадания значений контролируемых параметров в эллипсоид в пространстве R_p , определяемый приравнением к нулю выражения в фигурных скобках из (2), то есть при $n=1$, для всех элементов контрольной выборки достаточно для признания всей однородной партии образцов исследуемого импортозамещающего электронного компонента удовлетворяющей заданным требованиям по надежности. Такая трактовка правила селекции (2) приводит к незначительному (5-7%) увеличению вероятности ошибки второго рода, но позволяет значительно упростить процедуру его проверки и явно оценить допуски на контролируемые параметры.

Преобразуем правило (2) при $n=1$

$$\frac{1}{\hat{\sigma}_{0j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{0j})^2 - \frac{1}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{1j})^2 + \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \geq 0 \quad (3)$$

к виду уравнения эллипсоида:

$$\sum_{j=1}^p \frac{(x_j - b_j)^2}{c_j^2} \leq 1, \quad (4)$$

где

$$b_j = \frac{(\hat{a}_{0j} \hat{\sigma}_{1j}^2 - \hat{a}_{1j} \hat{\sigma}_{0j}^2)}{\hat{\sigma}_{1j}^2 - \hat{\sigma}_{0j}^2};$$

$$c_j^2 = \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2 \hat{\sigma}_{1j}^2}{\hat{\sigma}_{0j}^2 - \hat{\sigma}_{1j}^2} \left(\sum_{j=1}^p \left[\frac{(\hat{a}_{0j} - \hat{a}_{1j})^2}{\hat{\sigma}_{0j}^2 - \hat{\sigma}_{1j}^2} + \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \right] \right).$$

Неравенство (4) определяет в пространстве значений контролируемых параметров искомую область заданной надежности, а в случае селекции по значению одного интегрального или основного параметра ($p=1$) – собственно допуск на этот параметр.

К примеру, если в качестве области заданной надежности принять описанный вокруг эллипсоида прямоугольный параллелепипед, то есть задать простые ограничения на каждый j -й контролируемый параметр

$$b_j - c_j < x_j < b_j + c_j,$$

то вероятность ошибки первого рода увеличится на 15-20%, а вероятность ошибки второго рода снизится на 5-10%. В ряде случаев такое расширение области заданной надежности на практике оказывается оправданным, поскольку в этом случае можно на прямую идентифицировать, по каким параметрам не удовлетворяет тот или иной образец импортозамещающего электронного компонента.

Можно поступить наоборот, и в качестве области заданной надежности принять прямоугольный параллелепипед, вписанный в эллипсоид (3). При этом среди всех параллелепипедов следует взять параллелепипед, имеющий максимальный объем с учетом весовой функции, представляющей плотность распределения для класса S_1 , что позволит минимизировать уменьшение области заданной надежности G_1 и сопутствующее этому увеличение вероятности ошибки селекции второго рода. Справедливости ради отметим, что в этом случае несколько снизит вероятность ошибки первого рода. Оба рассмотренных выше крайних случая на практике малоприменимы, так как в первом случае недопустимо увеличивается вероятность ошибки селекции первого рода α , а во втором случае, кроме вычислительной сложности решения экстремальной задачи, увеличивается вероятность ошибки селекции второго рода β , что в современных условиях экономически не оправдано. Поэтому предлагается решить задачу следующим образом, воспользовавшись подходом Неймана-Пирсона, задав в правой части неравенства (2) не ноль, а некоторую малую положительную величину δ , являющуюся параметром. В этом случае неравенство (2) примет вид:

$$\frac{1}{\hat{\sigma}_{0j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{0j})^2 - \frac{1}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \hat{a}_{1j})^2 + \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \geq \delta, \quad (5)$$

а определяемый им эллипсоид будет определяться следующим образом

$$\sum_{j=1}^p \frac{(x_j - b_j)^2}{c_j^2} \leq 1, \quad (6)$$

где

$$b_j = \frac{(\hat{a}_{0j}\hat{\sigma}_{1j}^2 - \hat{a}_{1j}\hat{\sigma}_{0j}^2)}{\hat{\sigma}_{1j}^2 - \hat{\sigma}_{0j}^2};$$

$$c_j^2 = \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2 \hat{\sigma}_{1j}^2}{\hat{\sigma}_{0j}^2 - \hat{\sigma}_{1j}^2} \left(\sum_{j=1}^p \left[\frac{(\hat{a}_{0j} - \hat{a}_{1j})^2}{\hat{\sigma}_{0j}^2 - \hat{\sigma}_{1j}^2} + \ln \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \right] - \delta \right).$$

Эти соотношения отличаются от соотношений (4) только наличием δ в выражении для c_j^2 . Другими словами, выражения (6) задают целое семейство подобных эллипсоидов в пространстве R_p . Причем при $\delta=0$ мы имеем эллипсоид (4), а при увеличении δ эллипсоид (6) пропорционально уменьшается, сохраняя все соотношения и пропорции, задаваемые конкретными значениями оценок средних и дисперсий контролируемых параметров в различаемых классах образцов исследуемого импортозамещающего электронного компонента. При этом при достижении равенства

$$\delta = \sum_{j=1}^p \left[\frac{(\hat{a}_{0j} - \hat{a}_{1j})^2}{\hat{\sigma}_{0j}^2 - \hat{\sigma}_{1j}^2} + h \frac{\hat{\sigma}_{0j}^2}{\hat{\sigma}_{1j}^2} \right] \quad (7)$$

эллипсоид (6) вырождается в точку, которая чисто теоретически могла бы соответствовать случаю, когда значения контролируемых параметров определяются точно, и малейшие отклонения от их расчетных значений не допускаются. Однако это – предельный идеализированный случай, и мы его рассматривать не будем.

Теперь остается в качестве допусковой области принять описанный вокруг уменьшенного эллипсоида (6) прямоугольный параллелепипед, задаваемый неравенствами

$$b_j - c_j < x_j < b_j + c_j, \quad j=1, \dots, p.$$

При этом границы допуска для каждого из p контролируемых параметров являются функциями параметра δ , так как $c_j = c_j(\delta)$.

Вероятности ошибок решающего правила, задаваемого таким параллелепипедом, являются в итоге функциями параметра δ и могут быть рассчитаны следующим образом:

$$\beta(\delta) = 1 - \prod_{j=1}^p \left\{ \int_{b_j - \tilde{n}_j(\delta)}^{b_j + \tilde{n}_j(\delta)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\hat{\sigma}_{1j}} \exp \left\{ -\frac{(t_j - a_j)^2}{2\hat{\sigma}_{1j}^2} \right\} dt_j \right\},$$

$$\alpha(\delta) = \prod_{j=1}^p \left\{ \int_{b_j - \tilde{n}_j(\delta)}^{b_j + \tilde{n}_j(\delta)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\hat{\sigma}_{0j}} \exp \left\{ -\frac{(t_j - a_j)^2}{2\hat{\sigma}_{0j}^2} \right\} dt_j \right\}. \quad (8)$$

При этом область изменения параметра δ ограничена снизу нулем, а сверху – значением из соотношения (7). Вероятности ошибок селекции первого и второго рода, задаваемые соотношениями (8), как функции переменной δ , являются монотонными. При этом функция $\alpha(\delta)$ монотонно убывает с ростом δ от 0 до значения, определяемого соотношением (8), а функция $\beta(\delta)$ при таком изменении δ наоборот монотонно возрастает, так как область интегрирования в формулах (8) при этом сокращается, а все остальные величины остаются неизменными.

Будем считать, что на этапе формирования решающего правила (1) с помощью разработанной в [4] методики определен объем обучающей выборки, минимальный достаточный для осуществления селекции с заданными ограничениями $\alpha \leq \alpha_0$ и $\beta \leq \beta_0$ на вероятности ошибок первого и второго рода. Другими словами, при преобразовании области заданной надежности образцов импортозамещающего электронного компонента в пространстве значений контролируемых параметров R_p в прямоугольный параллелепипед необходимо сохранить указанные ограничения $\alpha \leq \alpha_0$ и $\beta \leq \beta_0$. Сделаем это следующим образом.

Обозначим значение δ из (7) через $\delta_{\max}$. Тогда областью изменения аргумента функций $\alpha(\delta)$ и $\beta(\delta)$ является отрезок $[0, \delta_{\max}]$. Как уже было упомянуто ранее, функция $\alpha(\delta)$ на этом отрезке монотонно убывает от $\alpha(0)$ до $\alpha(\delta_{\max})=0$, а функция $\beta(\delta)$ наоборот монотонно возрастает от $\beta(0)$ до $\beta(\delta_{\max})=1$. Две эти тенденции оказываются противоречивыми.

При этом $\alpha(0)$ превышает достигнутое на этапе обучения ограничение α_0 , так как с учетом (4) интегрирование в (8) ведется в пределах прямоугольного параллелепипеда, описанного вокруг эллипсоида, определяющего область заданной надежности образцов импортозамещающего электронного компонента в пространстве значений контролируемых параметров R_p , в то время как $\beta(0)$ оказывается по той же причине меньше достигнутого на этапе обучения ограничения β_0 .

Рассмотрим наиболее простой вариант, когда ограничения на вероятности ошибок селекции α_0 и β_0 равны, то есть $\alpha_0 = \beta_0$. В этом случае из вышеизложенного следует, что $\beta(0) < \alpha_0 = \beta_0 < \alpha(0)$, а с учетом установленного выше монотонного характера непрерывного изменения функций $\alpha(\delta)$ и $\beta(\delta)$ на отрезке $[0, \delta_{\max}]$ уравнение

$$\alpha(\delta) = \beta(\delta) \quad (9)$$

обязательно имеет и притом единственный корень δ^* .

Если в результате оказывается, что

$$\alpha(\delta^*) = \beta(\delta^*) \leq \alpha_0 = \beta_0, \quad (10)$$

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

то допусковой параллелепипед, соответствующий значению параметра $\delta = \delta^*$, оказывается оптимальным, и его границы надо принять в качестве искоемых допусков на контролируемые параметры исследуемого импортозамещающего электронного компонента, которые надлежит использовать при задании требований по надежности в договорах или иных документах на поставку образцов этого импортозамещающего электронного компонента.

Если же неравенство в (10) не выполняется, то в качестве оптимального значения параметра δ следует принять обязательно существующий корень δ_a уравнения

$$\alpha(\delta) = \alpha_0. \quad (11)$$

При этом вероятность ошибки селекции второго рода β окажется несколько выше своего ограничения β_0 , но этого, к сожалению, избежать уже не удастся.

Данная процедура формирования допусков на контролируемые параметры образцов импортозамещающих электронных компонентов, позволяющая гарантировать, что их надежность не уступает импортному замещаемому анало-

гу, допускает применение и в случае различных ограничений на вероятности ошибок селекции первого и второго рода α_0 и β_0 .

Литература

1. Приказ ФСТЭК России от 14.03.2014 №31 «Об утверждении Требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды».
2. Безродный Б.Ф., Майоров С.А. Оценка допусков на критичные параметры импортозамещающих электронных компонентов. Пенза: Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2015, Т. 1. С. 174-176.
3. Безродный Б.Ф., Майоров С.А. Вероятности ошибок селекции импортозамещающих электронных компонентов. Пенза: Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2015, Т. 1. С. 170-174.
4. Безродный Б.Ф., Майоров С.А. Обеспечение заданной достоверности селекции импортозамещающих электронных компонентов. Пенза: Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2015, Т. 1. С. 176-179.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 620.179.1

УПРАВЛЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЕМ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПУЛЬСИРУЮЩИМ ТОКОМ

REGULATION OF THE SYNCHRONOUS GENERATOR EXCITATION BY PULSED CURRENT

Сергей Александрович Лычагов

кандидат технических наук

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

Сергей Владимирович Антонов

кандидат технических наук, доцент

начальник отдела
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04
E-mail: upitd@iifmail.ru

Аннотация

В статье рассматривается возможность возбуждения и регулировки синхронного генератора за счет формирования основного магнитного потока пульсирующим током, имеющим постоянную и переменную составляющую.

Ключевые слова: синхронный генератор, пульсирующий ток, возбуждение генератора.

Summary

The article deals with the driving method and the adjustment of the synchronous generator by forming the main magnetic flux pulsed current having a constant and a variable component.

Keywords: synchronous generator, pulsating current, generator excitation.

В синхронных генераторах, входящих в состав дизель-электрических агрегатов, обеспечение минимального удельного расхода топлива в условиях изменяющейся нагрузки может осуществляться изменением частоты вращения вала дизеля, при этом качество электрической энергии обеспечивается преобразователями: выпрямителем и инвертором.

Возбуждение синхронных генераторов осуществляется основным магнитным потоком от постоянных магнитов, размещенных на роторе. При вращении ротора с помощью приводного двигателя внутри статора создается вращающееся магнитное поле, которое индуцирует в неподвижных статорных обмотках переменную электродвижущую силу (ЭДС), пропорциональную скорости изменения магнитного потока и величине магнитного потока, создаваемого постоянными магнитами. Отсутствие возможности изменения величины магнитного потока приводит к тому, что регулировка выходной мощности синхронного генератора возможна либо за

счет изменения частоты вращения вала приводного двигателя, либо за счет использования выходного преобразователя. Регулировка выходной мощности синхронного генератора за счет изменения частоты вращения вала приводного двигателя из-за его инерционности неизбежно приводит к недорегулированию при увеличении нагрузки на генератор или к перерегулированию при сбросе нагрузки, что является существенным недостатком. При регулировании выходной мощности синхронного генератора с помощью выходного преобразователя требуется генератор с завышенной мощностью, что приводит к увеличению его массовых и габаритных характеристик.

Возможно возбуждение синхронных генераторов электромагнитами, которые создают основной магнитный поток синхронной машины постоянным током, протекающим по обмотке возбуждения, уложенной на роторе. При вращении ротора с помощью приводного двигателя внутри статора создается вращающееся маг-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

нитное поле, которое индуцирует в статорных обмотках переменную ЭДС, пропорциональную скорости изменения магнитного потока и величине магнитного потока. Такое возбуждение позволяет регулировать выходную мощность генератора как за счет изменения скорости вращения вала приводного двигателя, так и за счет изменения величины тока возбуждения. Недостатком такого возбуждения является то, что магнитная система синхронной машины выбирается из расчета обеспечения номинальной мощности при минимальной частоте вращения вала приводного двигателя, что приводит к завышенным массе и габаритам синхронного генератора.

Уменьшение мощности магнитной системы и, как следствие, уменьшение массы и габаритов синхронного генератора в дизельном электрическом агрегате с переменной частотой вращения приводного вала, при обеспечении требуемой мощности нагрузки возможно за счет возбуждения синхронного генератора пульсирующим током.

При этом основной магнитный поток синхронной машины должен создаваться пульсирующим током, протекающим по обмотке возбуждения, который имеет постоянную и переменную составляющую, синхронизированную с частотой вращения вала приводного двигателя.

Сущность управления заключается в следующем. При протекании по обмотке возбуждения пульсирующего тока

$$i_{\text{в}03} = I_{0\text{в}03} + i_{\sim\text{в}03}, \quad (1)$$

имеющего постоянную составляющую $I_{0\text{в}03}$ и переменную составляющую

$$i_{\text{в}03} = I_m \sin(\omega_i t + \psi_{i\text{в}03}) \quad (2)$$

с амплитудой

$$I_m = k I_{0\text{в}03}, \quad 0 \leq k \leq 1 \quad (3)$$

частотой больше частоты вращения вала приводного двигателя в число раз кратное трем

$$\omega_i = 3n\omega_0, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

и с начальной фазой, определяемой положением ротора относительно статорной обмотки фазы A

$$\psi_{i\text{в}03} = \psi_P, \quad (5)$$

создается основной магнитный поток

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_{\sim}, \quad (6)$$

который имеет постоянную составляющую

$$\Phi_0 = w_6 \mu_0 \mu \frac{S}{l} I_{0\text{в}03} \quad (7)$$

и переменную составляющую

$$\Phi_{\sim} = w_6 \mu_0 \mu \frac{S}{l} k I_{0\text{в}03} \sin(3n\omega_0 t + \psi_P). \quad (8)$$

При вращении ротора с частотой ω_0 с помощью приводного двигателя вместе с ним будет вращаться магнитный поток. Относительно неподвижных статорных фазных обмоток магнитный поток будет изменяться по гармоническому закону

$$\begin{aligned} \Phi_A &= (\Phi_0 + \Phi_{\sim}) \sin(\omega_0 t + \psi_P); \\ \Phi_B &= (\Phi_0 + \Phi_{\sim}) \sin(\omega_0 t + \psi_P - 120^\circ); \\ \Phi_C &= (\Phi_0 + \Phi_{\sim}) \sin(\omega_0 t + \psi_P - 240^\circ), \end{aligned} \quad (9)$$

или, принимая начальную фазу магнитного потока ψ_P равную $\pi/2$ и соотношения (7) и (8), по закону, определяемому выражениями

$$\begin{aligned} \Phi_A &= \Phi_0 \cos(\omega_0 t) + k \Phi_0 \sin(3n\omega_0 t) \cos(\omega_0 t); \\ \Phi_B &= \Phi_0 \cos(\omega_0 t - 120^\circ) + k \Phi_0 \sin(3n\omega_0 t) \cos(\omega_0 t - 120^\circ); \\ \Phi_C &= \Phi_0 \cos(\omega_0 t - 240^\circ) + k \Phi_0 \sin(3n\omega_0 t) \cos(\omega_0 t - 240^\circ). \end{aligned} \quad (10)$$

Согласно закону электромагнитной индукции переменный магнитный поток в статорных обмотках будет наводить переменные ЭДС, мгновенные значения которых пропорциональны скорости изменения магнитного потока

$$e_A = -w_c \frac{d\Phi_A}{dt}; \quad e_B = -w_c \frac{d\Phi_B}{dt}; \quad e_C = -w_c \frac{d\Phi_C}{dt}, \quad (11)$$

а действующие значения ЭДС определяются выражением

$$E_\Phi = 4,443 w_c f_0 \Phi_0 \sqrt{1 + \frac{3^2 n^2 + 1}{2} k^2}. \quad (12)$$

Возбуждение синхронных генераторов таким образом обладает преимуществами, так как действующее значение фазной ЭДС во многом определяется частотой переменной составляющей пульсирующего тока вращения вала $\omega_i = 3n\omega_0$, синхронизированной с частотой приводного двигателя. Такое управление возбуждением синхронного генератора позволит обеспечить требуемую мощность на нагрузке при снижении массовых и габаритных характеристик генератора.

Литература

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: «Гардарики», 2001. 198 с.
2. Каретин А.Г., Лычагов С.А., Петрук О.В. Электроника и электротехника. Часть 1. Теоретические основы электротехники. Серпухов: СВИ РВ, 2008. 300 с.
3. Лычагов С.А. Электроника и электротехника. Часть 1. Общая электротехника. Серпухов: СВИ РВ, 2009. 198 с.
4. Немцов М.В. Электротехника и электроника. М.: МЭИ, 2003. 486 с.

УДК 62-69

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПРЕДПУСКОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОЙ МОЩНОСТИ OPTIMIZATION OF PREHEATER VARIABLE POWER

Сергей Александрович Савочкин

начальник научно-исследовательской
испытательной лаборатории
НИИЦ АТ ФГБУ «3 ЦНИИ» МО РФ
Адрес: 140170, Московская обл., г. Бронницы,
ул. Красная, д. 85
Тел.: +7(926)389-36-52



Аннотация

В статье обоснована принципиальная возможность использования подогревателя переменной мощности для двухрежимной системы тепловой подготовки дизелей автомобилей, разработаны основные положения по выбору подогревателя переменной мощности для двухрежимной системы тепловой подготовки дизелей автомобилей, определена требуемая относительная величина мощности ТПУ, а так же определен конструктивный облик двухрежимных подогревателей дизелей автомобилей.

Ключевые слова: автомобиль, подогреватель переменной мощности, мощность, конструктивный облик, метод.

Summary

This article describes possibility to use variable power heater in the dual-mode heating system of diesel engines, elaborates main provisions for selection of variable power heater in the dual-mode heating system of diesel engines, defines required relative power value of the heat transfer device, describes constructive design of dual-mode heating system of diesel engines.

Keywords: vehicle, variable power heater, power, constructive design, method.

Эффективность форсированного подогрева и длительного поддержания теплового состояния дизелей автомобилей в минутной готовности к пуску и принятию нагрузки определяется величинами тепловых потоков, передаваемых основными механизмами и системам двигателей в процессах тепловой подготовки.

Тепловые потоки, необходимые при длительном поддержании теплового состояния (ДПТС) дизелей средней и большой мощности автомобилей представлены в таблице 1.

В статье рассмотрены два метода форсированного предпускового подогрева (ФПП): непосредственный нагрев подшипников коленчатого вала (КВ) и их орошение предварительно нагретым моторным маслом.

При равенстве тепловой мощности ТПУ (теплопередающих устройств) продолжительность предпускового подогрева методом одновремен-

ного нагрева подшипников КВ и моторного масла в 1,6 раз выше, чем при последовательном. Следовательно, применение ТПУ для одновременного нагрева подшипников КВ и моторного масла является более эффективным, чем для последовательного.

Кроме этого, анализ данных этой таблицы показывает, что существующие предпусковые подогреватели по теплопроизводительности не могут обеспечить предпусковой подогрев дизелей большой мощности (ЯМЗ-846, 847) в течение 15 минут. Для дизелей же средней мощности (КамАЗ-740 и ЯМЗ-846) сокращение времени подогрева на 60% приводит к необходимости использования подогревателя ПЖД-600 взамен ПЖД-30.

В результате, поддержание дизелей автомобилей в постоянной готовности к пуску и принятию нагрузки может производиться любым из

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Таблица 1

Требуемые тепловые потоки при длительном поддержании теплого состояния дизелей автомобилей в минутной готовности к пуску и принятию нагрузки

Объект нагрева	Средняя температура, °C	Тепло-носитель	Тепловая мощность, кВт			
			КамАЗ-740	ЯМЗ-238	ЯМЗ-846	ЯМЗ-847
ЦПГ, картер,	+ 50°C	ОЖ	4,0	4,7	5,7	8,5
ОЖ	+ 60°C					
Моторное масло	+0°C	ТПУ	0,4	0,5	0,8	1,1
КШМ	+ 10°C	ОЖ	0,5	0,5	0,7	1,0
БАИЭ	0...50°C	ТПУ	0,25	0,25	0,25	0,25
Всего по ОЖ	-	-	4,5	5,2	6,4	9,5
Всего по ТПУ	-	-	0,65	0,75	1,05	1,35

существующих подогревателей (от ПЖД-8 до ПЖД-600).

При этом, возможны различные варианты использования подогревателей для ФПП и ДПТС дизелей автомобилей, а именно:

- два подогревателя одинаковой мощности; при ФПП – работают оба подогревателя, а при ДПТС – один из них;

- два подогревателя разной мощности; один или оба работают при ФПП и один (меньший по мощности) – при ДПТС;

- один подогреватель с двумя уровнями мощности: номинальной – при ФПП и дефорсированной на 35-40% – при ДПТС.

Для расчета требуемой доли теплоты, отводимой с отработавшими газами подогревателя, главный проблемный вопрос состоит в определении степени их работоспособности.

В результате, доля теплоты, отдаваемая при охлаждении, определяется как отношение величины снижения температуры газов в парогенераторе к их температуре на выходе из подогревателя, выраженных в градусах Кельвина, а не Цельсия:

$$q_n = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{vxx}}, \quad (1)$$

где q_n – доля теплоты, передаваемая ТПУ при охлаждении выпускных газов подогревателя, кВт;

T_{max} – температура отработавших газов подогревателя на выходе из котла подогревателя, К;

T_{min} – температура отработавших газов подогревателя на выходе из парогенератора ТПУ, К.

Расчеты, выполненные по уравнению (1), показывают, что при температуре отработавших газов на выходе из подогревателя 650°C и их охлаждении до рационального предела 250°C ТПУ утилизирует около 40% теплоты этих газов.

В случае же дефорсирования мощности подогревателя температура отработавших газов снижается с 650°C до 400°C, что приводит к уменьшению полезной составляющей их теплоты (эксергии) с 40% до 22%.

По ранее используемой методике расчета доля теплоты отработавших газов, утилизируемая ТПУ, при их охлаждении с 650°C до 250°C, составляет 57%, а при охлаждении с 400°C до 250°C – 33%, что значительно превышает фактические величины.

Выбор подогревателей для двухрежимной системы тепловой подготовки следует производить на базе оценки соответствия величин подводимых тепловых потоков требуемым.

Основным критерием, отражающим тепловой баланс подогревателя, целесообразно принять отношение тепловой мощности по отработавшим газам к тепловой мощности по жидкости:

$$K_{плжд} = \frac{N_{ог}}{N_{ож}}, \quad (2)$$

где $K_{плжд}$ – критерий выбора подогревателя для двухрежимной системы тепловой подготовки дизелей автомобилей;

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

N_{oc} – тепловая мощность, отводимая с отработавшими газами подогревателя, кВт;

$N_{ож}$ – теплопроизводительность подогревателя по охлаждающей жидкости, кВт.

Это отношение изменяется при дефорсировании подогревателя. Поэтому, его следует оценивать по всему диапазону изменения теплопроизводительности подогревателя по жидкости.

В результате методику выбора предпускового подогревателя для двухрежимной системы тепловой подготовки следует представить в виде следующих последовательных этапов:

- расчет требуемого теплового баланса подогревателя, необходимого для обеспечения как форсированного подогрева, так и длительного поддержания теплого состояния дизелей автомобилей в постоянной готовности к использованию; расчет баланса должен производиться путем определения критерия $K_{пжд}$; при этом, требуемая тепловая мощность отработавших газов должна определяться при использовании уравнения (1);

- определение действительного теплового баланса подогревателя по всем диапазонам его теплопроизводительности по жидкости по критерию $K'_{пжд}$;

- сопоставление требуемого и действительного балансов предпускового подогревателя (значений $K_{пжд}$ и $K'_{пжд}$) и определение возможности его использования для двухрежимной системы тепловой подготовки дизелей автомобилей.

Выбор подогревателя для двухрежимной системы тепловой подготовки по рассмотренной методике может осуществляться в аналитической (табличной) или графической формах.

1. В случае использования подогревателя ПЖД-600, дефорсированного на 35-40%, для тепловой подготовки дизеля ЯМЗ-846 представляется возможным обеспечить все варианты процессов тепловой подготовки дизелей автомобилей.

2. В случае использования двух подогревателей ПЖД-30 не обеспечивается режим ДПТС дизелей автомобилей в условиях дефорсирования мощности подогревателей на 35-40%.

3. Применение подогревателя ПЖД-600 по сравнению с двумя ПЖД-30 при одинаковой теплопроизводительности по жидкости обуславливает большую величину тепловой мощности отработавших газов подогревателя, которую можно использовать для подогрева топлива, воздуха в кабине автомобиля и других систем шасси.

Как отмечалось выше, наиболее рациональным является применение одного подогревателя для обеспечения как форсированного подогрева, так и длительного поддержания теплого дизелей автомобилей.

Вместе с тем, такое решение характеризуется рядом особенностей. Так, в однорежимных системах предпускового подогрева дизелей, осуществляющих только форсированный нагрев, используются подогреватели, в которых привод всего насосного агрегата (воздушного, топливного и жидкостного насосов) производится одним электродвигателем. При этом, воздушный, топливный и жидкостный насосы имеют однозначные регулировки, не требующие изменения в процессе работы подогревателя.

Формирование же двухрежимной системы тепловой подготовки, основанное на применении подогревателя переменной мощности, обуславливает необходимость обеспечения регулировки, в результате которой происходит повышение коэффициента избытка воздуха в целях снижения теплонапряженности его котла в режиме длительного поддержания теплого состояния дизелей автомобилей. Для повышения коэффициента избытка воздуха при снижении теплопроизводительности подогревателя необходимо обеспечить регулировку топливного насоса в направлении уменьшения расхода топлива при неизменной или увеличенной подаче воздуха в камеру сгорания. Таким образом, регулировка топливного и воздушного насоса следует производить в двух противоположных направлениях.

В случае неизменности принципа построения насосного агрегата подогревателя, выражающегося в приводе воздушного и топливного насосов одним электродвигателем, дефорсирование мощности подогревателя можно осуществлять уменьшением напряжения на клеммах электродвигателя насосного агрегата или на непосредственным снижением количества топлива, подаваемого в насосный агрегат.

При таком методе дефорсирования мощности подогревателя температура его отработавших газов остается неизменной, что обуславливает недостаточное снижение теплонапряженности его котла. Это объясняется тем, что при снижении напряжения на клеммах насосного агрегата уменьшается производительность не только топливного насоса, но и воздушного вентилятора подогревателя. В результате, коэффициент избытка воздуха практически не изменяется, и как следствие температура отработавших газов подогревателя остается постоянной.

При дефорсировании мощности подогревателя непосредственным снижением расхода топлива температура отработавших газов уменьшается (с 650°C до 400°C). Это объясняется тем фактом, что при снижении количества топлива, подаваемого в топливный насос, мощность на

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

его привод уменьшается при неизменной мощности насосного агрегата в целом. В результате, увеличивается производительность воздушного вентилятора, а следовательно и количество подаваемого воздуха (на 20%-30%) и коэффициент избытка воздуха.

Таким образом, с точки зрения снижения теплонпряженности котла подогревателя и повышения его ресурса метод дефорсирования подогревателя непосредственным уменьшением расхода топлива является более предпочтительным, чем снижением напряжения на клеммах электродвигателя насосного агрегата.

При этом дефорсирование мощности подогревателя непосредственным уменьшением расхода топлива характеризуется снижением его давления перед топливной форсункой. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению угла распыла топлива форсункой, и как следствие к нарушению нормального режима работы подогревателя.

Снижение давления топлива негативно сказывается на пусковых качествах подогревателей при низких температур окружающего воздуха (минус 40-50°C) и в условиях закоксовывания распылителей форсунок в процессе эксплуатации.

Логически обоснованной попыткой решения этой проблемы в рамках сохранения неизменной компоновки насосного агрегата подогревателя, предложенной АО «ВНИИТРАСМАШ», является использование регулятора расхода и аккумулятора давления топлива. Регулятор расхода топлива используется для изменения соотношения количества воздуха и топлива, подводимых в камеру сгорания, в направлении повышения коэффициента избытка воздуха при снижении теплопроизводительности подогревателя. Аккумулятор давления предназначен для создания необходимого давления топлива на входе в форсунку только в период пуска подогревателя и стабилизации горения и устанавливается в контуре циркуляции топлива перед электромагнитным клапаном [2].

В связи с тем, что данное решение не обеспечивает поддержание требуемого давления топлива перед форсункой в течение всего процесса длительного поддержания теплого состояния, а следовательно, является неполным. Поэтому его нельзя рекомендовать к использованию на автомобилях.

Таким образом, выполненный анализ конструктивных решений по дефорсированию мощности подогревателя позволяет сделать важный вывод о том, что создание подогревателя переменной производительности при сохранении

единого привода насосного агрегата не представляется возможным.

Следовательно, переменная производительность подогревателя может быть обеспечена только использованием для привода топливного насоса отдельного электрического двигателя.

В этом случае, наиболее простое решение заключается в дефорсировании мощности подогревателя посредством снижения напряжения на клеммах отдельного электродвигателя, приводящего топливный насос. Данный метод позволяет дефорсировать мощность подогревателя на 25-30% при обеспечении максимального угла распыла топлива форсункой.

В то же время, главный недостаток этого метода, обуславливающий бесперспективность его использования, заключается в снижении давления топлива перед форсункой, что приводит к ухудшению пусковых качеств подогревателей в процессе эксплуатации и при отрицательных температурах воздуха.

Следующий шаг в направлении обеспечения переменной производительности подогревателя состоит в использовании электромагнитного импульсного топливного насоса. В этом случае, регулировка расхода топлива производится изменением частоты циклов топливного насоса. Такая система питания топливом применяется на подогревателях малой мощности – ПЖД-8, ПЖД-14, производительностью по жидкости соответственно 8 кВт и 14 кВт. Определение же возможности и эффективности использования топливной системы такого типа на подогревателях ПЖД-30 и ПЖД-600 требует дополнительной проработки.

Наиболее перспективным вариантом решения проблемы обеспечения надежного пуска и функционирования подогревателя с двумя уровнями мощности следует считать применение плазмохимической системы сжигания топлива, разработанного Серпуховским военным институтом ракетных войск [3].

В то же время, применение ПХС сжигания топлива позволяет использовать как импульсный так и шестеренчатый насосы. Тогда, регулировка расхода топлива может осуществляться как изменением частоты импульсов насоса, так и уменьшением количества топлива, подводимого к насосу.

Таким образом, в ходе проведенного анализа установлено, что формирование подогревателя переменной производительности целесообразно осуществлять, на первом этапе – на базе применения импульсного топливного насоса, а на втором – на основе использования плазмохимической системы сжигания топлива.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Дальнейшее расширение функций предпускового подогревателя не только для ФПП и ДПТС дизелей автомобилей, но и для отопления кабины автомобиля требует использования для привода жидкостного насоса отдельного электродвигателя. Это необходимо для работы жидкостного насоса не только при функционировании подогревателя, но и в период паузы в его работе, в целях обеспечения равномерности остывания ЦПГ дизелей автомобилей.

Исследования, выполненные в данной статье, позволили достичь следующих результатов:

1. Обосновать принципиальную возможность использования подогревателя переменной мощности для двухрежимной системы тепловой подготовки дизелей автомобилей.

2. Разработать основные положения по выбору подогревателя переменной мощности для двухрежимной системы тепловой подготовки дизелей автомобилей.

3. Определить требуемую относительную величину мощности ТПУ, составляющей 16% от тепловой мощности предпускового подогревателя.

4. Определить конструктивный облик двухрежимных подогревателей дизелей автомобилей.

Литература

1. Исследования возможности обеспечения длительной работы на холостом ходу дизеля ЯМЗ-642 на автомобиле ЗИЛ-131 способом выключения цилиндров. Отчет о НИР / В/ч 63539; 1978.

2. Определение возможности работы дизеля Д12А при малом стационарном отборе мощности. Отчет об ИР /21 НИИИ; Инв.2685,1965.

3. Научно-технический отчет о НИР «Концепция создания унифицированных с колесными машинами ВАТ моторно-трансмиссионных установок (УМТУ) и обоснование их использования на перспективных гусеничных машинах». Шифр «Полотер»: 21 НИИИ МО РФ, 2000.

УДК 621.316.729

СИНХРОНИЗАЦИЯ ГИБРИДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ МИКРОСХЕМЫ AD9548

SYNCHRONIZATION HYBRID NETWORK BASED MICROCHIP AD9548

Константин Валентинович Карпочкин

кандидат технических наук

старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(916)239-94-41

Михаил Иванович Пятов

аспирант

младший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(999)989-30-70

Аннотация

В статье описана синхронизация гибридной локальной сети EtherCAT. Рассмотрена микросхема AD9548, генерирующая выходные тактовые сигналы. Смоделировано применение высококачественного генератора тактового сигнала совместно с интегрированным трансивером для гибридной локальной сети. Представлены результаты моделирования изменения собственной частоты отладочной платы AD9548 и показана способность цифровой ФАПЧ корректировать изменение этой частоты.

Ключевые слова: Ethernet, EtherCAT, гибридная локальная сеть, синхронизация.

Summary

This article describes how to synchronize the hybrid EtherCAT network. We consider the chip AD9548 generates an output clock signal. Modeled the use of high-quality generator clock signal in conjunction with an integrated transceiver for the hybrid network. The results of the modeling change natural frequency of the AD9548 evaluation board and demonstrated the ability of the digital PLL to adjust the change of this frequency.

Keywords: Ethernet, EtherCAT, hybrid local network, synchronization.

При разработке гибридной шины Ethernet, построенной на основе протокола EoE (Ethernet over EtherCAT), следует решить задачу приоритетности сети. Работа с разделяемыми ресурсами в гибридных сетях потенциально влечет инверсию приоритетов. Неконтролируемая инверсия приоритетов ухудшает предсказуемость поведения сети и может стать причиной нарушения установленных сроков выполнения задач с высоким приоритетом. Проблема синхронизации двух устройств не так проста, как может показаться на первый взгляд. При более тщательном рассмотрении становится ясно, что необходимо не только точно фиксировать моменты времени, но и учитывать его промежутки, потраченные на процедуру считывания и записи показаний, на пересылку и коррекцию данных. Кроме того, следует понять, какова должна быть точность синхронизации (порядка секунд, микросекунд или еще точнее).

Для синхронизации работы объединенных в сеть узлов в EtherCAT применяется точное согласование распределенных часов EtherCAT – внутренних часов микросхем EtherCAT-контроллеров. В отличие от полностью синхронной связи, где при возникновении ошибки сразу же страдает качество синхронизации, распределенные согласованные часы имеют высокую степень устойчивости к возможным задержкам из-за ошибок и кратковременных сбоев связи, за счет локального хранения точного времени внутри каждого из распределенных устройств ввода/вывода.

В сети EtherCAT (сегмент и его протокол) механизм синхронизации времени реализован полностью аппаратно. Каждые часы могут легко и точно измерить задержку относительно других часов, так как для связи используется логическая и полнодуплексная физическая кольцевая структура Ethernet, т.е. каждый пакет

EtherCAT проходит дважды через каждое ведомое устройство (прямой и обратный путь по разным витым парам). На основе этого значения задержки производится подстройка распределенных часов, что позволяет достичь очень точной временной базы с разбросом существенно меньше 1 мкс в масштабах всей сети. Это идеальная точность для приложений синхронизированного управления движением и интеграции измерительных задач внутри одной сети. При использовании протокола Precision Time Protocol (PTP), описанного стандартом IEEE 1588, становится возможным выполнение синхронизации внутренних часов устройств, объединенных по сети Ethernet, с погрешностями, не превышающими 1 микросекунду. На *рисунке 1* показан принцип выполнения синхронизации по времени в локальной сети EtherCAT [1, 2].



Рис. 1. Синхронизации по времени в локальной сети EtherCAT

Если необходимо использование протокола PTP в системе, должен быть реализован стек протокола PTP. Это может быть сделано при предъявлении минимальных требований к производительности процессоров устройств и к пропускной способности сети. Это очень важно для реализации стека протокола в простых и дешевых устройствах. Протокол PTP может быть без труда реализован даже в системах, построенных на дешевых контроллерах.

Единственное требование, которое необходимо удовлетворить для обеспечения высокой точности синхронизации, – как можно более точное измерение устройствами момента времени, в который осуществляется передача сообщения, и момента времени, когда осуществляется прием сообщения. Измерение должно производиться максимально близко к аппаратной части (например, непосредственно в драйвере) и с максимально возможной точностью. В реализациях исключительно на программном уровне архитектура и производительность системы непосредственно ограничивают максимально до-

пустимую точность (миллисекундный диапазон).

При использовании дополнительной поддержки аппаратного обеспечения для присвоения меток времени, точность может быть значительным образом повышена и может быть обеспечена ее виртуальная независимость от программного обеспечения (микросекундный и даже наносекундный диапазон). Для этого необходимо использование дополнительной логики, которая может быть реализована в программируемой логической интегральной схеме или специализированной, для решения конкретной задачи, интегральной схеме на сетевом входе.

Применение высококачественного генератора тактового сигнала совместно с одним или несколькими интегрированными трансиверами позволяет упростить локально вычислительную сеть и уменьшить ее стоимость, добившись при этом превосходных характеристик приема и передачи. Этот подход позволяет всем базовым станциям в сети оставаться синхронизированными друг с другом даже при потере опорного синхросигнала в течение длительного периода. Для синхронизации этого тактового сигнала с опорным синхросигналом требуется гибкая цифровая схема ФАПЧ, обеспечивающая низкие показатели фазового шума. Идеально для данной задачи подходит схема формирования/синхронизации сетевых тактовых сигналов на базе микросхемы AD9548.

AD9548/PCBZ является оценочной платой для формирования 4/8 канального (CMOS или LVDS/LVDP) сетевого тактового генератора/синхронизатора, то есть генерирует выходные тактовые сигналы с синхронизацией с одним из четырех дифференциальных или восьми несимметричных внешних источников опорного напряжения. Устройства на базе AD9548 могут предоставлять синхронизацию для различных систем, включая синхронные оптические сети (SONET/SDH). Цифровая ФАПЧ позволяет уменьшить время дрожания на входе или фазового шума, связанного с внешними источниками опорного напряжения. AD9548 непрерывно генерирует чистый выходной сигнал, даже если все источники опорного напряжения вышли из строя, что хорошо видно на *рисунках 2-4*.

В процессе моделирования выход источника опорного синхросигнала подключается к одному из входов опорной частоты AD9548, а тактовый сигнал с малым фазовым шумом подается на вход системного тактового сигнала микросхемы. Значение частоты выходного тактового сигнала программно выбирается из диапазона 32–48 МГц. Некоторые генераторы сетевых тактовых сигналов могут работать с весьма широким

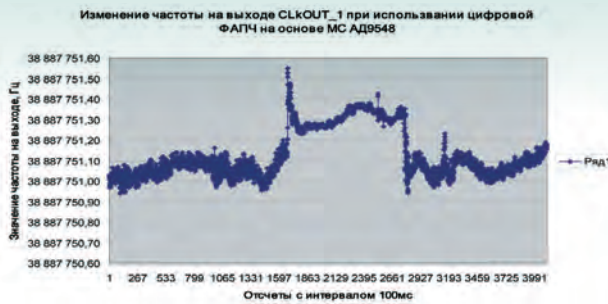


Рис. 2. Изменение собственной частоты цифрового контура ФАПЧ



Рис. 3. Изменение собственной частоты цифрового контура ФАПЧ ($f_s=40$ МГц)



Рис. 4. Изменение собственной частоты цифрового контура ФАПЧ ($f_s=35$ МГц)

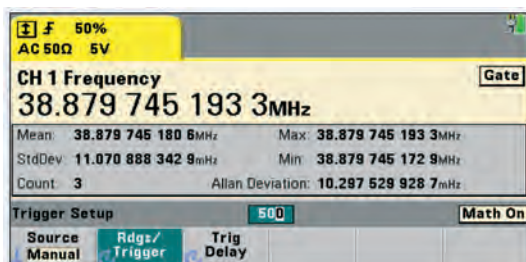


Рис. 5. Использование встроенного модуля подсчета девиации методом Алана

диапазоном входных частот, что позволяет использовать различные варианты опорных синхросигналов и тактовых сигналов с низким фазовым шумом. Грамотный выбор входных частот дает возможность упростить структуру системы, уменьшить ее стоимость, обеспечить наилучшие показатели приема/передачи и достичь

соответствия требуемым спецификациям удержания частоты.

Для обеспечения синхронизма между выходным тактовым сигналом и опорным синхросигналом в AD9548 используется не аналоговая, а цифровая схема фазовой автоподстройки частоты (DPLL, digital phase-locked loop). За счет этого в системе достигаются превосходные показатели удержания частоты, которые ограничены лишь дрейфом источника системного тактового сигнала. Более того, показатели фазового шума выходных тактовых сигналов AD9548 определяются фазовым шумом системного тактового сигнала, а не синхросигнала. Это позволяет устройству работать от синхросигнала со значительным шумом, не передавая его на выход.

Для синхронизации базовых станций используется выходной сигнал приемника GPS/GLONAS с частотой один импульс в секунду 1 pps (pulse per second). Тактовый сигнал трансивера синхронизируется с опорным синхросигналом (от GPS-приемника), реализованный на базе модуля «Геос-3».

При проведении моделирования было использовано следующее оборудование:

- цифровой анализатор сигнала (частотомер) Agilent 53230A;
- отладочная плата AD9548;
- отладочная плата на основе GPS/GLONAS модуля «Геос-3»;
- монтажный комплект (резисторы, конденсаторы);
- соединительные кабели.

На рисунках 2-5 представлены результаты моделирования изменения собственной частоты отладочной платы AD9548 и показана способность цифровой ФАПЧ корректировать изменение этой частоты (рисунки 2).

Моделирование на основе отладочной платы AD9548 подтвердило высокую стабильность цифровой ФАПЧ, реализованную с учетом использования протокола RTR стандарта IEEE 1588, которая позволяет обеспечивать синхронизацию в локальных сетях на основе этого протокола в наносекундном диапазоне.

Литература

1. The ETG.1000 series specifies the EtherCAT Technology within the EtherCAT Technology group: ETG.1000.2: Physical Layer service definition and protocol specification; ETG.1000.3: Data Link Layer service definition; ETG.1000.4: Data Link Layer protocol specification; ETG.1000.5: Application Layer service definition; ETG.1000.6: Application Layer protocol specification.
2. ETG.1005.A: EAP State Machine.
3. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб: Питер, 2002. 672 с.: ил.
4. Спортак М.А. и др. Высокопроизводительные сети. Энциклопедия пользователя. Киев: ДиаСофт, 2000. 432 с.
5. Gardner, Floyd M. 2005. Phaselock Techniques, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.

УДК 621.396

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АНТЕННЫХ СИСТЕМ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ FORECASTING OF A RESIDUAL RESOURCE OF ANTENNA SYSTEMS OF LAND STATIONS OF MEASURING COMPLEXES



Кирилл Юрьевич Цветков

доктор технических наук, профессор
начальник кафедры Сетей и систем связи
космических комплексов
Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
Ждановская наб., д. 13
Тел.: +7(911)947-19-58
E-mail: wavelet3@yandex.ru

Александр Александрович Ковальский

кандидат технических наук
старший научный сотрудник отдела
Военного института (научно-исследовательского)
Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
Ждановская наб., д. 13
Тел.: +7(911)278-56-50
E-mail: sake636@mail.ru

Владимир Юрьевич Пальгунов

заместитель начальника
учебно-методического отдела
Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
Ждановская наб., д. 13
Тел.: +7(898) 125-56-805
E-mail: palgunov_vl_yur@mail.ru

Аннотация

В статье сформулирован подход к прогнозированию остаточного ресурса антенных систем наземных станций измерительных комплексов по критерию неустраняемого отказа с целью обоснования возможности продления сроков эксплуатации сверх назначенных значений по данным об отказах элементов оборудования, результатам объективного обследования состояния критичных составных частей и укомплектованности запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП).

Ключевые слова: прогнозирование остаточного ресурса, критерий неустраняемого отказа, антенная система, измерительный комплекс.

Summary

In the article approach to forecasting of a residual resource of antenna systems of land stations of measuring complexes by criterion of ineradicable refusal, for the purpose of justification of possibility of extension of terms of operation over the appointed values by data about refusals of elements of the equipment, to results of objective inspection of a condition of critical components and completeness of spare parts, tools and accessories is formulated (ZIP).

Keywords: forecasting of a residual resource, criterion of ineradicable refusal, antenna system, measuring complex.

Необходимым условием обеспечения боеготовности и боеспособности Вооруженных сил Российской Федерации (РФ) является применение различных космических систем (КС) для решения задач связи, стратегической разведки, раннего предупреждения о ракетном нападении, метеорологического и навигационного обеспечения всех видов и родов войск и других задач.

Для решения задач контроля всех этапов подготовки пуска, пуска РКН, выведения полезной нагрузки на заданную орбиту и последующего управления космическими аппаратами (КА) в орбитальном полете на космодромах РФ применяются многофункциональные комплексы специальных средств, называемые измерительными комплексами (ИК). Измерительный комплекс предназначен для организации приема, регистрации, сбора, обработки и выдачи потребителям измерительной информации при подготовке к пускам, пусках и полете ракетно-космических, ракетных носителей (РКН, РН), запусках КА и разгонных блоков (РБ), а также проведения сеансов управления КА в орбитальном полете.

Надежность механического и радиоэлектронного оборудования наземных станций (НС) ИК снижается из-за ухудшения параметров технического состояния в процессе длительной эксплуатации, вследствие чего доля времени простоя ИК из-за отказов оборудования составляет 74%. Особые условия эксплуатации ИК на космодромах и командно-измерительных комплексах вызывают повышенный износ ряда механических и электромеханических элементов антенных систем (АС), что составляет 61% от общего числа отказов. В то же время практика эксплуатации показывает, что технический ресурс составных частей опорно-поворотных устройств (ОПУ), входящих в состав АС, расходуется неравномерно.

Возможности восстановления работоспособного состояния радиоэлектронной аппаратуры ограничиваются из-за истощения ЗИП и снятия с производства отдельных комплектующих. Из находящихся в настоящее время в эксплуатации технических НС ИК 26% произведены на предприятиях-изготовителях, находящихся за пределами РФ. Лишь три технических средства являются собственностью РФ. В среднем средства измерительного комплекса космодрома укомплектованы ЗИПом на 61,8%.

Принимая во внимание недостаточные финансовые возможности для обновления и модернизации парка НС ИК, можно сделать вывод о том, что требование обеспечения выполнения

комплекса целевых задач ИК на космодромах и командно-измерительных комплексах в сложившихся условиях обуславливает необходимость регулярного продления эксплуатации средств с истекшими гарантийными и назначенными сроками службы при наличии к тому достаточных оснований. При этом должны быть выполнены предъявляемые требования к качеству функционирования НС ИК.

Необходимо отметить, что продление эксплуатации НС ИК до настоящего времени базировалось на усредненных (групповых) оценках технического состояния, зачастую носящих экспертный характер, что не в полной мере отвечает требованиям обоснованности принимаемых решений. Современная ситуация требует внедрения в практику эксплуатации НС ИК космодромов и командно-измерительных комплексов ресурсосберегающей стратегии продления назначенных показателей ресурса, опирающейся на индивидуальное прогнозирование фактического запаса остаточного ресурса НС ИК с учетом специфики влияния условий внешней среды на космодромах и командно-измерительных комплексах, а также интенсивности целевого применения на скорость расходования ресурса оборудования. Внедрение ресурсосберегающих стратегий поддержания и восстановления работоспособного состояния космических средств в настоящее время признано одним из наиболее перспективных путей совершенствования эксплуатации космической техники.

Методика прогнозирования показателей остаточного срока службы АС НС ИК по критерию неустранимого отказа предназначена для получения количественных оценок показателей остаточного ресурса по результатам обследования текущего технического состояния и анализа сведений об отказах АС НС ИК. Результаты, полученные с помощью данной методики могут быть использованы при обосновании оптимальных объемов ремонтно-восстановительных работ, обеспечивающих заданное (или максимально возможное при выделенном количестве средств на ремонт) продление назначенных показателей технического срока службы АС НС ИК.

Исходными данными для прогнозирования показателей остаточного срока службы АС НС ИК являются:

1. Результаты приборного контроля параметров элементов средства, подверженных постепенным отказам, приведенные в *таблице 1*.
2. Результаты сбора информации о внезапных отказах элементов, приведенные в *таблице 2*.

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Таблица 1

Результаты приборного контроля

№ п/п	Наименование исходных данных	Обозначение	Размерность
1	Количество определяющих параметров элемента	N	ед.
2	Результаты периодического контроля определяющих параметров элемента (v – номер параметра, j – номер измерения)	y_{vj}	ед.изм. физ. величины
3	Число измерений параметров	n	ед.
4	Значения границ допусков: нижняя граница поля допуска верхняя граница поля допуска	Δy_v^H Δy_v^B	ед.изм. физ. величины ед.изм. физ. величины
5	Интервал упреждения прогноза	t_{np}	цикл
6	Предельно допустимое значение вероятности отказа элемента	$P_{пор}$	б/р

Таблица 2

Результаты сбора информации

№ п/п	Наименование исходных данных	Обозначение	Размерность
1	Выборочные значения наработки элемента до отказа	t_r	цикл
2	Выборочные значения наработки элемента до цензурирования	t_n	цикл
3	Число наработок до отказа	r	ед.
4	Число наработок до цензурирования	n	ед.
5	Объем выборки	N	ед.

3. Структурная схема надежности АС НС ИК для различных режимов применения по назначению.

4. Сведения о номенклатуре и количественном составе ЗИП средства.

5. Требуемый (предполагаемый к установлению при продлении) остаточный срок службы средства $T_{тр}$ (в циклах).

В состав выходных данных входят следующие, приведенные в таблице 3, показатели.

Под остаточным (после наработки t) сроком службы или остаточным ресурсом (ОР) объекта понимается его наработка, начиная с момента t до перехода в предельное состояние при установленных режимах применения и условиях эксплуатации [1].

Под наработкой понимается продолжительность или объем работы объекта. Нарботка может измеряться в единицах времени или объема выполненной работы [3]. Для АС НС ИК, с уче-

Таблица 3

Выходные данные

№ п/п	Наименование выходных данных	Обозначение	Размерность
1	Средний остаточный ресурс (на момент t)	$T(t)$	цикл
2	Гамма-процентный остаточный ресурс (на момент t)	$Tg(t)$	цикл
3	Объем работ по обеспечению остаточного ресурса	V	перечень операций

том специфики их применения, наиболее удобно измерять наработку в циклах, понимая под циклом сеанс работы АС НС ИК. Для непрерывно функционирующих средств под циклом может пониматься календарный отрезок времени (месяц, год).

Предельное состояние (ПС) – состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно [3].

Критериями предельного состояния объекта являются установленные в стандартах и конструкторских документах признаки состояния объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация невозможна, нецелесообразна или опасна [2]. В основу формирования критериев предельного состояния АС НС ИК целесообразно положить признаки, характеризующие невозможность восстановления работоспособного состояния.

Невозможность восстановления работоспособного состояния объекта определяется возникновением неустранимых (в данных условиях) отказов, вызывающих прекращение функционирования объекта [2].

Под неустранимостью отказа АС НС ИК понимается невозможность устранения отказа без прерывания применения средства по назначению и проведения определенных действий, вызывающих длительные перерывы функционирования средства и необходимость вложения значительных материальных и финансовых средств (проведение среднего и капитального ремонта, модернизация средств, разработка и изготовление блоков аппаратуры на новой элементной базе, демонтаж и замена стационарных кабельных сетей и т.п.).

Структурной схемой надежности (ССН) называется условная схема, учитывающая влияние отказов элементов на работоспособность средства [4]. При последовательном включении элемента в средств ССН его отказ приводит к отказу средства. Параллельное соединение элементов свидетельствует об их взаимном резервировании.

Под узлом средств ССН понимается совокупность последовательно входящего в средств ССН элемента и его резерва. Отказ узла означает отказ всего средства. Отказ узла происходит при отказе основного и всех резервных элементов.

Показатели остаточного ресурса – числовые характеристики случайной величины (СВ) ξ_τ – наработки объекта от момента τ до перехода в ПС. При оценивании ОР применяют следующие показатели ОР:

$T(\tau)$ – средний остаточный ресурс;
 $T_\gamma(\tau)$ – гамма-процентный остаточный ресурс;
 $P_\tau(\tau)$ – условная вероятность недостижения ПС на интервале от τ до $\tau+t$.

Средний остаточный ресурс есть математическое ожидание случайной величины ξ_τ [1]:

$$T(\tau) = \int_0^\infty P_\tau(t) dt = \frac{1}{P(\tau)} \int_\tau^\infty P(t) dt. \quad (1)$$

Гамма-процентный остаточный ресурс есть наработка с момента времени t , в течение которой проработавший до момента t объект не перейдет в предельное состояние с вероятностью не менее γ процентов. $T(\tau)$ определяется из уравнения [1]:

$$P_\tau[\tau + T_\gamma(\tau)] = \gamma / 100. \quad (2)$$

Условная вероятность недостижения ПС на интервале от τ до $\tau+t$ есть условная вероятность $P_\tau(t)$ недостижения ПС на интервале $[\tau; \tau+t]$ при условии, что до момента τ объект не достиг предельного состояния [1]:

$$P_\tau(t) = \frac{P(\tau + t)}{P(\tau)}, \quad (3)$$

где $P(t)$ – вероятность недостижения ПС объектом на интервале наработки от 0 до t .

Прогнозирование показателей ОР узлов АС НС ИК базируется на следующем положении, вытекающем из особенностей реальной организации процесса восстановления работоспособности оборудования АС НС ИК.

Отказ узла ССН АС НС ИК относится к категориям неустранимых, если исчерпаны все возможные ресурсы для восстановления работоспособности узла, доступные для обслуживающего персонала войсковой части. К таким ресурсам относятся:

- переключения на резервные комплекты оборудования (если они предусмотрены при конструировании аппаратуры);
- замена отказавших блоков на работоспособные из штатного ЗИПа (индивидуального и группового);
- замена отказавших блоков на работоспособные из нештатного ЗИПа (аналогичные блоки однотипных средств).

Ремонт отказавших блоков АС НС ИК в условиях части в настоящее время как правило невозможен, поэтому данный способ восстановления работоспособности не рассматривается.

С учетом сказанного выше, оценивание вероятности недостижения предельного состояния узлом ССН АС НС ИК эквивалентно определению значения вероятности безотказной ра-

боты узла при включении в него всех видов используемого для восстановления работоспособности резерва (резервных элементов АС НС ИК, элементов индивидуального и группового ЗИПа, элементов однотипного оборудования). При этом из числа рассматриваемых узлов ССН должны быть исключены те, по которым для всей величины интервала продления не существует проблемы с оперативным пополнением ЗИП (либо восстановлением работоспособного состояния его отказавших элементов).

Для АС НС ИК характерны два типа узлов средств ССН:

- тип 1 – узел с поэлементным нагруженным резервом;
- тип 2 – узел со скользящим нагруженным резервом.

Поэлементное резервирование применяется в ситуации, когда резервные элементы могут использоваться для восстановления работоспособности только одного основного элемента. Данная ситуация характерна для средств, где в структурной схеме надежности отсутствуют повторяющиеся однотипные элементы.

Скользящее резервирование встречается в ситуациях, когда для нескольких основных элементов АС НС ИК существует общий резерв.

Допущение о нагруженности резерва элементов АС НС ИК принято на основании следующих соображений:

- интенсивность расходования ресурса основных и запасных блоков АС НС ИК практически одинакова ввиду того, что ЗИП состоит из блоков, изготовленных, как правило, одновременно с основными, формируется из восстановленных блоков при ремонте на предприятии-изготовителе, восстановления ресурса при ремонте в полном объеме не производится, часть запасных блоков функционирует в составе однотипной аппаратуры;
- условия эксплуатации и хранения основных и запасных блоков одинаковы;
- время замены отказавших блоков на запасные несущественно;
- при переходе на резервный элемент не возникают какие-либо переходные режимы, нарушающие нормальное функционирование.

Структурная схема резервной группы, состоящей из одного основного и m нагруженных резервных элементов, представлена на рисунке 1.

Вероятность безотказной работы такого узла в соответствии с [5] рассчитывается по следующей формуле:

$$P_e(t_0) = 1 - \prod_{1 \leq i \leq m} q_i(t_0), \quad q_i(t_0) = 1 - p_i(t_0), \quad (4)$$

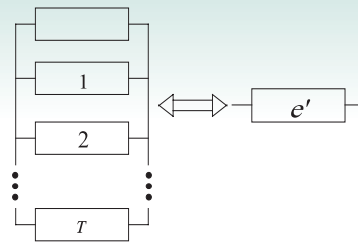


Рис. 1. Структурная схема узла с поэлементным нагруженным резервом

где $p_i(t_0)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента узла за время t_0 .

Расчет вероятности безотказной работы узла второго типа

Структурная схема резервной группы, состоящей из n основных и m резервных элементов, находящихся в нагруженном режиме, представлена на рисунке 2.

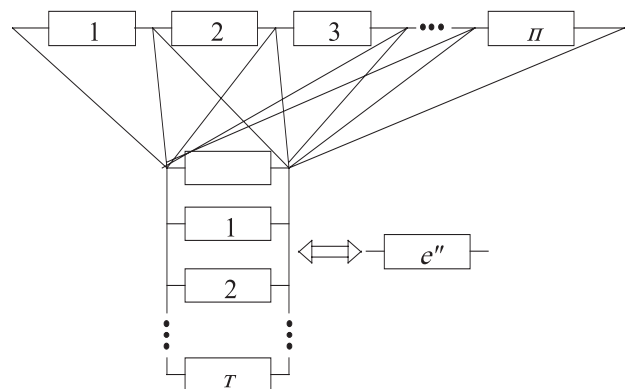


Рис. 2. Структурная схема узла со скользящим нагруженным резервом

Вероятность безотказной работы такого узла в соответствии с [5] рассчитывается по следующей формуле:

$$P_e(t_0) = P \left(1 + \sum_{1 \leq i \leq n+m} \gamma_i + \sum_{1 \leq i < j \leq n+m} \gamma_i \gamma_j + \dots + \sum_{g_m \in G_m} \prod_{k \in g_m} \gamma_k \right), \quad (5)$$

где $P = \prod_{1 \leq i \leq n+m} p_i(t_0)$;

$$\gamma_i = [1 - p_i(t_0)] / p_i(t_0);$$

g_m – множество ровно m различных индексов

$k \in (1, \dots, n)$;

G_m – множество всех g_m , т.е. всех различных наборов по m индексов из n (число их равно C_{n+m}^m).

Приближенные выражения для $P(t_0)$ имеют вид [5]:

а) заниженное значение

$$P_n(t_0) = 1 - C_{n+m}^{m+1} \prod_{1 \leq i \leq n+m} q_i, \quad (6)$$

где $q_i = 1 - p_i(t_0)$;

б) завышенное значение

$$P_b(t_0) = 1 - C_{n+m}^{m+1} \left((n+m)^{-1} \sum_{1 \leq i \leq n+m} q_i \right)^{m+1}. \quad (7)$$

Для прогнозирования значений показателей остаточного ресурса узла необходимо знать зависимость его вероятности безотказной работы (ВБР) от наработки.

Исходными данными для решения этой задачи являются значения ВБР элементов узла, рассчитанные для некоторого фиксированного числа точек интервала упреждения прогноза.

Пусть $\{t_i\} = \{t_1, t_2, \dots, t_L\}$ – множество точек интервала упреждения; $\{p_i(t_i)\}$ – множество значений ВБР i -го элемента узла, рассчитанных для L точек множества $\{t_i\}$.

Тогда, используя формулу (4) для узла первого типа, или (5)-(7) для узла второго типа, получим множество значений ВБР узла: $P(t_i)$, $i = \overline{1, L}$.

Функция надежности узла может быть представлена с достаточной для практических приложений с точностью полиномиальной моделью в виде многочлена:

$$P(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_\lambda t^\lambda,$$

где a_j – параметры;

t – наработка в циклах ($t = 1, 2, \dots, L$);

λ – степень полинома.

Оценки параметров $a_0, a_1, \dots, a_\lambda$ можно получить с помощью метода наименьших квадратов в виде решения системы уравнений, записанных в матричном виде [6]:

$$T'Y = T'Ta, \quad (8)$$

$$\text{где } Y = (P(t)), \quad a = (a_j); \quad T = \begin{bmatrix} 1 & t & \dots & t^\lambda \\ 1 & t & \dots & t^\lambda \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & t & \dots & t^\lambda \end{bmatrix}.$$

В большинстве практических случаев достаточно ограничиться степенью $\lambda = 1$.

Тогда, функция надежности узла будет иметь следующий вид:

$$P(t) = At + 1, \quad (9)$$

$$\text{где } A = \frac{L \cdot \sum P_i \cdot I - \sum P_i \sum I}{L \cdot \sum I^2 - (\sum I)^2}, \quad (10)$$

$P_i = P(t_i)$, суммирование в формуле (10) осуществляется от 1 до L .

Используя полученное выражение для $P(t)$, можно рассчитать ожидаемые значения показателей остаточного ресурса узла.

Пусть τ – момент оценивания показателей остаточного ресурса узла. На практике необходимо различать два возможных варианта оценивания показателей остаточного ресурса.

Вариант 1 ($\tau = 0$). В этом случае оценивание показателей остаточного ресурса производится после полной проверки работоспособности узла и уточнения его функции надежности с обработкой всех доступных к данному моменту исходных данных о надежности элементов узла.

Применительно к АС НС ИК данная ситуация имеет место при оценивании остаточного ресурса узлов непосредственно после окончания автономных и комплексных испытаний, либо годового технического обслуживания, когда работоспособность всех узлов ССН АС НС ИК достоверно установлена.

Вариант 2 ($\tau > 0$). В данном случае оценивание остаточного ресурса узла проводится по истечении некоторого интервала наработки τ после последнего полного контроля работоспособности узла. Оценивание показателей ОР по варианту 2. Последовательность оценивания показателей ОР при $\tau > 0$ следующая.

По функции $P(t)$ для заданного момента τ определяются значения $P(\tau)$ и $P(\tau+t)$ (см. рис. 3а).

С использованием формулы (3) строится функция $P_i(t)$ – зависимость условной вероятности безотказной работы узла (по отношению к неустраняемым отказам) от наработки. Функция $P_i(t)$ имеет вид, показанный на рисунке 3б.

С помощью формулы (1) определяется значение среднего остаточного ресурса узла $T(\tau)$ после момента τ . На рисунке 3б и 3в показаны варианты расчета $T(\tau)$ по формуле (1). Значение $T_y(\tau)$ – гамма-процентного ОР узла определяется на основе формулы (2). Рисунок 3г иллюстрирует процесс получения оценки.

В работе [7] получены оценки снизу для $T(\tau)$ и $T_y(\tau)$:

$$T(\tau) \geq T - \tau, \quad T_y(\tau) \geq T_y - \tau, \quad (11)$$

$$\text{где } T = \int_0^\infty P(t) dt;$$

$$T_y = T/P(0) = \gamma/100.$$

Оценивание показателей ОР по варианту 1. Для случая, когда $\tau = 0$, имеем (см. (1)):

$$T(\tau) = \frac{1}{P(0)} \int_0^\infty P(t) dt = \int_0^\infty P(t) dt = T, \quad (12)$$

$$P_\tau(t) = \frac{P(t)}{P(0)} = P(t) \quad (\text{см. (3)}), \quad (13)$$

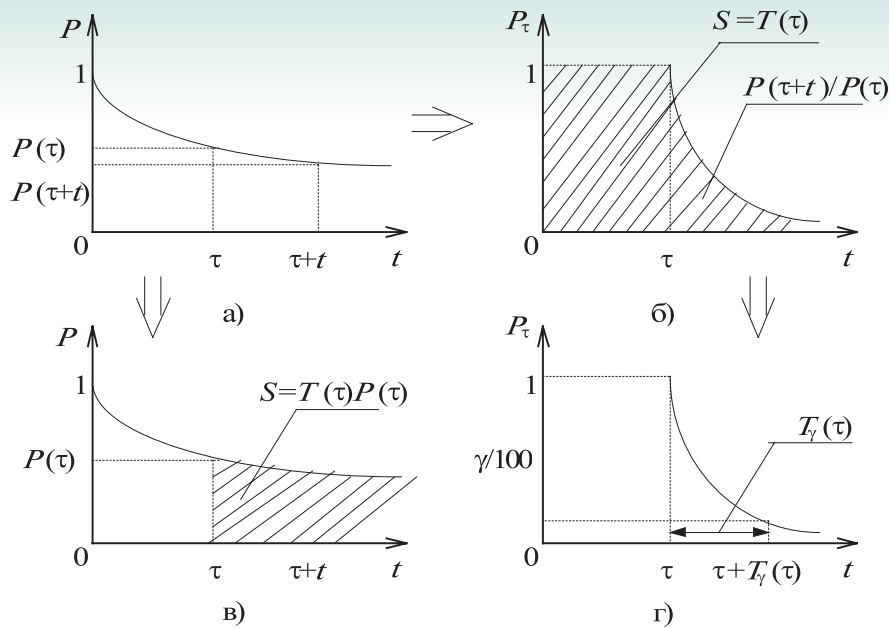


Рис. 3. Оценивание показателей остаточного ресурса при $\tau > 0$:

- а) определение значений $P(t)$ и $P(\tau+t)$ по функции $P(t)$;
- б) определение значения $T(\tau)$ по функции $P(t)$;
- в) определение значения $T(\tau)$ по функции $P(t)$;
- г) определение значения $T(\tau)$ по функции $P(t)$.

$$T_\gamma(\tau) = t / P(t) = \gamma / 100 = T_\gamma. \quad (14)$$

Таким образом, при $\tau = 0$ ожидаемый гамма-процентный ресурс совпадает с гамма-процентной наработкой, а средний остаточный ресурс равен средней наработке до отказа.

Рисунок 4 поясняет особенности определения показателей остаточного ресурса для случая $\tau = 0$.

Оценивание показателей остаточного ресурса узлов АС НС ИК по варианту 1 является наиболее распространенным в практике эксплуатации АС НС ИК. Критерием предельного состояния АС НС ИК является достижение предельного состояния хотя бы одним узлом средств ССН этих средств. В связи с этим, вероятность недостижения ПС АС НС ИК за наработку t_0 определяется формулой:

$$P_c(t_0) = \prod_{j=1}^J P_j(t_0), \quad (15)$$

где $P_j(t_0)$ – значение вероятности безотказной работы j -го узла ССН АС НС ИК за наработку t_0 (по отношению к неустранимым отказам); J – количество узлов в ССН АС НС ИК.

Последовательность оценивания ожидаемых показателей остаточного ресурса АС НС ИК в целом аналогична соответствующим процедурам для узла средств ССН, описанным выше.

Рассчитываются значения $P_c(t_l)$, $l = \overline{1, L}$ по формуле (15), где L – число точек интервала упреждения прогноза. Полученная последовательность значений вероятностей $P_c(t_l)$ аппроксимируется полиномом, коэффициенты которого рассчитываются по формуле (11). В зависимости от ситуации (при $\tau > 0$ или $\tau = 0$) оценивают-

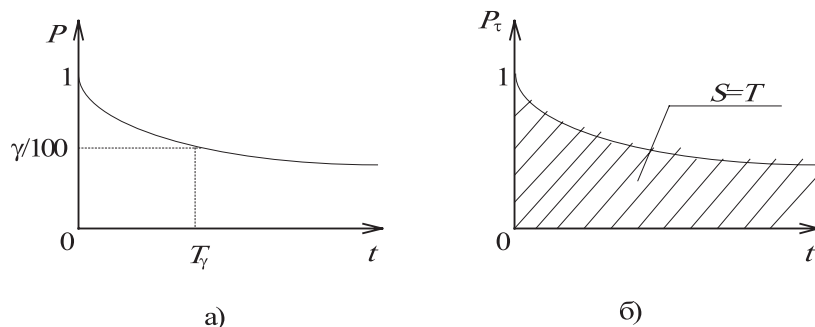


Рис. 4. Оценивание показателей остаточного ресурса при $\tau = 0$:
а) определение значения $T_\gamma(\tau) = T_\gamma$; б) определение значения $T(\tau) = T$

ся значения показателей остаточного ресурса по варианту 1 или 2.

Прогнозирование показателей ОР по схеме, целесообразно осуществлять при сравнительно одинаковой равнопрочности узлов АС НС ИК.

Равнопрочность – свойство изделия, заключающееся в отсутствии проявлений неравнопрочности на протяжении заданного периода эксплуатации или заданной наработки.

Неравнопрочность – свойство изделия, заключающееся в неравенстве ресурсов его составных элементов [8].

Однако, абсолютно равнопрочных изделий на практике не существует. Неравнопрочность – закономерное свойство любого сложного (многокомпонентного) изделия.

Наиболее явно свойство неравнопрочности проявляется при длительной эксплуатации элементов средств, когда становится особенно различимой дифференциация элементов по уровню остаточного ресурса, обусловленная разными скоростями расходования ресурса, связанными, в свою очередь, с различными по интенсивностям воздействия влияниями условий эксплуатации, а также проявляющейся с течением времени разницей в начальном запасе ресурса элементов, закладываемого при разработке и создании оборудования.

В АС НС ИК с этим, остаточный ресурс неравнопрочного средства, составленной из последовательно соединенных в смысле надежности узлов, ограничивается величиной остаточного ресурса наименее прочного узла. Приведенная формулировка составляет содержание так называемого принципа «слабого звена», применение которого может упростить задачу определения остаточного ресурса АС НС ИК в ряде практических случаев.

При этом, показатели ОР АС НС ИК определяются по следующим формулам:

$$T_c(\tau) = T^*(\tau) \left(T^*(\tau) = \min_{j=1, J} T_j(\tau), \right.$$

$$T_{\gamma_c}(\tau) = T_{\gamma}^*(\tau) \left| T_{\gamma}^*(\tau) = \min_{j=1, J} T_{\gamma_j}(\tau), \right. \quad (16)$$

где $T_c(\tau)$, $T_{\gamma_c}(\tau)$ – значения среднего остаточного и гамма-процентного остаточных ресурсов АС НС ИК; $T_j(\tau)$, $T_{\gamma_j}(\tau)$ – значения аналогичных показателей j -го узла ССН АС НС ИК; J – количество узлов в ССН АС НС ИК.

Рисунок 5 иллюстрирует процесс определения значений показателей ОР АС НС ИК приближенным методом по диаграммам ресурсов узлов.

Для принятия решения о способе расчета показателей ОР необходимо воспользоваться количественным критерием степени равнопрочности средства, приведенным ниже.

Пусть T_j , $j = \overline{1, J}$ – результаты оценивания остаточного ресурса узлов ССН АС НС ИК, тогда:

$$\bar{T} = 1/J \sum_{j=1}^J T_j, \quad \sigma_T^2 = 1/J \sum_{j=1}^J (T_j - \bar{T})^2 \quad (17)$$

есть, соответственно, выборочные среднее и дисперсия случайной выборки оценок ОР.

При случайном рассеивании оценок T_j относительно среднего нормально распределенная случайная величина $\hat{T}$ с большой вероятностью принимает значения, близкие к своему математическому ожиданию $\bar{T}$, что выражается правилом сигм [9]:

$$P\left\{|\hat{T} - \bar{T}| \geq k\sigma\right\} = \begin{cases} 0,3173..., k=1, \\ 0,0455..., k=2, \\ 0,0027..., k=3. \end{cases} \quad (18)$$

Чаще всего используется правило трех сигм. В соответствии с (18), средство считается равнопрочным, если результаты оценивания оста-

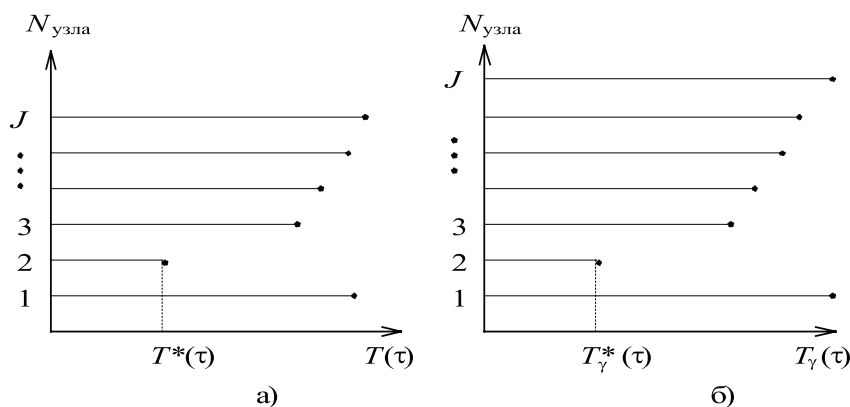


Рис. 5. Оценка показателей остаточного ресурса АС НС ИК приближенным методом

точного ресурса его узлов располагаются в интервале $[\bar{T} - 3\sigma_T, \bar{T} + 3\sigma_T]$. В противном случае средство считается неравнопрочным, и его остаточный ресурс может определяться по наиболее «слабому звену» в смысле ресурса узла по схеме, изложенной выше. Сущность решения задачи обеспечения требований к остаточному ресурсу АС НС ИК заключается в анализе значений показателей ОР узлов АС НС ИК по результатам эксплуатации, определении перечня критичных по остаточному ресурсу узлов, разработке предложений по увеличению ОР критичных узлов, прогнозированию показателей остаточного ресурса АС НС ИК с учетом мероприятий по увеличению ОР узлов, определению стоимости работ по обеспечению требований к ОР АС НС ИК.

Последовательность действий по обеспечению остаточного ресурса АС НС ИК задается следующей схемой.

1. Прогнозирование ВБР АС НС ИК:
 - по постепенным отказам;
 - по внезапным отказам.
2. Анализ состава АС НС ИК, состояния резерва и ЗИПа с составлением структурной схемы надежности и выделением узлов АС НС ИК.
3. Прогнозирование показателей остаточного ресурса узлов.
4. Формирование перечня критичных по ресурсу узлов АС НС ИК.

Формирование перечня критичных по ресурсу узлов АС НС ИК производится на основе сравнения результатов прогнозирования ОР узлов АС НС ИК с требуемым значением ОР средства. В перечень критичных по ресурсу узлов АС НС ИК включаются те узлы, значения показателей ОР которых меньше требуемого значения для средства. Рисунок 6 иллюстрирует процесс формирования перечня критичных по ресурсу узлов по диаграмме ресурсов узлов.

5. Оценивание возможностей по увеличению остаточного ресурса критичных элементов.

Для выделенных критичных элементов оцениваются возможные способы увеличения их остаточного ресурса. Для АС НС ИК такими способами могут быть: ■ ремонт отказавших блоков с последующим пополнением ЗИП; ■ проведение регулировок параметров блоков, стоек аппаратуры; ■ модернизация узлов; ■ смягчение влияния факторов внешней среды, воздействующих на скорость расходования ресурса.

6. Прогнозирование показателей остаточного ресурса узлов при поэтапной реализации мероприятий по увеличению остаточного ресурса.

Показатели остаточного ресурса критичных узлов пересчитываются пошагово при последо-

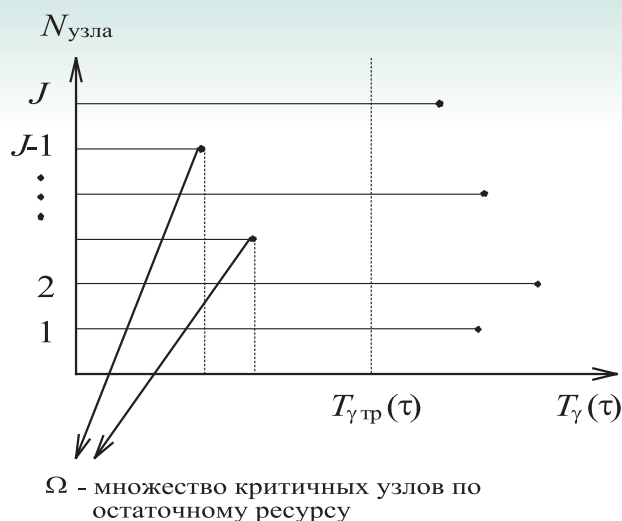


Рис. 6. Формирование перечня критичных по ресурсу узлов АС НС ИК

вательно увеличиваемом объеме работ до достижения остаточным ресурсом узла заданного значения остаточной наработки для средства.

7. Определение стоимости работ по обеспечению заданного остаточного ресурса АС НС ИК.

По результатам предыдущего пункта формируется общий объем работ по обеспечению заданного остаточного ресурса АС НС ИК и рассчитывается суммарная стоимость его реализации.

Литература

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Т. 6: Экспериментальная отработка и испытания / Под общ. ред. Р.С. Судакова, О.Н. Тескина. М.: Машиностроение, 1986. 376 с.
2. РД 50-202-80. Методические указания. Надежность в технике. Критерии отказов и предельных состояний. Правила установления в стандартах и конструкторских документах. М.: Изд. Стандартов, 1980.
3. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Т. 1. Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.Н. Рембезы. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
4. Владимирович Г.Н., Седякин Н.М. Теория надежности радиоэлектронной аппаратуры. Л.: ВИКА, 1968. 475 с.
5. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.
6. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Статистика, 1977. 200 с.
7. Садыхов Г.С. Оценка эксплуатационной надежности комплектующих изделий по данным неоднородной информации. М.: Знание, 1983. 114 с.
8. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
9. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. М.: Наука, 1985. 640 с.

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.396

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ НАГРУЗКИ НА МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ВОЕННОЙ СЕТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ MODEL OF FORECASTING OF INTENSITY OF THE USER LOADING ON A MOBILE STATION OF A MILITARY NETWORK OF SATELLITE COMMUNICATIONS

Дмитрий Романович Уткин

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

Аннотация

В настоящее время прогнозирование трафика является одним из перспективных направлений развития теории передачи информации и представляет большой интерес как для гражданских организаций и предприятий, так и для подразделений силового сектора. Особенно актуальной задача прогнозирования трафика является для сетей связи военного назначения. В статье рассматривается вариант построения прогноза интенсивности поступления пользовательской нагрузки на мобильный комплекс военной сети спутниковой связи вейвлет-методом.

Ключевые слова: сеть спутниковой связи, прогнозирование нагрузки, нестационарный трафик, вейвлет-разложение.

Summary

Currently the traffic forecasting is one of the promising directions of development of the theory of information transfer and is of great interest both for civilian organizations, businesses, and divisions of power sector. Particularly urgent is the problem of forecasting traffic is for communication networks for military purposes. The article discusses the option of forecasting the volume of user load on mobile satellite military communications network using wavelet method.

Keywords: a satellite communication network, loading forecasting, a non-stationary traffic, wavelets-decomposition.

Введение

Опыт применения средств связи в локальных вооруженных конфликтах последнего десятилетия показал, что спутниковая связь является единственным родом связи способным обеспечить непрерывное и устойчивое управление войсками и оружием в удаленных районах за пределами Российской Федерации. При использовании на территории государств-союзников (государств-противников) мобильных комплексов спутниковой связи (МКСС) рассчитанных на временную эксплуатацию часто наблюдается не-

хватка пропускной способности обратных каналов военных сетей спутниковой связи (ВССС). При дефиците пропускной способности ВССС происходит снижение оперативности управления воинскими подразделениями [1], дислоцированными в удаленных районах, определяющее актуальность исследований направленных на динамическое резервирование частотно-временного ресурса (радиоресурса) спутников-ретрансляторов, на основе эффективных методов прогнозирования пользовательской нагрузки.

В статье рассматривается вариант построения краткосрочного прогноза интенсивности

пользовательской нагрузки на МКСС для формирования запроса пропускной способности обратного спутникового канала и динамического резервирования радиоресурса выделяемого для МКСС. Под пользовательской нагрузкой, поступающей на единичный МКСС будем понимать поток пакетов, поступающего за интервал времени от абонентов (локальная компьютерная сеть, телефонная сеть) территориально удаленных воинских подразделений, т.е. пользовательский трафик.

Организация спутникового доступа

При организации механизмов доступа к спутниковой среде, в ВССС с централизованным управлением [13], стоит отметить два основных подхода к выделению радиоресурса для МКСС.

Первый, наиболее популярный в настоящее время, основан том, что выделение радиоресурса осуществляется под пиковые значения интенсивности пользовательской нагрузки, вне зависимости от активности абонентов в пределах сегмента сети рассматриваемого комплекса (рис. 1а).

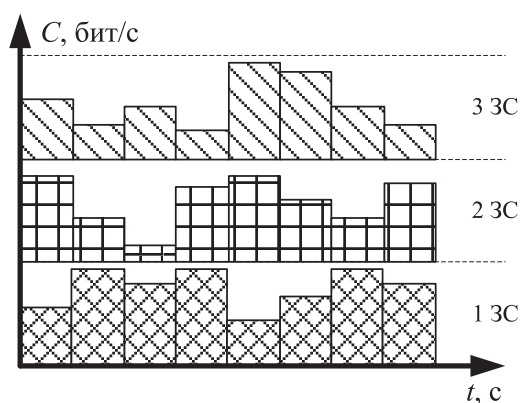


Рис. 1а. Вариант выделения радиоресурса под пиковую нагрузку

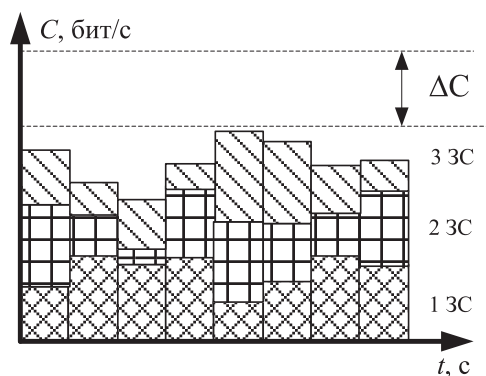


Рис. 1б. Вариант выделения радиоресурса с учетом динамических характеристик трафика

кого доступа получил название «предоставление канала по требованию».

При этом построение прогноза интенсивности пользовательской нагрузки не предусмотрено. Выделенный радиоресурс часто является избыточным.

Второй подход заключается в том, что радиоресурс является «плавающим» (рис. 1б) и выделяется МКСС индивидуально на каждом интервале времени. Пропускная способность канала, а соответственно и ВССС в целом тем выше, чем ближе приближается значение выделенного ресурса к минимально необходимому для достоверной передачи пакетов реально пришедшего трафика на каждом интервале времени. При этом выделение ресурса может происходить на основании запроса пропускной способности обратного канала, который в свою очередь строится на анализе поступающего трафика МКСС и прогнозе пользовательской нагрузки.

Анализ работ, посвященных прогнозированию пользовательской нагрузки, позволяет выделить наиболее распространенные методы, такие как: методы аппроксимации различными функциональными временными зависимостями (методы простого усреднения [6, 7], методы скользящих средних [2, 6, 8], методы экспоненциального сглаживания [8, 13], регрессивные методы [10, 11, 14]), методы нейросетевого прогнозирования [4].

Известно, что трафик, поступающий на МКСС, имеет сложную структуру [9, 12, 13, 14, 15]. Это означает, что временные ряды характеристик такого трафика являются нестационарными. Для их исследования необходимо применять методы способные отслеживать локальные особенности рассматриваемых временных рядов. Одним из таких методов анализа поступающего трафика является вейвлет-метод, когда после представления характеристик потока пакетов в виде *трафик-сигнала*, применяется разложение полученного результата по вейвлет-базису.

В работах [14, 15] показана применимость вейвлет-разложений на основе вейвлетов Хаара, Добеши, Мейера, а также симплетов и коифлетов для моделирования нестационарного трафика. Алгоритмы на основе вейвлет-разложения, схожие по вычислительной сложности с быстрым преобразованием Фурье, позволяют в режиме реального времени получать вейвлет-спектрограмму сложных сигналов. Однако исследований, направленных на использование вейвлетов для решения задач оперативного прогнозирования интенсивности поступления пользовательской нагрузки, в настоящее время явно недостаточно [12].

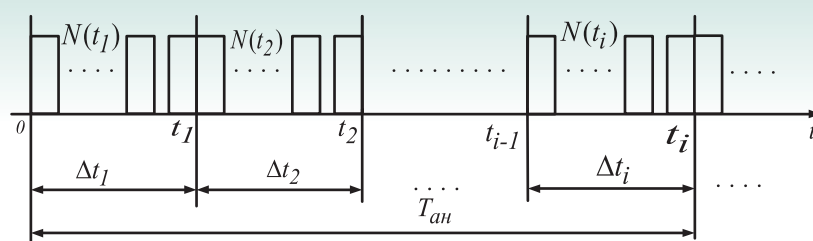


Рис. 2. Процесс поступления потока пакетов в МКСС

Модель прогнозирования интенсивности пользовательской нагрузки на МКСС

Модель прогнозирования интенсивности пользовательской нагрузки на МКСС основана на механизмах прямого и обратного дискретного вейвлет-преобразования (ДВП), а также оценивания и прогнозирования параметров полиномиального разложения на основе метода вероятностной аппроксимации.

Рассмотрим интервал времени $T_{ан}$ на котором будем анализировать поступающий на МКСС трафик. Разобьем $T_{ан}$ на дискреты t_i , $t_i \in [0, T_{ан}]$, $i = 2^j$, $t_i \in N$. Длина одного дискрета при этом равна $\Delta t_i = t_i - t_{i-1} = \text{const}$ (рис. 2).

Для детального анализа трафика, поступающего на МКСС, представим процесс поступления некоторого числа пакетов N за текущий дискрет Δt_i в виде временного ряда, с его последующим анализом, т.е. осуществим представление пользовательской нагрузки в виде *трафик-сигнала* $N(t_i)$ (рис. 3). Далее будем раскладывать полученный результат по системе специальных базисных функций (вейвлетов).

Для решения задачи прогнозирования интенсивности пользовательской нагрузки рассмотрим на интервале анализа $T_{ан}$ поступающий трафик за i -й дискрет. Необходимо отметить, что предел

$$\lim_{(t_i - t_{i-1}) \rightarrow 0} \frac{N(t_i) - N(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}}$$

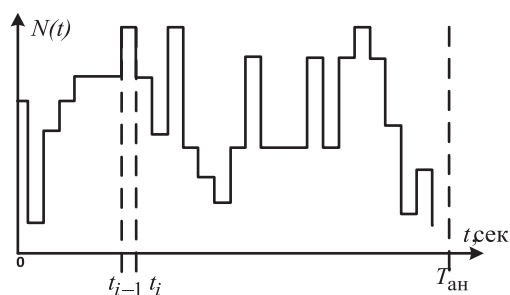


Рис. 3. Представление процесса поступления потока пакетов на МКСС в виде *трафик-сигнала* $N(t_i)$

есть не что иное, как мгновенное значение интенсивности поступления пакетов трафика $\lambda(t_i)$ в момент времени t_i .

Для получения искоемых коэффициентов вейвлет-разложения *трафик-сигнала* $N(t_i)$: $d_{j,k}$, (коэффициентов детализации на j -ом уровне разложения), где $k = 2^j$ – число коэффициентов на j -ом уровне и $s_{0,0}$ (коэффициента масштаба на нулевом уровне разложения) необходимо записать исходный *трафик-сигнал* используя вейвлет-базис (вейвлет-функцию $\psi_{j,k}(t_i)$ и скейлинг-функцию $\phi_{j,k}(t_i)$).

Для решения поставленной задачи рассмотрим в качестве аппроксимирующей $\psi(t)$ и детализирующей $\phi(t)$ функций вейвлет-функцию и скейлинг-функцию Хаара (рис. 4).

Схематично структура модели показана на рис. 5.

Для вычисления, аппроксимирующих коэффициентов верхнего уровня, рассмотрим значения $i = k_{max}$ – число дискретов разложения *трафик-сигнала* и $j_{max} = \log_2 i = \log_2 k_{max}$ – число уровней глубины разложения.

Найдем $s_{j_{max}k_{max}}$, по формуле:

$$s_{j_{max}k_{max}} = N(t_i) / 2^{j_{max}/2} \quad (1)$$

Теперь, зная коэффициенты с верхнего уровня, последовательно определим коэффициенты разложения (рис. 7)

$$s_{j-1,k} = (s_{j,2k} + s_{j,2k+1}) / \sqrt{2} \quad \text{и} \quad d_{j-1,k} = (d_{j,2k} + d_{j,2k+1}) / \sqrt{2},$$

где $s_{j-1,k}$ – аппроксимирующие коэффициенты ДВП;

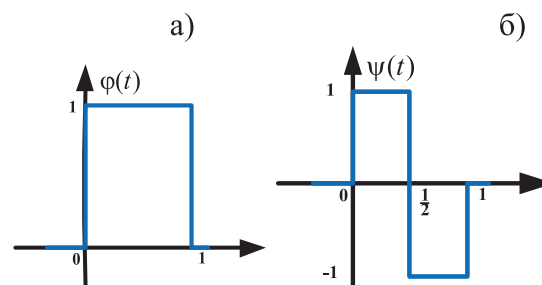


Рис. 4. Скейлинг-функция (а) и вейвлет-функция (б) Хаара

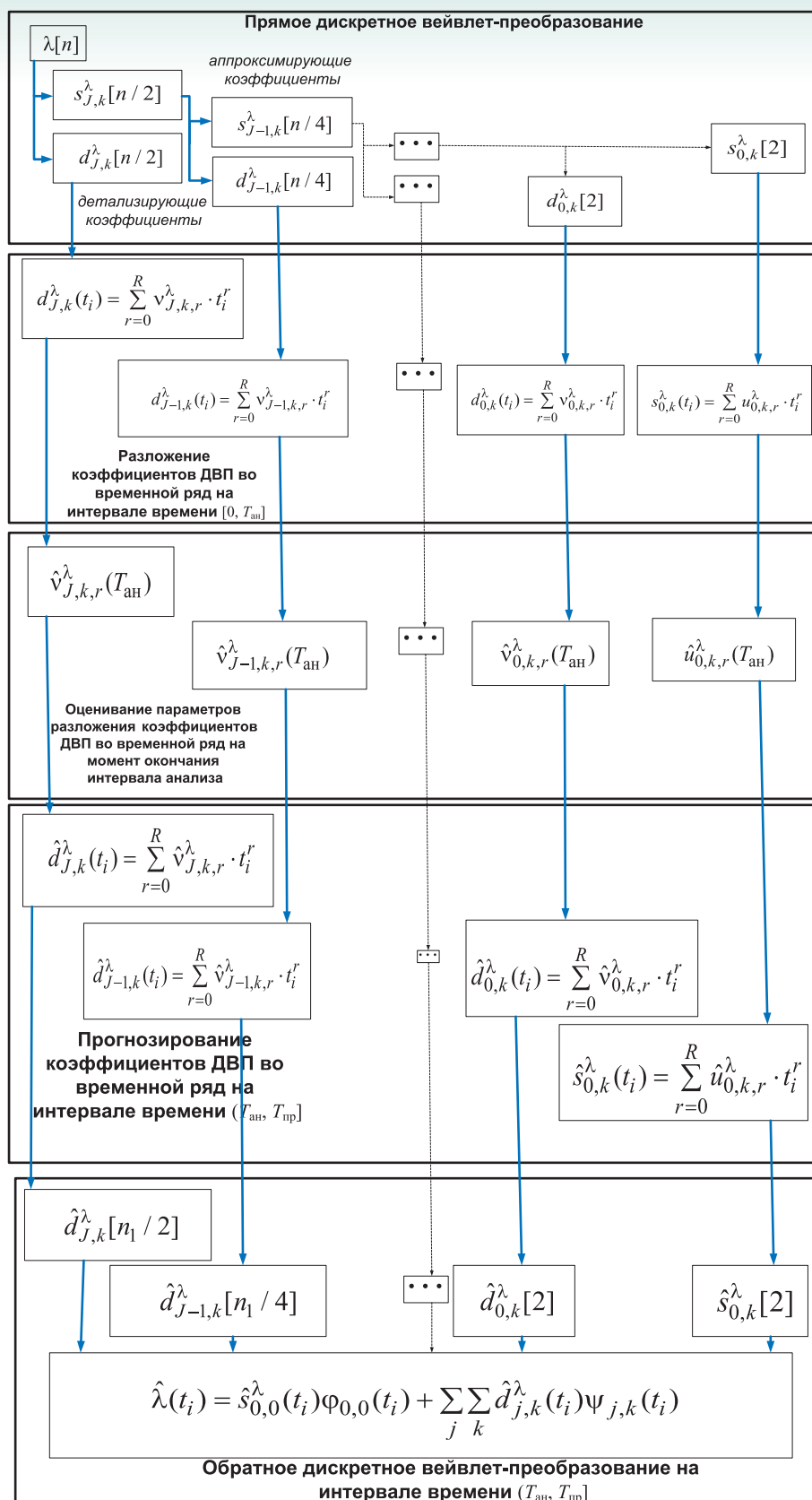


Рис. 5. Модель прогнозирования интенсивности трафика

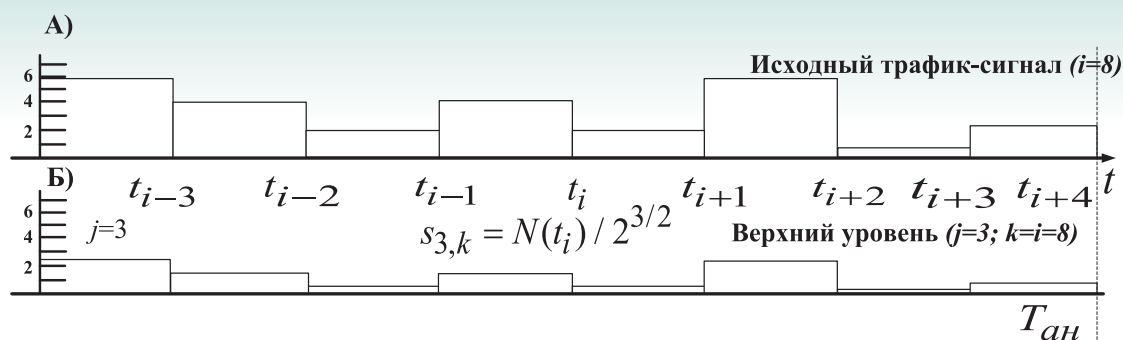


Рис. 6. Разложение *трафик-сигнала* $N(t)$:
а) исходный временной ряд, б) коэффициенты s верхнего уровня

$d_{j-1,k}$ – детализирующие коэффициенты ДВП;
 $j = 0, j_{\max}$ – уровень ДВП;
 k – сдвиг по временной оси.

Сигнал $N(t_i)$ может быть представлен в виде:

$$\lambda(t_i) = s_{0,0}^{\lambda} \Phi_{0,0}(t_i) + \sum_j \sum_k d_{j,k}^{\lambda}(t_i) \psi_{j,k}(t_i), t_i \in [0, T_{\text{ан}}], \quad (2)$$

На нулевом уровне будем иметь произведение найденных коэффициентов $s_{1,k}$, $d_{1,k}$ и частных случаев $\phi_{j,k}(t)$ и $\psi_{j,k}(t)$, представленных на рисунке 4.

При практическом анализе временных рядов, функции $\phi_{j,k}(t)$ и $\psi_{j,k}(t)$ и их более сложные варианты называются широкополосными и уз-

кополосными фильтрами соответственно, потому что они отфильтровывают компоненты сигнала на больших и малых масштабах [15].

Прогнозирование коэффициентов ДВП

Прогнозирование коэффициентов ДВП строится на основе использования метода вероятностной аппроксимации [3, 10], который основан на идее вероятностной меры при определении интеграла [3]. При этом использование непрерывных распределений вероятностей позволяет непосредственно переходить от интеграла Лебега-Стилтьеса к интегрированию в обычном (римановском) смысле, поскольку очевидно равенство

$$\int_{\Omega_x} P(x) dx = \int_{\Omega_x} dF(x) = 1,$$

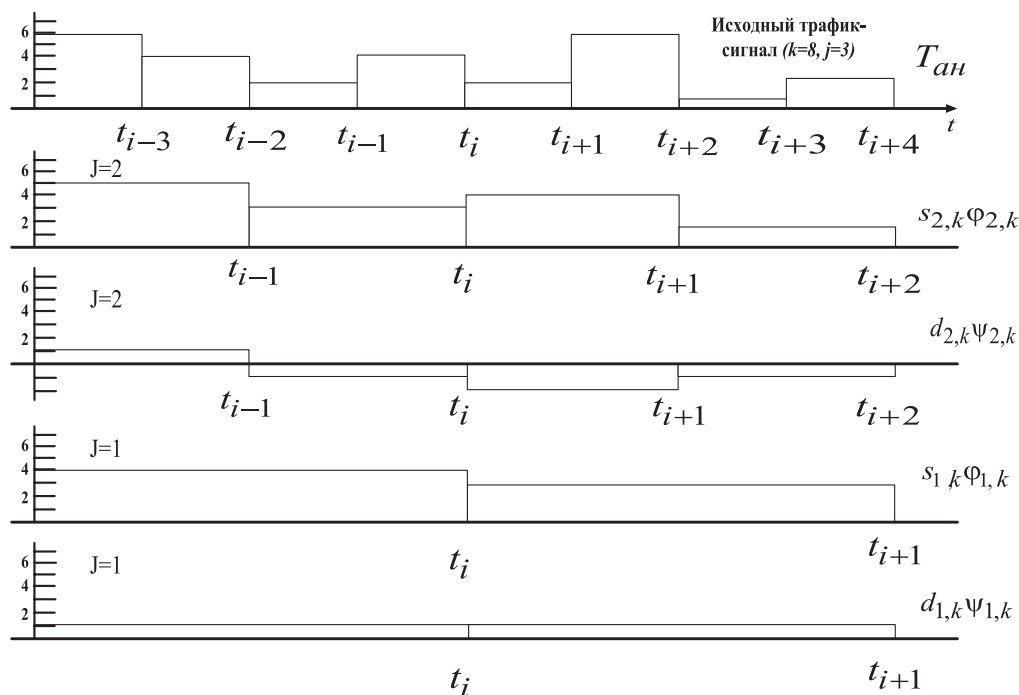


Рис. 7. Разложение *трафик-сигнала* по вейвлет-базису до уровня $j_{\max} - 1$

где $P(x) = dF(x)/dx$ – плотность распределения случайной величины x на множестве Ω_x .

Здесь функция распределения $F(x)$ случайной величины x на множестве Ω_x выступает в качестве так называемой производящей функции. Далее будем полагать случайную величину x центрированной, для которой математическое ожидание и дисперсия представлены, соответственно, следующими выражениями

$$M[x^{2k-1}] = \bar{x}^{2k-1} = \int_{\Omega_x} x^{2k-1} P(x) dx = 0;$$

$$M[x^{2k}] = \bar{x}^{2k} = \int_{\Omega_x} x^{2k} P(x) dx \neq 0$$

Для представления временной зависимости аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов в соотношении (2) зададим степенные полиномы R -й степени (далее в работе вывод расчетных соотношений производится для полинома 2 степени):

$$s_{0,k}^{\lambda}(t_i) = \sum_{r=0}^R u_{0,k,r}^{\lambda} \cdot t_i^r \text{ и } d_{j,k}^{\lambda}(t_i) = \sum_{r=0}^R v_{j,k,r}^{\lambda} \cdot t_i^r, \\ t_i \in [0, T_{\text{ан}}], j = \overline{0, J}. \quad (3)$$

Применение метода вероятностной аппроксимации основано на минимизации квадрата ошибки оценивания $\varepsilon^2(t_i, \delta, \bar{v})$:

$$\varepsilon^2(t_i, \delta, \bar{v}) = (d(t_i + \delta) - \hat{d}(t_i, \delta, \bar{v}_r, r = \overline{0, 2}))^2 = \\ = d^2(t_i + \delta) - 2v_0(t_i)d(t_i + \delta) - 2v_1(t_i)\delta d(t_i + \delta) - \\ - 2v_2(t_i)\delta^2 d(t_i + \delta) + v_0^2(t_i) + v_1^2(t_i)\delta^2 + v_2^2(t_i)\delta^4 + \\ + 2v_0v_1(t_i)\delta + 2v_0v_2(t_i)\delta^2 + 2v_1v_2(t_i)\delta^3. \quad (4)$$

Здесь далее для простоты изложения под обозначением $v_r, r = 0, 1, 2$ будут пониматься любой из параметров разложения $u_{0,k,r}^{\lambda}$ и $v_{j,k,r}^{\lambda}$, поскольку схема вычислений не зависит от уровня вейвлет-разложения.

Дифференцирование функционала

$$J(t_i, \bar{v}) = \int_{\Omega_{\delta}} \varepsilon^2(t_i, \delta, \bar{v}) P(\delta) d\delta$$

соответствует решению задачи минимизации ошибки оценивания параметров разложения (2)

$$J(t_i, \bar{v}) = \int_{\Omega_{\delta}} \varepsilon^2(t_i, \delta, \bar{v}) P(\delta) d\delta \rightarrow \min,$$

что позволяет для интервала $\Omega_{\delta} = [-b; b]$ получить систему уравнений

$$\begin{cases} v_0(t_i) + v_1(t_i)\bar{\delta} + v_2(t_i)\bar{\delta}^2 = \int_{\Omega_{\delta}} d(t_i + \delta) P(\delta) d\delta; \\ v_0(t_i)\bar{\delta} + v_1(t_i)\bar{\delta}^2 + v_2(t_i)\bar{\delta}^3 = \int_{\Omega_{\delta}} \delta d(t_i + \delta) P(\delta) d\delta; \\ v_0(t_i)\bar{\delta}^2 + v_1(t_i)\bar{\delta}^3 + v_2(t_i)\bar{\delta}^4 = \int_{\Omega_{\delta}} \delta^2 d(t_i + \delta) P(\delta) d\delta. \end{cases} \quad (5)$$

Решение системы уравнений (5) может быть получено при условии равномерности распределения ошибки оценивания параметра:

$$\begin{cases} v_0(t_i - \Delta_1) = \alpha_0^+(S_1(N, t_i) - S_1(1, t_i)) + \beta_0^+(S_2(N, t_i) + \\ + S_2(1, t_i)) + \gamma_0^+(S_3(N, t_i) - S_3(1, t_i)); \\ v_1(t_i - \Delta_1) = \alpha_1^+(S_1(N, t_i) + S_1(1, t_i)) + \beta_1^+(S_2(N, t_i) - S_2(1, t_i)); \\ v_2(t_i - \Delta_1) = \alpha_2^+(S_1(N, t_i) - S_1(1, t_i)) + \beta_2^+(S_2(N, t_i) + \\ + S_2(1, t_i)) + \gamma_2^+(S_3(N, t_i) - S_3(1, t_i)), \end{cases}$$

где

$$\begin{aligned} \alpha_0^+ &= -\frac{3}{2N\Delta\tau}; \beta_0^+ = \frac{15}{N^2\Delta\tau^2}; \gamma_0^+ = -\frac{30}{N^3\Delta\tau^3}; \\ \alpha_1^+ &= \frac{6}{N^2\Delta\tau^2}; \beta_1^+ = -\frac{12}{N^3\Delta\tau^3}; \alpha_2^+ = \frac{30}{N^3\Delta\tau^3}; \\ \beta_2^+ &= -\frac{180}{N^4\Delta\tau^4}; \gamma_2^+ = \frac{360}{N^5\Delta\tau^5}; \Delta_1 = \frac{1}{2}N\Delta\tau; \\ S_1(N, t_i) &= \sum_{k=1}^M d(t_k); S_1(1, t_i) = \sum_{k=1}^{M-N} d(t_k); M = \frac{t_i - t_1}{\Delta\tau}; \\ S_2(N, t_i) &= \sum_{k=1}^M S_1(N, t_k); S_2(1, t_i) = \sum_{k=1}^{M-N} S_1(1, t_k); \\ S_3(N, t_i) &= \sum_{k=1}^M S_2(N, t_k); S_3(1, t_i) = \sum_{k=1}^{M-N} S_2(1, t_k). \end{aligned}$$

Параметры разложения во временной ряд коэффициентов ДВП используются далее для решения задачи прогнозирования коэффициентов разложения на интервале времени $(T_{\text{ан}}, T_{\text{пр}}]$.

$$\begin{aligned} \hat{d}_{j,k}^{\lambda}(t_i) &= \sum_{r=0}^R \hat{v}_{j,k,r}^{\lambda}(T_{\text{ан}}) \cdot t_i^r; \\ \hat{s}_{0,k}^{\lambda}(t_i) &= \sum_{r=0}^R \hat{u}_{0,k,r}^{\lambda}(T_{\text{ан}}) \cdot t_i^r. \end{aligned} \quad (6)$$

На основе обратного дискретного вейвлет-преобразования осуществляется прогноз интенсивности поступления трафика в МКСС

$$\hat{\lambda}(t_i) = \hat{s}_{0,0}^{\lambda}(t_i) \varphi_{0,0}(t_i) + \sum_j \sum_k \hat{d}_{j,k}^{\lambda}(t_i) \psi_{j,k}(t_i), \\ t_i = (T_{\text{ан}}, T_{\text{пр}}]. \quad (7)$$

На основе метода наименьших квадратов строятся оценки эффективности предложенного способа:

$$\rho = (N(t_i)_{real} - N(t_i)_{prog})^2 \rightarrow \min, \quad (8)$$

где ρ – коэффициент эффективности прогнозирования пользовательской нагрузки на МКСС на Δt ;

$N(t_i)_{real}$ – число пакетов пришедших на МКСС за Δt ;

$N(t_i)_{prog}$ – прогнозируемое число пакетов пришедших на МКСС за Δt ;

Заключение

В статье приведен вариант построения прогноза пользовательской нагрузки, поступающей на МКСС с использование дискретного вейвлет-преобразования.

Вейвлет-преобразование является очень эффективным и перспективным математическим аппаратом для задач, связанных с анализом нестационарных временных рядов и решений уравнений, описывающих сложные нелинейные процессы в широких диапазонах масштабов.

Вейвлет-преобразование в отличие от гармонического анализа, где в качестве базисных функций используются гармонические колебания, имеет свои базисные функции – вейвлеты, которые позволяют отслеживать локальные особенности временных рядов, что является решением актуальной задачи при передаче информации в военных сетях связи. Предложенная модель прогнозирования вейвлет-ряда позволяет решить эту задачу и может быть рекомендована для практического использования.

Литература

1. Алтухов П.К., Афонский И.А. и др. Основы теории управления войсками / Под ред. П.К. Алтухова. М.: Воениздат, 1984.
2. Байбурин В.Б., Ближикова М.П., Гельбух С.С. Способ прогнозирования нагрузки внешнего канала связи корпоративной телефонной сети // Вестник СГТУ, 2014. №4(77). С. 180-185.
3. Батухтин В.Д., Майборода Л.А. Оптимизация разрывных функций. М.: Наука, 1984. 208 с.
4. Бойко А.А., Дегтяренко И.В. Влияние свойств

мультисервисного трафика на возможность прогнозирования и балансировки нагрузки в современных сетях мобильной связи / Сборник научных работ XIII научно-технической конференции аспирантов и студентов, Донецк, 14-17 мая 2013 г. Донецк, ДонНТУ, 2013. 441 с.

5. Владимиров В.И. Информационные основы радиоподавления линий радиосвязи в динамике радиоэлектронного конфликта. Воронеж: ВИРЭ, 2003. 276 с.

6. Герасина А.В. Адаптивное нечеткое прогнозирование трафика в информационных телекоммуникационных сетях ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск Системы обработки информации, 2013. Выпуск 9(116). С. 141-145.

7. Гребенников А.В., Крюков Ю.А., Чернягин Д.В. Моделирование сетевого трафика и прогнозирование с помощью модели ARIMA // Электронный журнал «Системный анализ в науке и образовании», 2011. Выпуск №3. С. 1-10.

8. Гребенников А.В., Крюков Ю.А., Чернягин Д.В. Прогнозирование значений трафика данных с использованием моделей временных рядов // Электронный журнал «Системный анализ в науке и образовании», 2011. Выпуск №1. С. 1-10.

9. Давыдов А.Е. Транспортная сеть Объединенной автоматизированной цифровой системы связи ВС РФ. СПб.: ФГУП «НИИ «Масштаб», 2011. 372 с.

10. Мануйлов Ю.С., Новиков Е.А., Павлов А.Р. Решение задачи радиоконтроля орбиты космического аппарата на основе метода вероятностной аппроксимации // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2012. №1. С. 43-49.

11. Серая О.В. Прогнозирование вейвлет-аппроксимации временного ряда // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011. №4/4(52). С. 49-51.

12. Макаренко С.И. Методика оценки времени задержки пакета в канале связи в условиях нестабильности входного трафика // Инфокоммуникационные технологии, 2007. №3. С. 95-96.

13. Новиков Е.А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Информационноуправляющие системы, 2014. №2(69). С. 79-86.

14. Шелухин О.И., Осин А.В., Арсеньев А.В. Моделирование моно- и мультифрактального телекоммуникационного трафика с помощью вейвлетов // Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2007. №2. Т. 3. С. 33-37.

15. Шелухин О.И., Осин А.В., Ахметшин Р.Р. Оценка самоподобности речевого трафика вейвлет-методом с автоматическим определением границ масштабирования // Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2007. №1. Т. 3. С. 15-20.

УДК 004.728.5

ЗАДАЧА ОБОСНОВАНИЯ КАНАЛЬНОЙ ЕМКОСТИ НАПРАВЛЕНИЙ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ С НЕЗАКРЕПЛЕННЫМИ КАНАЛАМИ В УСЛОВИЯХ ИХ ПОРАЖЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ЕЕ РЕШЕНИЕ

OBJECTIVE JUSTIFICATION CHANNEL CAPACITY DIRECTIONS RADIO SYSTEM WITH LOOSE CHANNELS IN THE CONDITIONS OF RISK AND REHABILITATION AND ITS SOLUTION

Владимир Анатольевич Цимбал

заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: wavelet3@yandex.ru

Роман Николаевич Хрусталёв

кандидат технических наук, доцент
заместитель начальника кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)78-92-23

Василий Евгеньевич Тоискин

кандидат технических наук
преподаватель
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)78-92-23

Константин Иванович Гвозд

соискатель
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)78-92-23

Евгений Александрович Ярёмченко

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

Аннотация

В статье представлен подход к моделированию системы радиосвязи, как системы массового обслуживания с отказами, поражаемыми и восстанавливающимися каналами для определения ее пропускной способности.

Ключевые слова: система радиосвязи, вероятность отказа, обслуживание заявок, подсистема адаптации, восстановление каналов.

Summary

In article the approach to simulation of system of a radio service as systems of mass upkeep with the failures amaz and recover channels, for determination was more its than transmission capacity are present.

Keywords: system of a radio communication, probability of refusal, service of demands, subsystem of adaptation, restoration of channels.

Информационная сеть любой корпоративной системы радиосвязи, например УКВ диапазона, предназначена для надежного, достоверного и своевременного доведения сообщений между абонентами. В реальных условиях на систему связи действуют различные возмущающие факторы, которые можно разделить на внутрисистемные (сбои и отказы аппаратуры, человеческий фактор) и внешнесистемные (различного рода непреднамеренные помехи, обусловленные погодными явлениями и дальностью связи, а также преднамеренные помехи для военных систем радиосвязи) [1, 4, 5, 6, 7, 8].

Все это приводит к ситуации, когда передача информации не может быть осуществлена из-за отсутствия каналов связи между абонентами или невозможности установить по ним связь. Решением этой проблемы является проключение дополнительных (обходных) связей за счет коммуникационного ресурса системы.

Для примера на рисунке 1 схематично представлен сегмент сети УКВ радиосвязи иерархической структуры, где информационный обмен между абонентами различных категорий ведется по радиоканалам в условиях воздействия помех. Следует также отметить, что радиоэлектронные средства абонентских станций способны путем адаптации отстроиться от воздействия помех, восстанавливая тем самым каналы связи. Если в сети связи исправны все основные направления, информационный обмен осуществляется по штатной схеме (рисунк 1а). В случае выхода из строя основного направления рассматриваются варианты проключения обходных каналов (рисунк 1б).

Показатель качества функционирования данной информационной сети в общем виде можно определить выражением

$$P_{\text{дов}} = P_{\text{нал.к.с.}} P_{\text{дов}}(t \leq t^{\text{доп}}) \quad (1)$$

где $P_{\text{дов}}$ – вероятность доведения сообщения;
 $P_{\text{нал.к.с.}}$ – вероятность наличия канала связи;
 $P_{\text{дов}}(t \leq t^{\text{доп}})$ – вероятность непосредственно процесса доведения сообщения за время, не превышающее $t^{\text{доп}}$, причем $P_{\text{дов}} \geq P_{\text{дов}}^{\text{треб}}$.

Вероятность непосредственно процесса доведения сообщения – величина в основном зависящая от протокола информационного обмена, который, как правило, позволяет достигать значений, близких к единице, поэтому можно сказать, что вероятность доведения сообщений в такой сети напрямую связана с вероятностью наличия канала связи, отсюда актуальна задача нахождения требуемого коммуникационного ресурса (ТКР).

Нахождение ТКР есть классическая задача теории телетрафика. Здесь найдены аналити-

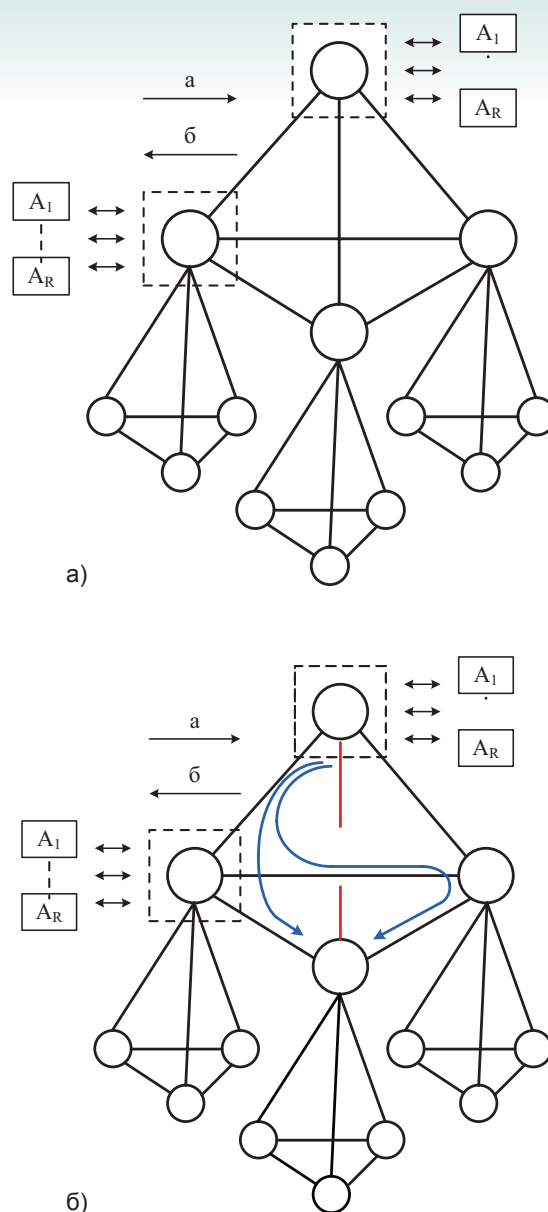


Рис. 1. Сегмент сети УКВ радиосвязи иерархической структуры

ческие выражения, позволяющие рассчитывать вероятность отказа в обслуживании заявок в зависимости от емкости коммутационной схемы (КС), характера входных потоков и различных законах обслуживания заявок.

Однако следует отметить, что все аналитические результаты были получены в предположении об абсолютно надежных и непоражаемых помехами различной природы каналах. Причем полученные результаты справедливы для режима раздельного использования каналов, что существенно снижает эффективность использования такой сети, по сравнению с полнодоступным режимом.

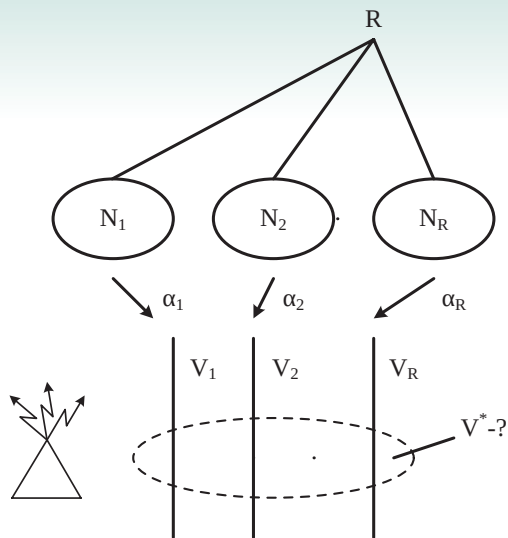


Рис. 2. Направление радиосвязи как пучок полнодоступных каналов

На рисунке 2 схематично показано направление радиосвязи, состоящее из пучка каналов $V_{<R>} = \langle V_1, V_2, \dots, V_R \rangle$, причем для абонентов первого типа используется режим закрепленного канала, в то время, как для других абонентов каналы предоставляются по требованию. В направлении радиосвязи действуют абоненты разного типа, формирующие поток заявок различной интенсивности.

Все известные подходы к нахождению емкости КС базируются на решении прямой задачи – нахождении вероятности отказа в обслуживании заявки по известной емкости КС в заданных условиях. Для анализируемого случая вероятность отказа ($P_{\text{отк}}$) есть функция

$$P_{\text{отк}} = f(V, N_{<R>}, A_{<R>}, M_{<R>}, a, b) \quad (2)$$

где V – число каналов КС;

$N_{<R>}$ – число абонентов системы связи;

$A_{<R>}$ – интенсивность потока заявок;

$M_{<R>}$ – интенсивность обслуживания заявок;

a – интенсивность потока поражений каналов связи системы;

b – интенсивность потока восстановления пораженных каналов.

Аналитической и какой-либо иной зависимости для выражения (2) в общем виде не существует. Тем более не существует зависимости, позволяющей находить V по другим известным величинам. Следовательно, задачу нахождения ТКР можно решать численно, например, методом направленного перебора.

Пусть имеется система УКВ радиосвязи, функционирующая в условиях конфликта, при этом противник использует средства РЭП, поражающие каналы связи. При этом процесс пора-

жения является случайным пуассоновским с интенсивностью a . С другой стороны радиоэлектронные средства абонентских станций путем адаптации отстраиваются от воздействия помех. И процесс отстройки также является случайным с экспоненциальным законом распределения времени отстройки при интенсивности b [2].

Рассмотрим искомую систему связи с поражаемыми и восстанавливающимися каналами при следующих ограничениях:

- в системе связи имеется V_R каналов;
- очередь заявок отсутствует;
- заявка, заставшая все каналы занятыми, получает отказ;
- помеха одновременно способна поразить только один канал;
- при поражении помехой канала, по которому велся информационный обмен, соответствующая заявка получает отказ;
- подсистема адаптации системы связи к помеховой обстановке одновременно способна отстроить от помех только один канал.
- накладывается ограничение на количество поражаемых каналов.

Функционирование рассматриваемой системы связи описывается в виде непрерывной конечной марковской цепи. Основным показателем функционирования СМО является пропускная способность, зависящая от вероятности отказа обслуживания заявки [3].

Аналитическими моделями рассматриваемых СМО в условиях стационарной нагрузки являются системы линейных алгебраических однородных уравнений (СЛАУ), неизвестными в которых являются вероятности P_i пребывания СМО в различных состояниях S_i . Число состояний марковской цепи (а соответственно число уравнений и неизвестных в СЛАУ при числе каналов связи, равном V и максимально возможном числе пораженных каналов l , вычисляется по формуле:

$$K = V + 1 + Vl + l(1-l)/2 \quad (3)$$

Граф, отображающий переходы V – канальной СМО из состояния в состояние имеет двумерный характер (рисунк 3). Вероятность отказа в обслуживании заявок СМО находится как сумма вероятностей состояний системы, которые в графе переходов находятся на большей диагонали графа, то есть

$$P_{\text{отк}} = \sum_{i=K-V}^K P_i. \quad (4)$$

Рис. 3.

Можно предположить, что элементы основной матрицы СЛАУ, которые являются числовы-

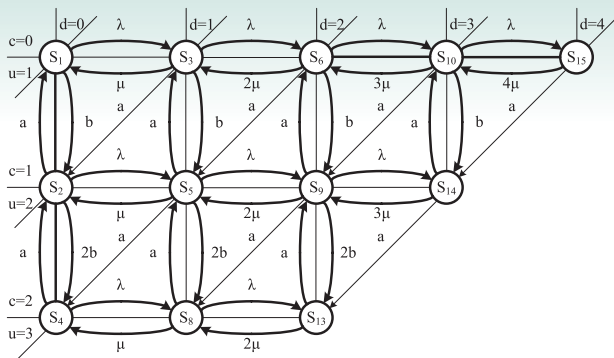


Рис. 3. Граф марковской цепи, описывающей функционирование СМО при пуассоновском входном потоке и ограничении на количество поражаемых каналов

ми коэффициентами при неизвестных P_i , каким-то образом зависят от числа каналов V в СМО и расположения соответствующих им состояний S_i в графе переходов этой СМО. Выявим эти зависимости, введя следующую систему нумераций состояний [3].

Каждому состоянию $S_1, S_2, \dots, S_K$ поставим в соответствие 5 параметров:

- u – номер уровня, в котором находится данное состояние, т.е. это номер диагонали, на которой стоит это состояние в графе переходов. Все состояния одного уровня обладают одним и тем же свойством: для перехода в любое из состояний уровня u должно произойти одинаковое число событий, равное $(u-1)$. Параметр u характеризует число каналов, не участвующих в обслуживании заявок по причине их занятости или поражения. Так, состояния, стоящие на диагонали с номером u , характеризуются тем, что в каждом из этих состояний $(u-1)$ канал СМО не функционирует ($u=1, V+1$);

- j – номер состояния в каждом из уровней ($j=1, V+1$);

- l – максимально возможное число пораженных каналов;

- d – номер вертикального ряда, в котором находится состояние S_i в графе. Этот параметр показывает число приборов, занятых обслуживанием заявок ($d=0, V$);

- c – номер горизонтального ряда, в котором находится состояние S_i в графе переходов. Этот параметр показывает число приборов, не участвующих в обслуживании заявок по причине их поражения. Другими словами, c показывает число пораженных каналов связи ($c=0, l$).

Таким образом, каждому из состояний СМО $S_1, S_2, \dots, S_K$ соответствует 4 параметра u, j, c, d ($S_K \rightarrow (u, j, c, d)$). Аналитическая модель СМО есть однородная СЛАУ, т.е.

$$\mathbf{H}\mathbf{P} = \mathbf{0}, \quad (5)$$

где $\mathbf{H}$ – основная матрица системы:

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{1K} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{2K} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{3K} \\ h_{K1} & h_{K2} & h_{K3} & h_{KK} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$\mathbf{P}$ – матрица-столбец неизвестных вероятностей:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_K \end{pmatrix} = (P_1 \ P_2 \ \dots \ P_K)^T. \quad (7)$$

Рассмотрим теперь, каким образом коэффициенты при неизвестных P_i СЛАУ зависят от внешних и внутренних параметров СМО и от индексов u, j, c, d соответствующих состояниям S_i .

Внешние параметры СМО:

a – интенсивность потока поражений каналов связи; λ – интенсивность потока заявок, поступающих для обслуживания.

Внутренние параметры СМО:

b – интенсивность потока восстановления каналов связи; μ – интенсивность потока обслуженных заявок.

Элементы, стоящие на главной диагонали основной матрицы $\mathbf{H}$ СЛАУ ($h_{11}, h_{22}, \dots, h_{KK}$), являются суммами, взятыми с противоположными знаками интенсивностей потоков, выводящих систему из состояния S_i .

Анализ графа переходов данной СМО показывает, что для состояний, стоящих в первом вертикальном ряду ($d=0$), за исключением последнего состояния, стоящего в горизонтальном ряду с номером V ($c=V$), сумма интенсивностей, выводящих систему из состояния S_i , равна $(a+cb+\lambda)$.

Если состояние S_i находится на большой диагонали графа (т.е. $c+d=V$), то интенсивность общего потока, выводящего систему из этих состояний, равна $(a+d\mu+cb)$. Для остальных состояний системы аналогичные суммарные интенсивности выходящих потоков равны $2a+d\mu+cb+\lambda$. Итак, элементы главной диагонали матрицы $\mathbf{H}$ можно считать по формулам:

$$h_{ii} = \begin{cases} -(a+cb+\lambda), & \text{если } d=0 \cap c \neq l; \\ -(d\mu+cb), & \text{если } c=l, \ c+d=V \\ -(a+d\mu+cb), & \text{если } c+d=V; \\ -(\lambda+d\mu+cb), & \text{если } c=l, \ c+d \neq V \end{cases}$$

Элементы, стоящие под главной диагональю матрицы $\mathbf{H}$ - h_{ij} (где $i > j$), есть интенсивности потоков, переводящих систему из состояния S_j в состояние S_i . Эти элементы отличны от нуля в случаях:

$$\begin{cases} h_{i,j-l-1}, & \text{если } u > 1 \text{ и } d \neq 0; \\ h_{i,j-l}, & \text{если } u \leq 1 \text{ и } d \neq 0. \end{cases} \quad (8)$$

Если номер состояния S_l , из которого система переходит в состояние S_i , на $(u-1)$ меньше номера i , то интенсивности переводящих потоков равны a , за исключением случая, когда $c=0$, т.е.:

$$\begin{cases} h_{i,i-u+1} = a, & \text{если } c \neq 0 \text{ и } u \leq l+1; \\ h_{i,i-l} = a, & \text{если } c \neq 0 \text{ и } u > l+1. \end{cases} \quad (9)$$

Из других состояний $S_l (l < i)$ система не может перейти в состояние S_i , что видно из графа переходов данной СМО.

Элементы матрицы $\mathbf{H}$, стоящие над главной диагональю ($j > i$) и не равные 0, можно вычислять по формулам:

$$h_{i,i+1} = a, \text{ если } c \neq 0; \quad (10)$$

$$\begin{cases} h_{i,i+u} = (c+1)b, & \text{если } u \leq l; \\ h_{i,i+l} = (c+1)b, & \text{если } l < u < V+1. \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} h_{i,i+u+1} = (d+1)\mu, & \text{если } u \leq l; \\ h_{i,i+l+1} = (d+1)\mu, & \text{если } l < u < V+1. \end{cases} \quad (12)$$

Таким образом, получены формулы, позволяющие автоматизировать вычисление коэффициентов однородной СЛАУ, являющейся аналитической моделью СМО с отказами, поражаемыми и восстанавливающимися каналами. Это позволяет, решая СЛАУ одним из известных способов, находить вероятность отказа, а следовательно, определять пропускную способность СМО с поражаемыми и восстанавливающимися каналами.

Литература

1. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др. М.: Радио и связь, 1985. 264 с.
2. Борисов В.И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. М.: Радио и связь, 2000. 384 с.
3. Косарева Л.Н. Синтез систем линейных алгебраических уравнений описывающих поведение СМО с неидеальными восстанавливающимися приборами / LX Научная сессия, посвященная Дню радио. М: Радиотехника, 2004.
4. Цимбал В.А. Концепция применения программно-конфигурируемых сетей для управления мобильными объектами / В.А. Цимбал, В.Е. Тоискин, С.Е. Потапов, Е.А. Шуточкин, И.Д. Бонкин // Известия Института инженерной физики, 2016. №1(39). С. 25-30.
5. Цимбал В.А. Повышение оперативности доведения сообщений в односторонней циркулярной радиосети оповещения критических инфраструктур путем управления скоростью передачи повторов / В.А. Цимбал, М.Ю. Попов, В.Е. Тоискин, А.М. Винокуров // Сб. док. Междун. науч.-техн. конф. «Радиолокация, навигация, связь» / АО «Концерн «Созвездие». Воронеж, 2016. Т. 2. С. 662-670.
6. Тоискин В.Е. Проектирование коммутационного оборудования для сетей SDN / В.Е. Тоискин, С.Е. Потапов, С.С. Чайков, В.Д. Рублев // Междун. науч.-исследов. журн. Екатеринбург, 2015. №10(41). Ч. 2. С. 103-106.
7. Цимбал В.А., Ваганов И.Н., Апонасенко А.А. Марковская модель функционирования запросно-вызывного канала системы связи с ретрансляцией сигналов и предоставлением каналов по требованию // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С. 60-64.
8. Цимбал В.А., Ятульчик О.В., Парамонов Г.Б. Методика обоснования канальной емкости транкинговой системы радиосвязи корпоративной обучающей сети для регионов с низкой плотностью населения с учетом асимметричности трафика // Информатизация образования и науки, 2009. №3. С. 69-72.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.932.2

АЛГОРИТМ БЛОЧНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ НА МОНОХРОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

ALGORITHM FOR DETECTING MORPHOLOGY CHARACTERISTICS ON BLOCK SEPARATED MONOCHROME IMAGES

Андрей Константинович Никитин

инженер-программист
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: ex_nik@mail.ru

Николай Сергеевич Кукин

кандидат технических наук

начальник лаборатории
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: n.s.kukin@mail.ru

Аннотация

В статье описывается алгоритм блочного выделения морфологических характеристик изображения. Рассмотрено применение алгоритма сглаживания контраста монохромных изображений. Указаны результаты работы алгоритма на конкретном примере, его недостатки и дальнейшие пути развития.

Ключевые слова: обработка изображений, морфология изображений, блочная обработка изображений, обработка шума.

Summary

The article discusses the algorithm for detecting morphology characteristics for block separated monochrome images. Considered application of contrast alignment in monochrome images. At the end of the article example of algorithm is presented.

Keywords: image processing, image morphology, block image processing, noise processing.

Введение

С бурным развитием индустрии производства устройств видео и фото фиксации, произошел качественный скачок в сфере анализа и обработки изображений. На сегодняшний день достаточно эффективно применяются методы обработки структурированных массивов визуальных данных в ряде технологических и гуманитарных задач, а также в научных целях. Среди перечня исследуемых направлений, следует выделить поиск и классификацию образов по их разнообразным признакам, либо множеств образов, подчиняющихся априорно заданным описательным законам. Так или иначе, распознавание образов встречается практически в любой задаче, связанной с обработкой изображений. Одним из наиболее сложных направлений в распознавании образов является анализ микроструктур. Основными направлениями при-

менения микроанализа изображений, принято считать медицинские и микроскопические научные исследования.

Как правило, сложно производить устойчивую обработку изображений, качество и свойства которых не позволяют с высокой точностью распознать искомый образ или объект. При использовании лазера как источника сигнала для снятия характеристик с образцов, имеющих микроструктуры, из-за когерентной интерференции возникает высокая зернистость в виде света, который отражается от шероховатой поверхности и проявляется как случайный гранулированный шум [1]. Результат снятия изображений такой структуры с использованием лазерного луча в качестве источника когерентного излучения приведен на рисунке 1. Как видно из рисунка, визуально можно определить объекты, не имеющие однозначной морфологии. Поэтому

му применение базовых технологий сегментации изображения (например, бинаризации) не будет эффективной. Причиной этого является использование коэффициента преобразования порога, классифицирующего пиксели как полезные и фоновые. В случае рассмотрения микроструктур этот коэффициент во многом привязан к стабильности, так называемого, спекла, искажающего реальную картину [2]. Поэтому полезная часть изображения может быть классифицирована как фон.

Чтобы понять, насколько результаты обработки изображений будут отличаться друг от друга, следует взглянуть на различные методы бинаризации [3]. Общим правилом, за исключением пороговой бинаризации, для таких методов, является рассмотрение локальных областей, для определения и классификации принадлежащих им пикселей.

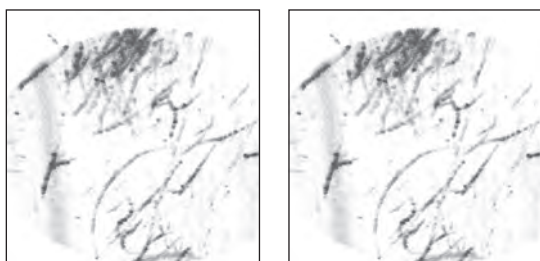


Рис. 1. Исходные изображения

Такой подход является объективным, если речь идет о цветных изображениях с неоднозначным цветовым градиентом. В случае, если изображение выполнено в градациях одного цвета (является монохромным), эффективнее рассматривать выделение объектов, интерпретируя изображение как единое целое и, работая с ним в его тоновом диапазоне. Поэтому алгоритм, представленный в настоящей статье, целесообразно использовать только для анализа монохромных изображений.

Описание алгоритма

Для монохромного изображения характерно отсутствие резких переходов между компонентами каналов RGB в каждой из точек изображения. Поэтому, в качестве подготовительного этапа обработки, применяется техника квантизации цветового градиента по средневзвешенному коэффициенту. Следует отметить, что такой подход не работает в случае, если исходное изображение имеет более чем одну цветовую градацию, т.е. не является монохромным.

Рассмотрим изображение, представленное в виде совокупности компонентов пикселей:

$$M = \{p_k(i, j)\}_{i=1:w; j=1:h; k=1:3}, \quad (1)$$

где p_k – компонент пикселя ($k=1$ – красный, $k=2$ – зеленый, $k=3$ – синий).

Средневзвешенный коэффициент монохромного изображения вычисляется по формуле:

$$G_{rgb} = \frac{1}{3 \cdot w \cdot h} \cdot \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h \sum_{k=1}^3 p_k(i, j), \quad (2)$$

где w – ширина исходного монохромного изображения;

h – высота исходного монохромного изображения.

Полученное значение (2) применяется для каждого пикселя на всем изображении (1) для выборочного выравнивания его компонент по следующему правилу:

$$p_k(i, j) = \begin{cases} G_{rgb}, & p_k(i, j) \geq G_{rgb} \\ p_k(i, j), & p_k(i, j) < G_{rgb} \end{cases}. \quad (3)$$

Дальнейшая обработка изображения (1) производится путем его деления на блоки произвольного размера:

$$\bigcup_{m=1}^n N_m = M, \quad (4)$$

где $N_i \cap N_j = \emptyset, \forall i \neq j$.

Для нахождения характерных морфологических структур на каждом из блоков применяется фильтр частиц [4]. В этом случае, согласно разбиению (4), области фильтрации не будут пересекаться.

Результаты работы алгоритма

Для иллюстрации результатов применим описанный выше алгоритм для обработки изображений, показанных на рисунке 1. В качестве характерных структур, которые будут найдены при помощи фильтра частиц, выбраны отрезки прямых.

На рисунке 2 приведены результаты применения классической бинаризации с ограничением по верхнему и нижнему порогу (рисунк 2, слева) и их обработки путем вычисления средневзвешенного коэффициента (2) монохромного изображения (рисунк 2, справа).

На рисунке 2 видно, что информативность морфологических признаков характерных структур справа, выше, чем слева.

Рисунок 3 демонстрирует результаты нахождения отрезков в случаях применения фильтра частиц на всем изображении (слева) и при его разбиении (справа) в соответствии с (4). В обоих случаях применялась обработка исходного изображения путем вычисления средневзвешен-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

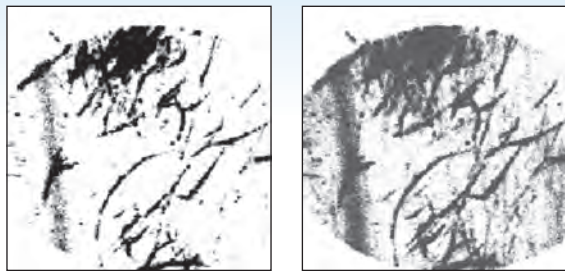


Рис. 2. Бинаризованное (слева) и средневзвешенное изображение (справа)

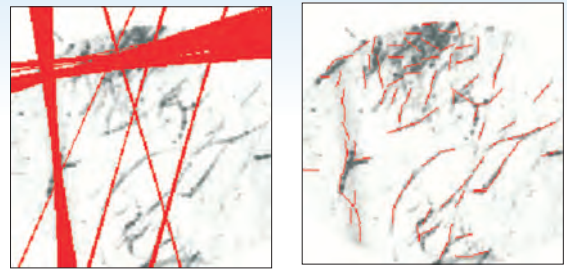


Рис. 3. Применение фильтра частиц на всем изображении (слева) и поблочно (справа)

ного коэффициента (2). Найденные с помощью фильтра частиц отрезки (рис. 3 справа) в целом соответствуют формам характерных структур исходного изображения.

Дальнейшее уточнение морфологических признаков можно проводить с использованием фильтра частиц более сложных структур (например, дуг различной кривизны, ломаных линий и т.п.).

Заключение

Эффективность поиска морфологических признаков структур на монохромных изображениях может быть существенно повышена за счет применения средневзвешенного коэффициента и блочного разбиения.

Применение алгоритмов уменьшения шума на изображении (например, фильтра Гаусса) или использование устройств захвата изображений, обладающих на порядок более высокими характеристиками, так же могут увеличить эффективность поиска. Однако такой подход приведет к значительному снижению быстродействия или

существенному повышению стоимости системы.

Основным недостатком представленного алгоритма, является его применимость к анализу только монохромных изображений. Для анализа цветных изображений данный алгоритм может быть расширен за счет введения средневзвешенных коэффициентов по цветовым палитрам.

Литература

1. Desmond C. Ong, Sanjeev Solanki, Xinan Liang, Xuewu Xu, Analysis of laser speckle severity, granularity, and anisotropy using the power spectral density in polar-coordinate representation, Optical Engineering, SPIE, 51. 2012.
2. Улянов С.С. Динамика спеклов и эффект Доплера // Соросовский образовательный журнал, 2001. Т. 7. №10.
3. Федоров А.В. Бинаризация чёрно-белых изображений: состояние и перспективы развития / Под ред. Ю.Н. Филипповича. URL: <http://www.philippovich.ru/Library/Books/ITS/wwwbook/ist4b/its4/fyodorov.htm>
4. F. Gunnarsson, N. Bergman, U. Forssell, J. Jansson, R. Karlsson, P.-J. Nordlund, Particle filters for positioning, navigation, and tracking, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 50, Issue 2. Feb. 2002.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 514.7

ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТОЙ ДИЗЕЛЬ-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

VECTOR CONTROL OF PARALLEL OPERATION OF THE DIESEL-ELECTRIC UNITS OF THE POWER SYSTEMS

Андрей Владимирович Лучин

кандидат технических наук

заместитель начальника кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (916) 422-26-96

Евгений Анатольевич Строганов

кандидат технических наук

заместитель начальника кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(903)514-43-90

Сергей Викторович Степанов

кандидат технических наук

заместитель начальника кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(916)234-74-73

Аннотация

В статье решается задача синхронизации дизель-электрических агрегатов для включения на параллельную работу в общую сеть при помощи векторного управления реализованного в компьютерных системах управления.

Ключевые слова: параллельная работа, векторное управление.

Summary

In the article the problem of synchronization of diesel-electric units to enable parallel work in a General network by means of vector control implemented in computer systems management.

Key words: parallel operation, vector control.

Поддержание требуемого качества электрической энергии в системах электроснабжения во многом зависит от обеспечения возможности осуществлять включение синхронных генераторов на параллельную работу без возмущений, вызываемых ошибками в определении угловой частоты скольжения и угла между синхронизируемыми напряжениями при проведении этой операции. Для определения значений параметров синхронизации и выбора момента времени включения выключателя генератора в применяющихся в настоящее время синхронизаторах используются аналоговые устройства, принцип действия которых основан на косвенных методах измерения частоты скольжения и текуще-

го угла между напряжениями работающего и включаемого генераторов.

Аналоговые устройства синхронизации, в которых информацию о параметрах синхронизации получают с помощью выпрямленного напряжения биений, имеют принципиальный недостаток, особо сильно проявляющийся даже при незначительной разнице амплитуд синхронизируемых напряжений. При наличии такой разности амплитуд напряжений огибающая напряжения биений не проходит через ноль, что приводит к ошибкам при определении частоты скольжения и текущего угла между напряжениями, а тем самым и к ошибке при определении момента подачи команды на включение выключателя.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

чателя генератора устройством синхронизации. Попытка уравнивания амплитуд синхронизируемых напряжений для устранения отмеченного недостатка приводит к затягиванию процесса синхронизации, что усугубляет возможные последствия дефицита вырабатываемой электрической энергии.

Реализация функциональных задач в устройствах и системах автоматизации, основанных на использовании средств вычислительной техники в виде ЭВМ, осуществляется путем решения соответствующих алгоритмов и программ. Структура последних определяется выбранными принципами построения системы алгоритмов и структурой вычислительного процесса.

Одной из таких структур, реализующих синхронизацию дизель электрических агрегатов, может являться формирование вычислительных алгоритмов инвариантной системы управления, сводящей к минимуму ошибку, возникающую между эталонными и действующими значениями показателей качества электрической энергии. Эталонные показатели качества описываются управляющим вектором, образующимся в результате сложения фазных векторов. Исходными данными для формирования управляющего вектора являются выходные значения амплитуды, частоты напряжения и сдвига фаз обобщенной электрической машины изображенной на *рисунке 1*.

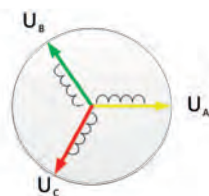


Рис. 1. Обобщенная электрическая машина

Если взять за основу векторное управление асинхронным двигателем, где управляющий вектор формируется в полярной системе координат, оси которой образуются в результате сложения фазных векторов, как показано на *рисунке 2*, то:

- вектор U_A совпадает по направлению по фазе и амплитуде с осью d ;
- вектора U_B и $-U_C$ в результате своего сложения образуют вектор q , являющийся осью ординат системы координат (d, q) .

Проекции векторов фаз на оси полярной системы координат можно описать следующими уравнениями:

$$d = U_A \quad (1)$$

$$q = U_B - U_C \quad (2)$$

Так как ось d совпадает по амплитуде и направлению с напряжением фазы U_A , то необходимо найти математическую зависимость, пока-

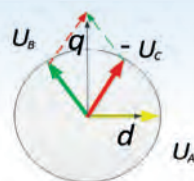


Рис. 2. Проекция фазных векторов на оси полярной системы координат

зывающую разницу в амплитуде между вектором q , полученным в результате сложения векторов напряжений фаз U_B и U_C , и вектором q , образующим систему координат dq . Таким образом, необходимо математически вписать вектор q в окружность. Рассмотрим *рисунок 3*.

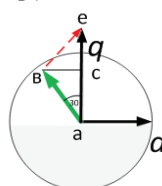


Рис. 3. Определение длины вектора q

Треугольник $(a, в, e)$, образованный вектором напряжения фазы U_B и вектором q , имеет углы $(в, a, e)$ и $(в, e, a)$ по 30 градусов, а отрезок $(в, c)$ является высотой, образует прямоугольный треугольник, при этом делит вектор q пополам. Отрезок (a, e) можно определить как:

$$(a, e) = \frac{(a, в) \sqrt{3}}{2} \cdot 2 \quad (3)$$

Отсюда следует $U_B - U_C$ в $\sqrt{3}$ больше чем любой из фазных векторов. Тогда управляющий вектор U_S формируется в системе координат d, q (*рисунок 4*) и описывается уравнением:

$$U_S = \sqrt{U_A^2 - \frac{(U_B - U_C)^2}{3}} \quad (4)$$

Действующий вектор U_D формируется в системе координат (d, q) путем сложения векторов измеренных значений напряжений, углов сдвига фаз. Приближение действующего вектора к управляющему возможно за счет подмагничивания синхронного генератора со стороны ротора.

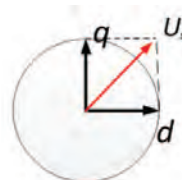


Рис. 4. Управляющий вектор

При реализации алгоритмов векторного управления на всех генераторах, включенных на параллельную работу, можно осуществлять соединения их с общей шиной в любой момент времени без возмущений, связанных с несовпадением фаз.

Литература

1. Анучин А. С. Системы управления электроприводов. М.: МЭИ, 2015. 373 с.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.942

О МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ОСКОЛКОВ ВСЛЕДСТВИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА ABOUT THE METHOD OF CALCULATING THE SPATIAL ENERGY DISTRIBUTION OF THE FRAGMENTS AS A RESULT OF EMERGENCY SITUATIONS OF TECHNOGENIC CHARACTER

Анатолий Валерьевич Рыбаков

доктор технических наук, доцент

начальник лаборатории Информационного
обеспечения населения и технологий
информационной поддержки РСЧС

Академия гражданской защиты МЧС России

Адрес: 141435, Московская обл.,

г.о. Химки, м-н Новогорск

Тел.: +7(498)699-07-28

E-mail: anatoll_rubakov@mail.ru

Владимир Иванович Мухин

заслуженный деятель науки РФ

доктор военных наук, профессор

профессор кафедры информационных технологий
и систем управления

Академия гражданской защиты МЧС России

Адрес: 141435, Московская обл.,

г.о. Химки, м-н Новогорск

Руслан Раилевич Вильданов

оператор лаборатории Информационного
обеспечения населения и технологий
информационной поддержки РСЧС

Академия гражданской защиты МЧС России

Адрес: 141435, Московская обл.,

г.о. Химки, м-н Новогорск

Телефон: +7(985)279-06-61

E-mail: hardorzz@gmail.com

Аннотация

Статья посвящена разработке методики, позволяющей оценить разлет осколков зданий на опасном производственном объекте. Также методика позволяет построить пространственное распределение энергии для оценки последствий воздействия осколков на людей и строительные конструкции. Существенным является учет физических особенностей разлета осколков от строительных конструкций. Рассматривается разгерметизация трубопровода со сжатым газом. Приводятся расчеты по оценке пространственного распределения осколков, образованных при разрушении кирпичного здания.

Ключевые слова: разлет осколков, пространственное распределение осколков, распределение энергии, разгерметизация оборудования, зона поражения, поражающее действие.

Summary

The article is devoted to the development of methodology to assess the dispersion of fragments of buildings at hazardous production facilities. Also, the method allows to construct a spatial energy distribution to assess the impacts of the fragments on the people and building construction. It is essential to accounting the physical characteristics of fragment dispersion of building structures. It is considered depressurization of the pipeline with the compressed gas. Calculations are carried out to assess the spatial distribution of the fragments formed during the destruction of a brick building.

Key words: fragment dispersion, spatially distribution of fragments, energy distribution, depressurization of the equipment, bursting effect area, destructive effect.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Чрезвычайные ситуации (ЧС) техногенного характера связаны с возникновением пожаров (диффузионное горение) или взрывов (детонация или дефлаграционное горение). К основным поражающим факторам взрыва относятся воздушная ударная волна (избыточное давление в ее фронте) и осколочное поле (количество осколков, их кинетическая энергия и радиус разлета), которое в свою очередь образует возможную зону поражения людей. Как показывают произошедшие ЧС [1], поражающие действия от разлета осколков приводят к большому количеству пострадавшего населения. Так, например, в августе 2015 года в Тяньцзинь (Китай) на севере страны прогремели два мощных взрывов на складе химических веществ, в результате которых погибли, по меньшей мере, 50 человек и пострадали свыше 700 человек. Кроме этого, более 3,5 тысяч человек были вынуждены покинуть свои дома и ночевать под открытым небом во временном укрытии, так как в жилых домах, находящихся наиболее близко к взрыву, выбиты почти все окна, внутри домов мебель разбросана, словно подхваченная вихрем, сорванные с петель двери между комнат лежат под углом [1].

Существует много других примеров ЧС, в которых поражающее действие от осколков оборудования, зданий, сооружений приводит к значительному ущербу [1]. Произошедшие ЧС позволяют сделать вывод о том, что при проектировании и строительстве опасных производствен-

ных объектов возможное действие поражающего фактора, связанное с разлетом осколков, не учитывается и должным образом не оценивается. Существующие в настоящее время подходы не позволяют достоверно оценить поражающее действие образующихся осколков, так как модели сильно упрощены и позволяют оценить, как правило, дальность полета [2]. Хотя, как свидетельствуют факты возникновения ЧС, требуется оценивать и высоту возможного подъема осколка. Поэтому существует необходимость в создании такой модели, которая позволила бы с высокой степенью достоверности оценить возможную зону поражения от разлета осколков.

Предлагаемая в статье разработанная методика для расчета траектории движения осколков после взрыва, позволяет оценить их пространственное энергетическое распределение и оценить зону поражения.

Методика состоит из:

1. Расчета избыточного давления и импульса, создаваемого фронтом ударной волны после взрыва трубопровода со сжатым газом по модифицированным методикам [3];
2. Расчета непосредственного разлета осколков здания под действием ударной волны;
3. Построения пространственного распределения энергии и оценка зоны поражения вторичными поражающими факторами (рисунком 1).

Рассмотрим предлагаемую методику на примере ЧС вследствие взрыва трубопровода со



Рис. 1. Общая структура методики расчета пространственного распределения энергии осколков

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

сжатым газом на компрессорной станции и оценим возможную зону поражения вторичными факторами (осколками и обломками стен).

Расчет параметров первичной волны при взрыве трубопровода со сжатым газом

В качестве опасного производственного объекта рассмотрим компрессорную станцию (КС), т.е. комплекс сооружений и оборудования для повышения давления сжатия газа при его добыче, транспортировке и хранении. Обычно технологическая схема КС состоит из установок очистки газа, компрессорных цехов, установок воздушного охлаждения газа [4]. Выбран сценарий взрыва трубопровода со сжатым газом рядом со стеной. По нашей методике будут рассчитаны вторичные поражающие факторы, а именно разлет осколков стены и вычислена зона поражения.

Начальная скорость обломка здания зависит от избыточного давления взрыва ΔP , которое определяется формулой:

$$\Delta P = P - P_0, \quad (1)$$

где P – давление на фронте ударной волны;
 P_0 – атмосферное давление (101 кПа).

Для расчета энергии, выделяемой при взрыве трубопровода, воспользуемся формулами, приведенными в [5, 6].

При физических взрывах систем эта энергия при адиабатическом расширении газа, пара или жидкости высвобождается в окружающее пространство. Происходит разрушение сосуда от превышения давления и до 60% энергии рас-

ширения парогазовых сред переходит в кинетическую энергию осколков, которые при промышленных авариях разлетаются на значительные расстояния [7]. При этом на формирование ударной волны расходуется до 40% общей потенциальной энергии физического взрыва сжатого газа. При этом, если избыточное давление $\Delta P < 10$ кПа, разрушения зданий нет; при $10 \leq \Delta P < 20$ кПа, слабая степень разрушения (повреждения окон, дверей, легких перегородок); $20 \leq \Delta P < 30$ кПа, средняя степень разрушения (трещины в несущих элементах конструкций, обрушение участков стен); $30 \leq \Delta P < 50$ кПа, сильная степень разрушения (обрушение 50% конструкций зданий); $100 \leq \Delta P$ кПа, полное разрушение здания. [8]

Тротилловый эквивалент взрыва m_{TNT} в случае гильотинного разрыва трубопровода рассчитывается по формулам

$$k_0 = \min(0.5 \cdot (8.2 \cdot \frac{L}{d_0} \cdot \sqrt{\frac{P_0}{P_{g0}}} + 1), 1) \quad (2)$$

$$m_{TNT} = 6.05 \cdot 10^{-2} \cdot \left[d_0 \sqrt{k_0 \cdot \frac{P_{g0}}{P_0}} \right]^3. \quad (3)$$

Пространственные распределения избыточного давления P (кПа) и импульса положительной фазы сжатия i (кПа·с) в диапазоне избыточного давления до 100 кПа задаются соотношениями

$$R_0 = \frac{R}{m_{TNT}^{1/3}} \quad (4)$$

Таблица 1

Значения предельного избыточного давления, вызывающие различные разрушения зданий и сооружений

ΔP , кПа	Разрушение зданий	ΔP , кПа	Воздействие на людей
0.5 ÷ 3.0	Частичное разрушение остекления	20-40	Легкие (вывихи, ушибы)
3 ÷ 7	Полное разрушение остекления	40-60	Средние (контузии, кровь из носа и ушей)
12	Разрушение перегородок, оконных рам	60-100	Тяжелые (тяжелые контузии, повреждения слуха и внутренних органов, потеря сознания, переломы)
15	Разрушение перекрытий	более 100	Смертельные
30	Разрушение кирпичных и блочных стен		
90	Разрушение железобетонных конструкций		

$$\Delta P = \frac{154}{R_0^{4/3}} + \frac{94}{R_0^2} + \frac{34}{R_0^3} \quad (5)$$

$$i = \frac{0,103 \cdot m_{TNT}^{1/3}}{R_0^{0,915}} \quad (6)$$

Для оценки степени разрушения зданий и сооружений при взрыве используются данные, представленные в *таблице 1*. В ней приведены предельные значения избыточного давления взрыва ΔP , вызывающие различные степени разрушения. В зависимости от величины избыточного давления во фронте ударной волны возникают 4 зоны разрушений: полных, сильных, средних и слабых разрушений.

Как правило, в этих зонах возникают вторичные поражающие факторы, и поражения людей вызываются как прямым действием ударной волны, так и летящими обломками сооружений, падающими деревьями, осколками стекол. Травмы, получаемые пострадавшими, принято подразделять на легкие, средние и тяжелые.

Как правило, в этих зонах возникают вторичные поражающие факторы, и поражения людей вызываются как прямым действием ударной волны, так и летящими обломками сооружений, падающими деревьями, осколками стекол. Травмы, получаемые пострадавшими, принято подразделять на легкие, средние и тяжелые.

Расчет разлета осколков под действием ударной волны

Моделируемый объект представляет собой кирпичную стену комнаты управления компрессорной станции высотой 10 м, шириной в кирпич, находящуюся недалеко от газопровода со сжатым газом. При возможном взрыве газовой трубы будет наблюдаться разрушение здания и разлет обломков в стороны (*рисунок 2*).

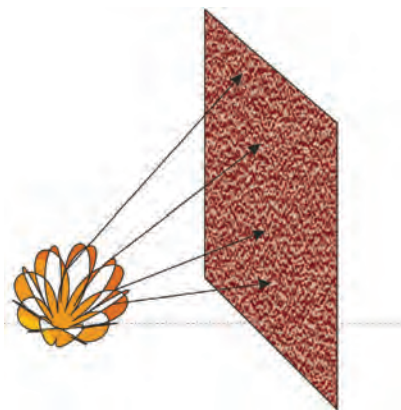


Рис. 2. Схематическое изображение моделируемой ситуации

В качестве параметров трубопровода примем следующие характеристики:

- наружный диаметр газопровода $D=1020$ мм;
- внутренний диаметр трубопровода $d_0=977$ мм;
- толщина стенки газопровода $s=21,5$ мм;
- длина разрушенного участка газопровода $L=10$ м;
- плотность материала газопровода $\rho = 7800$ кг/м³;
- абсолютное давление в газопроводе $P_{np}=P_{g0}=7,5$ МПа;
- плотность воздуха $\rho_{в}=1,204$ кг/м³;
- атмосферное давление воздуха $P_0=101$ кПа;
- показатель адиабаты $\gamma=1,4$;
- часть переданной кинетической энергии $h=0,5$;
- коэффициент сопротивления осколка в воздухе $C_x=1,2$ [9];
- расстояние от нагнетательного газопровода до стены операторной $R=10$ м;

Для взрыва трубопровода с заданными выше характеристиками, находящегося на расстоянии $R=10$ (м) от кирпичной стены, значения избыточного давления и импульса равны:

$$R_0 = \frac{10}{35,943^{1/3}} = 3,03; \quad (7)$$

$$\Delta P = \frac{154}{3,03^{4/3}} + \frac{94}{3,03^2} + \frac{34}{3,03^3} = 46,580 \text{ кПа}. \quad (8)$$

$$i = \frac{0,103 \cdot m_{TNT}^{1/3}}{R_0^{0,915}} = \frac{0,103 \cdot (35,943)^{1/3}}{3,03^{0,915}} = 123,26 \text{ кПа} \cdot \text{с}. \quad (9)$$

Как видно из расчетов, взрыв газовой трубы создает на расстоянии R избыточное давление ΔP , достаточное для сильных разрушений кирпичных стен.

Объемы осколков задаются случайным образом по нормальному закону в пределах от 10 до 50 объемов кирпичей (стандартные размеры одинарного кирпича $V=0,25*0,12*0,065=0,00195$ м³). Распределение объема обломков представлено на *рисунке 3*.

Энергия, затрачиваемая на разрушение стены и создания обломков, зависит от импульса фронта волны. Но для рассматриваемого нами сценария не было найдено точных зависимостей, поэтому энергия, потраченная на разрушение стены, учитывается в коэффициенте переданной кинетической энергии осколкам $h=50\%$.

Поскольку расстояние от точки взрыва до стены составляет порядка ее размеров, нельзя считать фронт ударной волны плоским. Избыточное давление в каждой точке стены соот-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

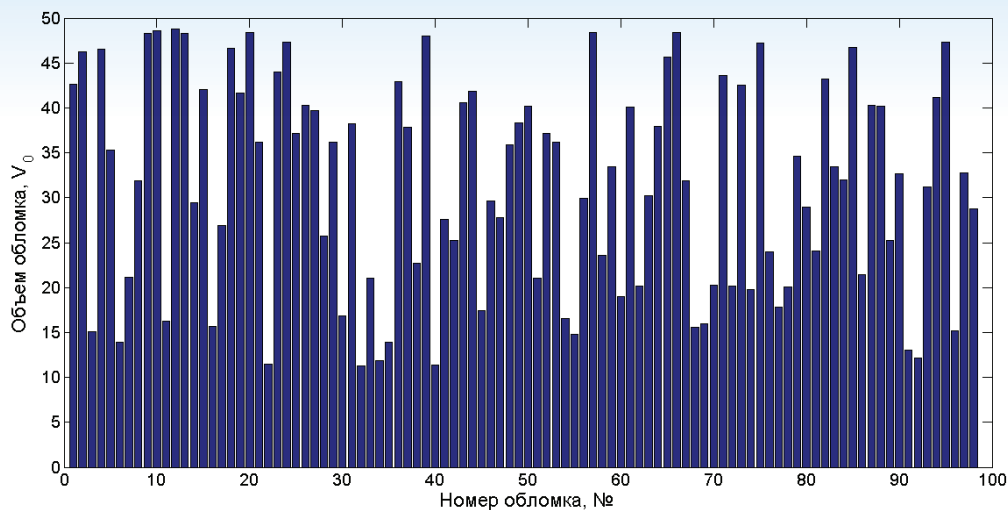


Рис. 3. Распределение обломков по объему

ветственно принимает разные значения, поэтому, целесообразным будет учитывать в формуле точного расстояния до каждого обломка стены. Но в силу того, что в разработанной модели разбиение стены происходит случайным образом по нормальному закону, и нет явной зависимости между обломком и его положением в стене относительно центра взрыва, считаем избыточное давление одинаковым по всей длине (рисунк 4).

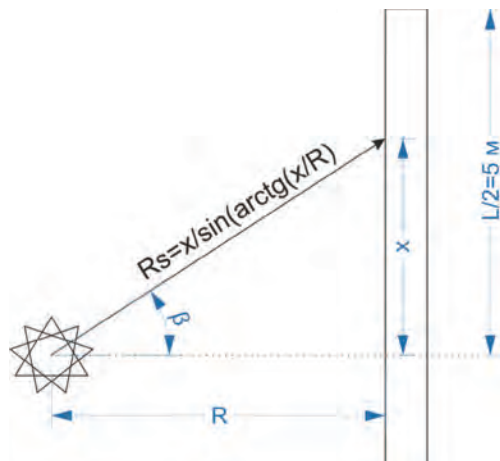


Рис. 4. Схематический рисунок моделируемой ситуации

Формулы для начальных скоростей обломков представлены ниже:

$$\left(\frac{m_i v_{0i}^2}{2} \right) = \eta M_r A_r, \quad (10)$$

где

$$A_r = \frac{(P_0 + \Delta P)}{\rho_r (k-1)} \left(1 - \left(\frac{P_0}{(P_0 + \Delta P)} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \quad (11)$$

$M_r = \rho_r \pi R_o^2 L$ – масса газа, кг;

Скорость i -го обломка стены вычисляется по следующей формуле:

$$v_i = \sqrt{\frac{2\eta M_r A_r}{m_i}}. \quad (12)$$

Исходя из формулы, начальная скорость обломков для построенной модели варьируется от 40 м/с до 90 м/с. Решая систему дифференциальных уравнений для траектории полета каждого осколка,

$$\begin{cases} m_i \frac{dv_i}{dt} = -\frac{1}{2} S_i C_x \rho_B \sqrt{v_i^2 + \omega_i^2} v_i - m_i g \\ m_i \frac{d\omega_i}{dt} = -\frac{1}{2} S_i C_x \rho_B \sqrt{v_i^2 + \omega_i^2} \omega_i \end{cases}, \quad (13)$$

получаем его вертикальные и горизонтальные координаты осколка в пространстве x и y , а также зависимости проекции скоростей v и ω . Для решения системы использовался метод Рунге-Кутты четвертого порядка со следующими итерационными формулами:

$$y = \begin{pmatrix} y \\ v \\ x \\ w \end{pmatrix}, f(t, y) = \begin{pmatrix} \frac{v + v_k}{m} \\ -\frac{1}{2} S C_x \rho_B \sqrt{v^2 + w^2} v - mg \\ \frac{w + v_k}{m} \\ -\frac{1}{2} S C_x \rho_B \sqrt{v^2 + w^2} w \end{pmatrix} \cdot y_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ v_0 \\ 0 \\ w_0 \end{pmatrix} \quad (14)$$

При нахождении решения этой системы учитывались температура окружающей среды (плотность воздуха при $T=20^\circ\text{C}$), влияние ветра v_k (постоянная добавочная скорость по горизонтали) и возникающая сила крыла v_k . Начальный

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

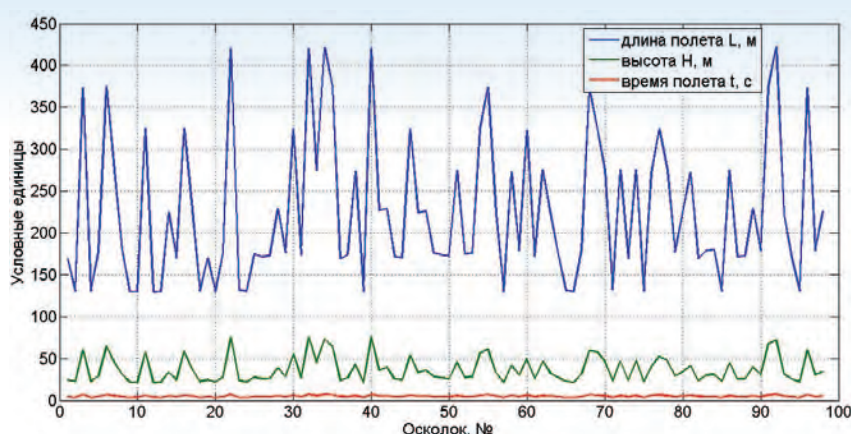


Рис. 5. Максимальная высота, длина и время полета обломка стены

угол полета обломков был выбран между горизонтом и линией, соединяющей центр разгерметизации и середину кирпичной стены, равным $\alpha \approx 30^\circ$. Полученные графики высоты, длины и времени полета представлены на *рисунке 5*.

График распределения полных энергий обломков, представленных суммой кинетической и потенциальной энергии, от расстояния полета представлен на *рисунке 6*. Как видно из графика, энергия обломков, “подлетающих” к земле, остается большой и может причинить ущерб объектам жизнеобеспечения населения.

Далее рассчитаем распределение энергии обломков в зависимости от начального угла разлета (по вертикали от 0 до 90 градусов) для одного осколка массой 141 кг. Пространственное распределение в декартовых координатах представлено на *рисунке 7*.

Исходя из значений критических давлений и полученного пространственного распределения энергии обломков, предлагаемая модель позволяет оценить максимальную зону поражения обломками.

Выводы

Предлагаемая в статье методика позволяет построить пространственное распределение энергии для оценки последствий воздействия осколков на людей и строительные конструкции. Существенным отличием разработанных моделей, составляющих основу методики, является учет физических особенностей разлета осколков от строительных конструкций. Пространственное распределение энергии осколков позволит с высокой степенью достоверно-

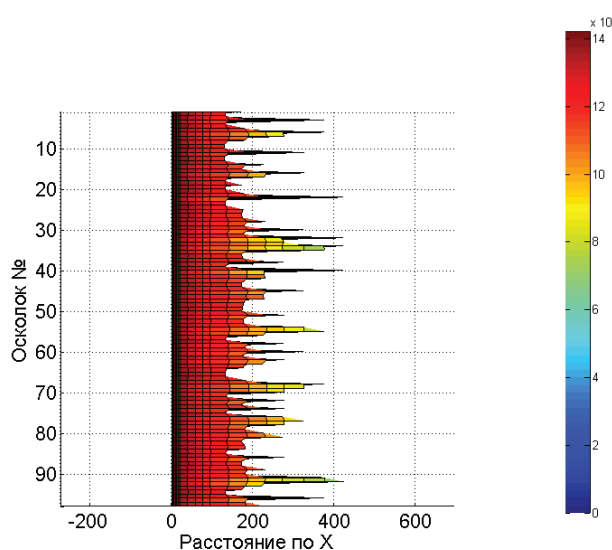


Рис. 6. Зависимость энергии обломков здания от расстояния

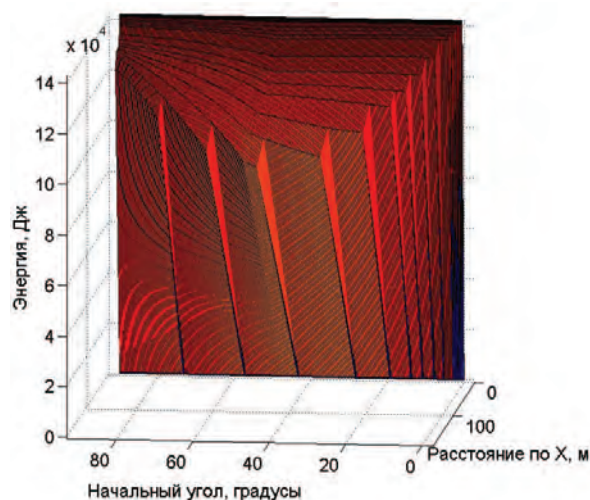


Рис. 7. Распределение энергии обломка для разных начальных углов разлета

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

сти оценить значения техногенного риска, обусловленного ударными и осколочными воздействиями, кроме этого, разработать и обосновать инженерно-технические мероприятия гражданской обороны при разработке проектной документации, деклараций промышленной безопасности и паспортов безопасности опасных производственных объектов. А также разработанная пространственная модель позволит разработать защитные мероприятия, направленные на снижение воздействия поражающих факторов осколочного типа на высотные здания.

Литература

1. Рыбаков А.В., Замана К.Ю. Модель оценки зоны возможного поражения от разлета осколков фрагментов оборудования при возникновении чрезвычайных ситуаций техногенного характера на пожаровзрывоопасных объектах // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты, Академия гражданской защиты МЧС России, Химки, 2015. №4. С. 56-64.
2. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. М.: Химия, 1991. 432 с.
3. Гамера Ю.В., Овчаров С.В., Рыбаков А.В. Оценка устойчивости зданий к барическим воздействиям // Безопасность труда в промышленности, 2013. №7. С. 73-78.
4. Мохов М.А. Нефтегазовая микроэнциклопедия. М.: Университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. 125 с.
5. Карауш С.А. Оценка параметров промышленных взрывов. Томск: Томский гос. архит.-строит. ун-т, 2014. 96 с.
6. Гамера Ю.В., Овчаров С.В. Модель образования и распространения первичной воздушной ударной волны при аварии оборудования, находящегося под высоким давлением // Безопасность труда в промышленности, 2012. №12. С. 74-78.
7. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром». М.: СТО Газпром, 2009. 377 с.
8. Методика оценки параметров и последствий барического воздействия при авариях с выбросом газообразного метана на опасных производственных объектах. ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2013. С. 1-54.
9. Королев Е.В., Жамалов Р.Р. Аэродинамическое сопротивление плохо обтекаемых тел // Вестник НГИЭИ, 2011. Т. 2. №1. С. 61-77.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 539.182

ТЕРНАРНАЯ ГРУППОВАЯ АЛГЕБРА. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ В ЭВКЛИДОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ TERNARY GROUP ALGEBRA. COMPLEX ANALYSIS IN EUCLIDEAN SPACE

Геннадий Германович Волков

доктор физико-математических наук, профессор

ведущий научный сотрудник
ФГБУ Петербургский институт
ядерной физики им. Б.П. Константинова
Адрес: 188300, Ленинградская обл.,
г. Гатчина, Орлова роща
Тел.: +7(813-71)-46-025
E-mail: gennadii.volkov@rambler.ru

Николай Сергеевич Кукин

кандидат технических наук

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

Анна Руслановна Мурадова

студентка

Университет машиностроения (МАМИ)

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

Ирина Олеговна Глотова

студентка

Университет машиностроения (МАМИ)

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

Аннотация

В данной статье мы следуем целям наших предыдущих публикаций [1, 2], которые связаны с проблемами расширения алгебраических основ и пространственно-временных свойств современной квантовой физики в рамках построения новых теорий комплексных чисел альтернативных теориям комплексных и гипер-комплексных чисел. Основополагающая идея для поиска в Евклидовых пространствах R^n новых комплексных структур, связанных с возможным существованием темной пра-материи с экзотическими квантовыми пространственно-временными свойствами, состоит в использовании конечных групп G для конструирования конечных групповых алгебр $K[G]$ над уже известными по предыдущим работам [1, 2] полями $K=R, C$. Групповая алгебра $K[G]$ конечной группы G над полем $K = R, C$ представляет $\dim K[G]=|G|$ -мерное векторное пространство с базисом, состоящим из элементов группы. Пути «комплексификации» Евклидовых пространств R^n связаны с применением конечных групп G из широкого класса: циклических C_n , диэдральных D_n , альтернативных A_n и симметрических S_n -групп. Известно, что для изучения указанных симметрий в пространстве R^3 достаточно использовать несколько вариантов циклических групп второго C_2 и третьего поряд-

ка C_3 . Как начальный этап для построения теории новых «комплексных чисел» и создания соответствующих теорий комплексного анализа проводится анализ N -одномерных и регулярного представлений абелевой циклической C_N -группы размерности $N = 3$, отвечающей построению коммутативной групповой алгебры в 3-х мерном пространстве TC .

Ключевые слова: конечные группы, групповые алгебры, представление групп, циклические абелевы группы, тернарный комплексный анализ, унитарность, ортогональность, кубические формы, тернарное дифференциальное уравнение.

Summary

In this paper, we follow the objectives of our previous publications [1, 2], which are associated with the problems of expansion of algebraic bases and spatio-temporal properties of modern quantum physics as part of the construction of new theories of complex numbers to an alternative theory of complex and hyper-complex numbers. The underlying idea is to search for in the Euclidean space R^n of new integrated structures, relating to the possible existence of dark/pra-matter with exotic quantum space-time properties is the use of finite groups G to construct a finite group algebra $K[G]$ on the already known to us fields $K = R, C$. The group algebra $K[G]$ of a finite group G over a field $K = R, C$ is $\dim K[G] = |G|$ – dimension-

al vector space with a basis consisting of the elements of the group. Our paths “complexification” of Euclidean space R^n associated with the use of finite groups G of broad classes: cyclic C_N , dihedral D_N , alternative A_N - and symmetric S_N groups. It is known that for the study of these symmetries in the space R^3 is sufficient to use several variants of the cyclic groups of the second C_2 and third order C_3 . As the starting point for building a new theory of “complex

numbers” and the creation of appropriate theory of complex analysis, we will focus on the analysis of $N=3$, corresponding to the construction of the switching group algebra in 3-dimensional space TC .

Keywords: finite groups, group algebras, representation of groups, cyclic abelian groups, ternary complex analysis, unitary, orthogonality, cubic forms, ternary differential equation.

Введение

Комплексификация Эвклидовых пространств R^n может быть осуществлена на основе конструирования конечных групповых алгебр $K[G]$ над уже известными по работам [1, 2] полями $K=R, C$. Групповая алгебра $K[G]$ конечной группы G над полем $K=R, C$ представляет $\dim K[G] = |G|$ -мерное векторное пространство с базисом, состоящим из элементов группы [3, 4, 5]. Действие группы G на $k[G]$ является регулярным представлением. В этой связи очень интересным является рассмотрение конечных групп G из широкого класса: циклических C_N , диэдральных D_N , альтернативных A_N и симметрических S_N -групп [6, 7, 8], что мы и предполагаем осуществить в наших будущих публикациях. Для ознакомления с общей стратегией процесса построения новых комплексных структур в пространстве R^n и последующего создания комплексного анализа первоначально целесообразнее остановиться на изучении Абелевых групп.

Введение в математику мнимых чисел с более сложной структурой в течение уже более 100 лет, время от времени, вызывало интерес к циклической группе $C_3 = \{q_0, q, q^2 \mid q^3 = q_0\}$, где q – производящий элемент группы, а q_0 – единичный элемент группы, $q_0^k = q_0, k = 1, 2, 3, \dots$ [13, 14]. Новые мнимые числа $q_1 = q$ и $q_2 = q^2 = q_1^{-1}$, вводимые на основе циклической C_3 группы, могут позволить комплексифицировать трехмерное Эвклидово пространство $R^3 \rightarrow TC$ и соответственно могли бы развить в этом пространстве TC весь тот комплексный анализ, который так успешно был развит при комплексификации двумерного пространства $R^2 \rightarrow C$.

1. Неприводимые и регулярное представление циклической группы C_3 в тернарной комплексификации R^3

Для тернарной комплексификации векторного пространства R^3 используются три одномерные и трехмерное регулярное представление циклической группы третьего порядка.

В физическом контексте элементы циклических групп C_N являются группами симметрий правильных N -угольников относительно вращений на углы $2\pi k/N, k=0,1,2,\dots,N$ вокруг оси, перпендикулярной плоскости N -угольника, в частности, элементы группы C_3 являются вращениями в R^3 на углы $-0, 2\pi/3, 4\pi/3$ вокруг, например, оси x_0 . Такие вращения вектора в R^3 , реализованные с помощью матриц 3×3 , соответствуют регулярному представлению циклической группы C_3 . Для любой конечной группы G порядка $|G|=N$ в векторном пространстве размерности N естественным образом строится регулярное представление ρ с базисом $\{g\} \in G$ имеющее характер $\chi(g)$ [3-7]:

$$\chi(g) = \text{tr } \rho(g) = \begin{cases} |G|, & \text{если } g = 1, \\ 0, & \text{в других случаях.} \end{cases} \quad (1)$$

Для неприводимого представления ρ_i с характером χ_i степени n_i , где n_i характеризует размерность неприводимого представления, а i – число неприводимых представлений имеются следующие соотношения [3-7]:

$$\chi = \sum_i n_i \chi_i \text{ и } |G| = \sum_i n_i^2. \quad (2)$$

Для $N=3$ регулярное векторное представление R^V может быть определено через три ортогональные (3×3) -матрицы, соответствующие поворотам на углы $0, 2\pi/3$ и $4\pi/3$:

$R^V(q_0) = O(0)$, $R^V(q) = O(2\pi/3)$, и $R^V(q^2) = O(4\pi/3)$. Эти матрицы реализуют представление группы за счет отношений $R^V(q^2) = (R^V(q))^2$ и $(R^V(q))^3 = R^V(q_0)$. Представление является точным, так как центр гомоморфизма состоит только из единицы:

$$\text{Ker } R = q_0 \in C_3.$$

Дополняя указанные матрицы регулярного представления группы C_3 , тремя (3×3) -матрицами отражения: $R(r)$, $R(r)R(q)$ и $R(r)R(q^2)$, мы получаем 3-х мерное приводимое представление

$$R(D_3(q, r)) = (E, R(q), R(q^2), R(r), R(r)R(q), R(r)R(q^2)) \quad (3)$$

диэдральной группы правильного неориентированного треугольника D_3 , изоморфной неа-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

белевой симметрической группе перестановок $D_3 \cong S_3$ и которая определяется двумя произвольными элементами – вращением q и отражением r :

$$D_3 = \{q_0, q, q^2, r, rq, rq^2 \mid q^3 = r^2 = (rq)^2 = q_0 = e\}. \quad (4)$$

Циклическая группа C_3 является инвариантной подгруппой группы $D_3 (\cong S_3)$:

$$ghg^{-1} = h', \quad \forall g \in D_3; h, h' \in C_3, \quad (5)$$

что приводит к построению фактор-группы порядка два

$$D_3 / C_3 = C_2. \quad (6)$$

Через понятие инвариантной подгруппы вводится класс простых групп, которые не содержат инвариантные подгруппы (кроме единицы и самой группы). Одно из важнейших достижений в теории конечных групп является их классификация [3-9]. Группа D_3 интересна при анализе сравнения ее с абелевой циклической группой порядка $|C_6| = C_6 \approx C_3 \times C_2$.

Вычисляя следы матриц $R^V(q_0) = O(0)$, $R^V(q) = -O(2\pi/3)$, и $R^V(q^2) = O(4\pi/3)$, можно получить выражение для характера 3-х мерного регулярного представления циклической подгруппы C_3

$$\xi^V = (\xi^V(q_0), \xi^V(q), \xi^V(q^2)) = (3, 0, 0), \quad (7)$$

которое показывает, как векторное представление R^V раскладывается в прямую сумму одномерных неприводимых представлений $R^{(i)}$ [3-7]:

$$\xi^V = \xi^{(1)} + \xi^{(1')} + \xi^{(1'')}. \quad (8)$$

И, соответственно,

$$R^V = R^{(1)} \oplus R^{(1')} \oplus R^{(1'')}. \quad (9)$$

В результате мы можем использовать одномерные неприводимые представления $R^{(i)}$ для построения 3-х автоморфизмов комплексифицированного пространства $R^3 \rightarrow TC$, то есть ввести понятия тернарного сопряжения [15, 16]:

$$\begin{pmatrix} z \\ \bar{z} \\ \bar{\bar{z}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & j^2 \\ 1 & j^2 & j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 q \\ x_2 q^2 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

Из циклической C_3 группы и ее одномерного представления $R^{(i)}(C_3)$ можно построить в пространстве R^3 групповую алгебру $(R^{(i)}(C_3), R^3)$:

$$TC = R \oplus Rq \oplus Rq^2, \quad (11)$$

в которой ее элементы

$$z = x_0 q_0 + x_1 q + x_2 q^2, \quad x_i \in R, i = 0, 1, 2, \quad (12)$$

можно рассматривать как тернарные комплексные числа, образующие поле TC , которое является тернарным обобщением поля комплексных чисел C .

В прямом соответствии с существованием двух других неприводимых одномерных представлений $R^{(1')}(C_3)$ и $R^{(1'')}(C_3)$ можно определить два других элемента групповой алгебры, называемых модулями [11, 13]:

$$\bar{z} = x_0 q_0 + x_1 j q + x_2 j^2 q^2,$$

$$\bar{\bar{z}} = x_0 q_0 + x_1 j^2 q + x_2 j q^2, \quad (13)$$

где $j = \exp(2i\pi/3)$, $1 + j + j^2 = 0$, что на языке тернарных комплексных чисел можно принять как определение операции сопряжения и двойного сопряжения двух мнимых единиц q_1 и q_2 , соответственно:

$$\bar{q}_1 = \bar{q} = jq, \quad \bar{\bar{q}}_1 = \bar{\bar{q}} = j^2 q;$$

$$\bar{q}_2 = \bar{q}^2 = \bar{q}^2 = j^2 q, \quad \bar{\bar{q}}_2 = \bar{\bar{q}}^2 = \bar{\bar{q}}^2 = jq. \quad (14)$$

Теперь в полной аналогии с теорией комплексных чисел C можно ввести кубическую инвариантную форму [11-17]

$$\langle z \rangle^3 = z \bar{z} \bar{\bar{z}} = x_0^3 + x_1^3 + x_2^3 - 3x_0 x_1 x_2 \quad (15)$$

и проверить справедливость следующего соотношения

$$\langle z_1 z_2 \rangle^3 = \langle z_1 \rangle^3 \langle z_2 \rangle^3, \quad (16)$$

которое может рассматриваться как тернарное обобщение соответствующих равенств для бинарных норм для чисел и гипер-чисел в случае хорошо известных норм-делителей алгебр R , C , H , O . Равенство (16) будет также отражать групповые свойства этих новых TC чисел, которые могут проявиться в существовании абелевых групп симметрий некоторых геометрических трехмерных объектов. Более точно, единичные TC числа составляют двух-параметрическую абелеву тернарную группу.

Напомним, что бинарные норм-делители алгебры C , H , O , связанные с открытием комплексного числа и его расширений, привели к открытию, соответственно, унитарных, симплектических и исключительных групп симметрий [3, 9]. Циклические группы позволяют рассматривать мнимые числа не за счет увеличения их числа, а усложняя его структуру.

Для элементов групповой алгебры имеем

$$\bar{z} + \bar{\bar{z}} = 2x_0 - x_1 q - x_2 q^2 \in TC, \quad (17)$$

$$z \bar{\bar{z}} = (x_0^2 - x_1 x_2) + (x_2^2 - x_0 x_1) q + (x_1^2 - x_2 x_0) q^2 \in TC. \quad (18)$$

Также имеем

$$\begin{aligned} \langle z \rangle^3: z \otimes \bar{z} \otimes \bar{\bar{z}} \mapsto \langle z \rangle^3 &= z \bar{z} \bar{\bar{z}} = x_0^3 + x_1^3 + x_2^3 - 3x_0 x_1 x_2 = \\ &= (x_0 + x_1 + x_2)(x_0^2 + x_1^2 + x_2^2 - x_0 x_1 - x_1 x_2 - x_2 x_0). \end{aligned} \quad (19)$$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Таким образом, $\langle z \rangle = 0$, если z принадлежит идеалам $I_1 = (x_0 + x_1 + x_2) = 0$ или $I_2 = (x_0^2 + x_1^2 + x_2^2 - x_0 x_1 - x_1 x_2 - x_2 x_0) = 0$ [3-9]. Тернарное комплексное число называется невырожденным, если $\langle z \rangle \neq 0$.

2. Параметризация сферы

Аппеля и 3-мерная теорема Пифагора

Можно построить внутреннюю метрику этой поверхности в общем случае $\rho \neq 0$. Введем $a = x_0 + x_1 + x_2$ и параметризуем точку на окружности радиусом r вокруг трисектрисы ее полярными координатами (r, θ) .

Поверхность $\Sigma: x_0^3 + x_1^3 + x_2^3 - 3x_0 x_1 x_2 = \rho^3$ в этих координатах имеет простое уравнение: $a r^2 = \rho^3$.

Можно показать, что для этой кубической поверхности мы можем выбрать параметризацию $g(a, \theta): R^2 \rightarrow \Sigma$ для точки $M(x_0, x_1, x_2)$ [17]:

$$g(a, \theta) = (x_0(a, \theta), x_1(a, \theta), x_2(a, \theta)), \quad (20)$$

$$x_0(a, \theta) = \frac{a}{3} - \frac{2\rho^{3/2}}{3\sqrt{a}} \cos \theta,$$

$$x_1(a, \theta) = \frac{a}{3} - \frac{1\rho^{3/2}}{3\sqrt{a}} (\cos \theta + \sqrt{3} \sin \theta),$$

$$x_2(a, \theta) = \frac{a}{3} - \frac{1\rho^{3/2}}{3\sqrt{a}} (\cos \theta - \sqrt{3} \sin \theta). \quad (21)$$

Тогда можно найти касательные векторы к поверхности $\Sigma \subset R^3$ в точке $x_0(a, \theta), x_1(a, \theta), x_2(a, \theta)$.

Эти два касательных вектора геометрически представляют собой параллелограмм, площадь которого определяется Якобианом

$$J_{123} = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_0}{\partial a} & \frac{\partial x_1}{\partial a} & \frac{\partial x_2}{\partial a} \\ \frac{\partial x_0}{\partial \theta} & \frac{\partial x_1}{\partial \theta} & \frac{\partial x_2}{\partial \theta} \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}. \quad (22)$$

Геометрически дифференциальные формы $dx_0 \wedge dx_1, dx_1 \wedge dx_2, dx_2 \wedge dx_0$ являются областями параллелограммов, охваченными векторами $\partial g / \partial a$ и $\partial g / \partial \theta$, проектируемыми на $(dx_0, dx_1), (dx_1, dx_2), (dx_2, dx_0)$ плоскости, соответственно. Это дает

$$dx_k \wedge dx_l = J_{kl} da d\theta, \quad k, l = 0, 1, 2, \quad (23)$$

где Якобианы J_{kl} имеют вид:

$$J_{01} = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_k}{\partial a} & \frac{\partial x_l}{\partial a} & 0 \\ \frac{\partial x_k}{\partial \theta} & \frac{\partial x_l}{\partial \theta} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (24)$$

$$J_{12} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial x_k}{\partial a} & \frac{\partial x_l}{\partial a} \\ 0 & \frac{\partial x_k}{\partial \theta} & \frac{\partial x_l}{\partial \theta} \end{vmatrix}, \quad (25)$$

$$J_{20} = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_k}{\partial a} & 0 & \frac{\partial x_l}{\partial a} \\ 0 & 1 & 0 \\ \frac{\partial x_k}{\partial \theta} & 0 & \frac{\partial x_l}{\partial \theta} \end{vmatrix}. \quad (26)$$

Теперь можно увидеть геометрический смысл J_{01}, J_{12} и J_{20} и получить тернарный аналог теоремы Пифагора:

$$J_{01}^3 + J_{12}^3 + J_{20}^3 - 3J_{01}J_{12}J_{20} = J_{012}^3 = \frac{1}{3\sqrt{3}} \frac{\rho^6}{a^3}. \quad (27)$$

От теоремы Пифагора для треугольника можно перейти к аналогичной теореме Пифагора для тетраэдра:

$$S_A^3 + S_B^3 + S_C^3 + S_D^3 - 3S_A S_B S_C = S_D^3, \quad (28)$$

где S_A, S_B, S_C, S_D – четыре грани тетраэдра.

3. Формула Эйлера

и тернарная тригонометрия

В соответствии с тернарным аналогом формулы Эйлера могут быть построены тернарные экспоненциальные функции. Например, рассмотрим двух параметрическую экспоненциальную функцию [10, 11, 12]

$$\psi = \exp(q\alpha + q^2\beta) = \exp(q\alpha) \cdot \exp(q^2\beta), \quad (29)$$

где (α, β) – параметры, которые являются тернарным аналогом экспоненциальной функции $\exp(i\varphi)$ на комплексной плоскости C . Для функции ψ , разлагая ее в ряд Тейлора, можно получить следующий аналог формулы Эйлера:

$$\psi = \exp(q\alpha + q^2\beta) = f q_0 + g q + h q^2, \quad (30)$$

где f, g, h – функции, зависящие от параметров (α, β) .

Также для этой функции можно ввести две операции сопряжения (14) со следующими ограничениями:

$$\psi \bar{\psi} \bar{\bar{\psi}} = \exp(q\alpha + q^2\beta) \cdot \exp(j \cdot q\alpha + j^2 \cdot q^2\beta) \cdot \exp(j^2 \cdot q\alpha + j \cdot q^2\beta) = q_0, \quad (31)$$

что дает следующую тригонометрическую связь между функциями f, g, h :

$$f^3 + g^3 + h^3 - 3fgh = 1. \quad (32)$$

Эта поверхность является тернарным аналогом S^1 окружности и связана с тернарной 2-х параметрической абелевой группой $TU(1)$.

Формула Эйлера

$$z = \rho \cdot \exp(q\alpha + q^2\beta) = \rho \cdot \exp(\theta(q - q^2) + \phi(q + q^2)) = \rho(c(\alpha, \beta) + s(\alpha, \beta)q + t(\alpha, \beta)q^2), \quad (33)$$

где c, s, t – тернарные тригонометрические функции Аппеля:

$$c = \frac{1}{3} (\exp(\alpha + \beta) + \exp(j\alpha + j^2\beta) + \exp(j^2\alpha + j\beta)),$$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$$s = \frac{1}{3}(\exp(\alpha + \beta) + j^2 \exp(j\alpha + j^2\beta) + j \exp(j^2\alpha + j\beta)),$$

$$t = \frac{1}{3}(\exp(\alpha + \beta) + j \exp(j\alpha + j^2\beta) + j^2 \exp(j^2\alpha + j\beta)),$$
(34)

которые удовлетворяют уравнению

$$c^3 + s^3 + t^3 - 3cst = 1. \quad (35)$$

Любое невырожденное тернарное комплексное число $z \in T_3C$ может быть записано в полярной форме:

$$z = \rho e^{\alpha q + \beta q^2} = \rho e^{\theta(q - q^2) + \varphi(q + q^2)} \quad (36)$$

c

$$TU(1) = \{e^{(\theta + \varphi)q + (\varphi - \theta)q^2}, 0 \leq \theta < 2\pi/\sqrt{3}, \varphi \in R\} \sim TS^1. \quad (37)$$

Так как для произведения двух тернарных комплексных чисел мы имеем $\langle z_1 z_2 \rangle = \langle z_1 \rangle \langle z_2 \rangle$ набор унимодулярных тернарных комплексных чисел, сохраняющих кубическую форму. Непрерывная группа симметрии кубической поверхности $x_0^3 + x_1^3 + x_2^3 - 3x_0x_1x_2 = \rho^3$ изоморфна $TSO(2) \times TSO(1,1)$. Обозначим множество унимодулярных тернарных комплексных чисел или «тернарную единичную сферу» как

$$TU(1) = \{e^{(\theta + \varphi)q + (\varphi - \theta)q^2}, 0 \leq \theta < 2\pi/\sqrt{3}, \varphi \in R\} \sim TS^1. \quad (38)$$

Эта поверхность асимптотически приближается к плоскости $x_0 + x_1 + x_2 = 0$ и к линии $x_0 = x_1 = x_2$ ортогональной ей.

4. Голоморфный анализ. Тернарные уравнения Коши-Римана и Лапласа

Мы собираемся исследовать новые аспекты тернарного комплексного анализа, основанного на комплексификации R^3 пространства. Использование циклической группы C_3 для этих целей является естественным обобщением похожей процедуры для $C_2 = Z_2$ группы в двумерии. Известно, что комплексификация R^2 позволяет ввести новые геометрические объекты – римановы поверхности.

По аналогии с C_2 рассмотрим понятие голоморфности функции в пространстве TC_3 . Рассмотрим функцию

$$F(z, \bar{z}, \bar{\bar{z}}) = f_0(x_0, x_1, x_2)q_0 + f_1(x_0, x_1, x_2)q + f_2(x_0, x_1, x_2)q^2, \quad (39)$$

Есть два типа голоморфности для TC_3 . Для первого типа голоморфности функции (39) имеем условия:

$$\frac{\partial F(z, \bar{z}, \bar{\bar{z}})}{\partial \bar{z}} = \frac{\partial F(z, \bar{z}, \bar{\bar{z}})}{\partial \bar{\bar{z}}} = 0, \quad (40)$$

для второго типа голоморфности можно взять только одно условие

$$\frac{\partial F(z, \bar{z}, \bar{\bar{z}})}{\partial z} = 0. \quad (41)$$

Для удобства примем следующие обозначения:

$$\partial_{z_p} = \frac{\partial}{\partial z_p}, \partial_p = \frac{\partial}{\partial x_p}, z_0 = z, z_1 \equiv \bar{z}, z_2 \equiv \bar{\bar{z}}, p, r = \bar{0}, \bar{2}, \quad (42)$$

$$\partial_{z_p} = J_{pr} \partial_r = \left\| \frac{\partial x_p}{\partial z_r} \right\| \begin{pmatrix} \partial_0 \\ \partial_1 \\ \partial_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & q^2 & q \\ 1 & j^2 q^2 & jq \\ 1 & jq^2 & j^2 q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \partial_0 \\ \partial_1 \\ \partial_2 \end{pmatrix}. \quad (43)$$

В результате, после нахождения производных с учетом ограничений для первого типа голоморфности, можно получить соотношение Коши-Римана

$$\partial_0 f_0 = \partial_1 f_1. \quad (44)$$

Аналогичным образом можно получить полную систему линейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \partial_0 f_0 &= \partial_1 f_1 = \partial_2 f_2, \\ \partial_1 f_0 &= \partial_2 f_1 = \partial_0 f_2, \\ \partial_2 f_0 &= \partial_0 f_1 = \partial_1 f_2. \end{aligned} \quad (45)$$

Уравнения (45) дают определение тернарных гармонических функций, аналог определения Коши-Римана для голоморфных функций в обычном бинарном случае.

Тернарные уравнения (45) дают определение условию тернарной гармоничности функции $f_0(x_0, x_1, x_2)$, $f_1(x_0, x_1, x_2)$, $f_2(x_0, x_1, x_2)$, удовлетворяющей кубическим уравнениям Лапласа

$$\frac{\partial^3 f_p}{\partial x_0^3} + \frac{\partial^3 f_p}{\partial x_1^3} + \frac{\partial^3 f_p}{\partial x_2^3} - 3 \frac{\partial^3 f_p}{\partial x_0 \partial x_1 \partial x_2} = 0, \quad p = 0, 1, 2. \quad (46)$$

5. Тернарные спинорные уравнения Дирака

Для получения дифференциальных уравнений для тернарных спиноров проведем аналогию с бинарным комплексным анализом в комплексной плоскости C . Введем комплексную функцию $f(x_0, x_1) = a(x_0, x_1) + ib(x_0, x_1)$ в открытом множестве $U \subset C$. Гармонические функции $a(x_0, x_1)$ и $b(x_0, x_1)$ удовлетворяют уравнениям Лапласа:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 a}{\partial z \partial \bar{z}} dz \wedge d\bar{z} &= \frac{1}{2i} \left(\frac{\partial^2 a}{\partial x_0^2} + \frac{\partial^2 a}{\partial x_1^2} \right) dx \wedge dy = 0, \\ \frac{\partial^2 b}{\partial z \partial \bar{z}} dz \wedge d\bar{z} &= \frac{1}{2i} \left(\frac{\partial^2 b}{\partial x_0^2} + \frac{\partial^2 b}{\partial x_1^2} \right) dx \wedge dy = 0. \end{aligned} \quad (47)$$

Эти уравнения инвариантны относительно $SO(2)$ преобразований, которые являются следствием симметрии $U(1)$ билинейной формы

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$\{zz^*=(x_0+ix_1)(x_0-ix_1)=1\}=S^1$ в соответствии с фазовым умножением

$$z \rightarrow \exp\{ia\}z, \quad \bar{z} \rightarrow \exp\{-ia\}\bar{z}. \quad (48)$$

Согласно Дираку [18] можно посчитать квадратный корень из уравнения Лапласа:

$$\sigma_1 \frac{\partial \psi}{\partial x_0} + \sigma_2 \frac{\partial \psi}{\partial x_1} = 0, \quad (49)$$

где поле ψ является двумерным спинором

$$\psi = \begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{pmatrix} \quad (50)$$

и где σ_1, σ_2 являются известными матрицами Паули.

Таким образом, на комплексной плоскости имеем следующее соотношение Дирака

$$\left(\sigma_1 \frac{\partial}{\partial x_0} + \sigma_2 \frac{\partial}{\partial x_1}\right)^2 = \frac{\partial^2}{\partial x_0^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_1^2}. \quad (51)$$

Решение линеаризованного уравнения Дирака следует искать через спинорные поля ψ .

Таким образом, в двумерном пространстве можно ввести спиновую структуру, которая была связана с комплексификацией R^2 .

Благодаря свойствам всех $\sigma_p, p=1,2,3$ матриц, похожая связь остается справедливой для $D=3$:

$$\left(\sigma_1 \frac{\partial}{\partial x_0} + \sigma_2 \frac{\partial}{\partial x_1} + \sigma_3 \frac{\partial}{\partial x_2}\right)^2 = \frac{\partial^2}{\partial x_0^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}. \quad (52)$$

Набор матриц Паули составляет алгебру Клиффорда:

$$\{\sigma_m, \sigma_p\}_+ = 2\delta_{mp}, \quad m, p = 1, 2, 3. \quad (53)$$

Извлекая квадратный корень из релятивистского уравнения Клейна-Гордона, можно расширить бинарную алгебру Клиффорда в четырехмерном пространстве-времени:

$$\gamma_m \gamma_n + \gamma_n \gamma_m = 2g_{mn}, \quad m, n = 0, 1, 2, 3, \quad (54)$$

где $\gamma_0 = \sigma_1 \oplus \sigma_0, \gamma_1 = \sigma_3 \oplus \sigma_0, \gamma_2 = \sigma_2 \oplus \sigma_1, \gamma_3 = \sigma_2 \oplus \sigma_3$.

В релятивистском уравнении Дирака следует учитывать уже биспиноры $(\psi, \bar{\psi})$, которые получили в дополнение к спиновой структуре новую геометрическую структуру, связанную с открытием состояний античастиц. Каждая новая структура появится в $R^{6,8,\dots}$ пространстве.

Введем матрицы 3×3 :

$$Q_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad Q_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & j \\ j^2 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad Q_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & j^2 \\ j & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (55)$$

Матрицы (55) удовлетворяют некоторым замечательным отношениям:

$$Q_a Q_b Q_c + Q_b Q_c Q_a + Q_c Q_a Q_b = 3\eta_{abc} E_0, \quad (56)$$

где $\eta_{111} = \eta_{222} = \eta_{333} = 1, \eta_{123} = \eta_{231} = \eta_{312} = j,$

$\eta_{321} = \eta_{213} = \eta_{132} = j^2, j = \exp(2\pi/3),$

$a, b, c = \{1, 2, 3\}.$

Используя матрицы (55), можно получить тернарное уравнение Дирака:

$$\hat{D}\psi = \left(Q_1 \frac{\partial}{\partial x_0} + Q_2 \frac{\partial}{\partial x_1} + Q_3 \frac{\partial}{\partial x_2} \right) \psi = 0, \quad (57)$$

где в 3×3 матричном уравнении ψ является три-спинором:

$$\psi^T = (\psi_1, \psi_2, \psi_3), \quad (58)$$

т.е. вводится тернарная «спиновая» структура в R^3 . Следующие тернарные структуры могут появляться в $R^{6,9,12,\dots}$ пространствах.

Для того, чтобы диагонализировать уравнение (57), необходимо подействовать три раза тем же оператором (58), в результате чего получим кубическое тернарное дифференциальное уравнение Лапласа (46), которому удовлетворяет каждая компонента $\psi_p, p = 1, 2, 3.$

Заключение

Достижения квантовой физики на примере квантования атома водорода и соответствующего объяснения таблицы Менделеева показало исключительную взаимосвязь между геометрическими свойствами атомарной системы и ее симметрий с глобальной $D = (1+3)$ -пространственно-временной картиной видимой части Вселенной. Если основные идеи квантовой физики, основанные на симметриях группы Лоренца $SO(1,3)$ и ее накрывающей $SL(2,C)$ дали значительную информацию о поведении электрона внутри атомов и молекул и некоторых его свойствах на расстояниях $r \sim 10^{-9} - 10^{-11} \text{ nm}$, то достичь соответствующего понимания о квантовой структуре протона и нейтрона задача более сложная, так как она связана с гораздо меньшими расстояниями $r \sim 10^{-13} - 10^{-16} \text{ nm}$. В связи с этим вопросы расширения указанных симметрий или поиска новых пространственно-временных структур в микромире стоят с особой остротой уже в течение нескольких десятилетий [19]. Наш интерес к использованию циклических групп для углубления понятия мнимого числа вызван тем, что это направление может позволить расширить понимание о структуре времени, а значит может открыть новые формы движения.

В статье изложен ряд результатов для циклической группы C_3 так как этот пример будет своеобразным путеводителем в более сложные случаи. В связи с самой важной проблемой современной квантовой физики – открытие темной материи, а также праструктуры электрона, протона-нейтрона, особенный интерес вызывает гипер-комплексный анализ для циклически голоморфных функций в C -пространстве, получающая, соответственно, гипер Коши-Риманна и ги-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

пер-Лапласа уравнения для циклически-гармонических функций, инвариантных относительно найденных двухпараметрических абелевых групп. Здесь также приведены уравнения для трехмерных спиноров, которые можно получить из соответствующего гипер-Лапласа трехмерного уравнения. Новые спинорные структуры могут позволить найти пути открытия темной материи, имеющие экзотические пространственно-временные свойства и, возможно, излучающие невидимый нам «свет».

Литература

1. Смуров С.В., Волков Г.Г., Кукин Н.С., Мурадова А.Р., Глотова И.О. Математические вопросы расширения основ квантовых теорий // Известия Института инженерной физики, 2015. №4(38). С. 71-84.
2. Смуров С.В., Волков Г.Г., Кукин Н.С., Мурадова А.Р., Глотова И.О. Введение в геометрию N-арных комплексных чисел // Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40). С. 75-82.
3. Kostrikin A., Algebra, Iv, Iiv, IIIv, 2000.
4. Ledermann W., Introduction to Group Characters, Cambridge University Press, 1977.
5. Landrock P., Finite Group Algebras and their Modules, London Mathematical Society Lecture Note Series, 1984.
6. Simon B., Representations of Finite and Compact Groups, Americal Mathematical Society, 1996.
7. Jones H.F., Groups, Representations and Physics, The institute of Physics Publishing, London, 1994.
8. Conway J.H., Curtis R.T., Norton S.P.; Parker R.A., Wilson R.A., Atlas of Finite Groups: Maximal Subgroups and Ordinary Characters for Simple Groups, Oxford, England, Clarendon Press, 1985.
9. Otal J., The Classification of the Finite Simple Groups: An Overview, Monografias de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza, 26 (2004). P. 89–104.
10. Webb P., A Course in Finite Group Representation Theory, Minneapolis, 2016. 287 p.
11. Beveren E., Some notes on group theory, Departamento de FisicaFaculdade de Cienciase Tecnologia, P-3000 COIMBRA, Portugal, 2012.
12. Appel P., CR, Acad. Sci., Paris, 84 (1877), 540 p.
13. Humbert P., Math J., Pures Appl. 21, 1942.
14. Devisme J., The Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse, 25 (1933), 143 p.
15. Fleury N., Rausch de Traunbenberg M., Yamaleev R.M., J. Math. Anal. and Appl., 191, (1995), 118 p.
16. Dubrovskiy A., Volkov G., Ternary numbers and algebras. Reflexive numbers and Berger graphs, Adv. Appl. Clifford Algebras, 17 (2007). P. 159-181.
17. Lipatov L.N., Rausch de Traunbenberg M., Volkov G., On the ternary complex analysis and its applications, J. Math. Phys. 49, 2008.
18. Dirac P.A.M., The quantum theory of electron, Proceeding of the Royal Society A117, 610 (1928).
19. Volkov G.G., Maslikov A.A., Geometry of the Standard Model. Nonlinear Dynamics and Applications, Proceeding of the Twenty first Annual Seminar «NPCS», Minsk, 20 (2014). P. 257-264.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 65.011

УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПОДСИСТЕМЫ АСУ ОГНЕМ В ИНТЕРЕСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЕ ЖИВУЧЕСТИ RESOURCE MANAGEMENT INFORMATION AND CONTROL SUBSYSTEM ACS FIRE IN ORDER TO ENSURE ITS SURVIVABILITY



Игорь Владимирович Грудинин

доктор военных наук, профессор
профессор кафедры
оперативного искусства и тактики
Военно-космическая академия
им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7(931)255-30-32
E-mail: giviniv@mail.ru

Сергей Владимирович Суруикин

кандидат военных наук
соискатель кафедры
оперативного искусства и тактики
Военно-космическая академия
им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7(981)742-47-65
E-mail: giviniv@yandex.ru

Аннотация

Представлен научно-методический подход к организации управления ресурсами информационно-управляющей подсистемы автоматизированной системы управления огнем средств поражения в интересах обеспечения ее живучести, реализующий алгоритм выработки управляющих воздействий по результатам текущего оценивания живучести ее элементов, нормированных условием выполнения заданных значений показателей результативности и ресурсоемкости автоматизированного управления огнем средств поражения.

Ключевые слова: живучесть, система управления огнем средств поражения, информационно-управляющая подсистема, распределенная информационно-вычислительная сеть.

Summary

Submitted to the scientific and methodical approach to resource management information management subsystem of automated fire control system means of destruction in order to ensure its survivability, implements the algorithm formulation for control actions based on the results of the current assessment of the survivability of its elements normalized condition to execute the specified values of performance indicators and resource for automated fire control system.

Key words: : persistence, weapons fire control system, information management subsystem, distributed information and computing network.

В основу предлагаемого научно-методического подхода к организации управления ресурсами информационно-управляющей подсистемы (ИУП) автоматизированной системы управления огнем (АСУО) в интересах обеспечения ее живучести положен алгоритм выработки управляющих воздействий по результатам текущего оценивания живучести ИУП, нормированных условием выполнения заданных значений показателей результативности и ресурсоемкости реализации целевого процесса – автоматизирован-

ного управления огнем средств поражения [1].

Развитие вычислительной техники приводит к существенным изменениям технологий обработки информации, которые связаны, прежде всего, с объединением распределенных процессов и систем обработки информации в единую структуру с использованием средств связи. Разрабатываются новые архитектуры ИУП АСУО на базе распределенных вычислительных сетей. Важность наличия у создаваемых систем свойства живучести в условиях огневых и ради-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

оэлектронного противодействия (ОРЭП) можно понять, проанализировав требования к достоверности и целостности передаваемой информации, времени реакции системы, точности реализации функций и адекватности вырабатываемых решений на применение средств поражения.

Вопросы обеспечения живучести ИУП АСУО средств поражения решаются при проектировании ее структуры: формируется необходимая топология межкомпонентной связи, определяются требования по надежности элементов системы и линий связи между ними. Живучесть, наряду с функциональной устойчивостью, понимается либо как связность определенных узлов системы, либо как возможность обеспечения информационной доступности некоторого элемента. Таким образом, топология распределенной информационно-вычислительной системы, на базе которой формируется ИУП АСУО, определяет уровень ее структурной и функциональной устойчивости [2].

Топология определяет также ряд свойств и показателей надежности. Рассмотрим основные типовые конфигурации сетей с точки зрения надежности, функциональной устойчивости и живучести ИУП АСУО. Среди множества способов соединения сетевых устройств выделяют три базовых топологии (шина, кольцо, звезда), а также ряд дополнительных (двойное кольцо, ячеистая топология, решётка, дерево, снежинка, полностью связная и другие).

Дополнительные способы являются комбинациями базовых. В общем случае такие топологии называются смешанными или гибридными, но некоторые из них имеют собственные названия, например «Дерево». С точки зрения живучести ИУП АСУО наиболее предпочтительной топологией, применяемой для ее построения, является «решетка», так как она обладает наибольшим количеством связей между элементами. Исследуемая ИУП АСУО представляет собой одну из таких производных схем (рисунк 1).

Основными дестабилизирующими факторами для ИУП АСУО в отсутствие ОРЭП выступают ненадежность отдельных элементов и под-

систем (ЭВМ, каналов передачи информации, средств обеспечения доступа к ней), помехи в каналах связи (динамическое изменение объема ресурсов, требуемых для обработки).

Огневое и/или радиоэлектронное противодействие существенно усугубляет и усиливает деструкцию обозначенных факторов и, в конечном итоге, нарушает целостность морфологической и функциональной структуры ИУП АСУО средств поражения.

При колебаниях этих факторов различной интенсивности компенсация их возможна за счет применения адаптивных механизмов, например, приведение протокола нижнего уровня в соответствие с текущим состоянием канала связи между узлами или перестройка дисциплины распределения вычислительных средств сети в соответствии с их текущей загрузкой. При этом, в случае превышения адаптационных возможностей соответствующих подсистем дальнейшее функционирование ИУП АСУО либо прекращается, либо может быть продолжено за счет применения специальных методов и средств обеспечения живучести: логической и структурной реконфигурации; перераспределения нагрузки на отдельных участках ИУП АСУО; восстановления информационных массивов с последующим возобновлением их обработки; изменения структуры комплекса реализуемых функций (решаемых задач) управления огнем в соответствии с их приоритетом в системе управления.

Теория «живучих» (функционально устойчивых) систем является результатом системного подхода к решению проблемы повышения надежных свойств сложных объектов управления (надежность, устойчивость, отказоустойчивость, отказобезопасность). При этом живучесть является свойством, принципиально отличным от надежности, устойчивости, отказоустойчивости. Методы обеспечения живучести направлены на более полное использование располагаемых технических ресурсов сложной организационно-технической системы в условиях структурной и функциональной деградации ИУП в результате последовательного или одновременно ОРЭП. Их особенностью является то, что самой системе отводится не пассивная роль выполнения жесткой программы, а активное адаптивное перераспределение ресурсов, обусловленное необходимостью достижения системой управления поставленных целей. Причина невозможности обеспечения необходимого уровня функциональной устойчивости систем автоматизированного управления сложными объектами в условиях целевой неопределенности и комплексного противодействия состоит в прин-

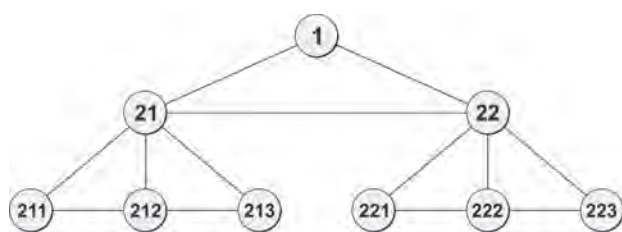


Рис. 1. Топология исследуемой информационно-управляющей подсистемы АСУ огнем

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ципальной ограниченности применяемой схемы «силового» управления, – достижения желаемого фазового состояния объекта исключительно за счет задания нормированного внешнего воздействия. Системное решение рассматриваемого вида задач управления состоит в изменении принципа управления, в частности, в использовании для управления внутренней структуры и энергоинформационных процессов объекта управления в виде различных эффектов самоорганизации (принципа «синергетического» управления).

Реализовать принцип «синергетического» управления при синтезе систем управления можно путем двухэтапной процедуры последовательной оптимизации по гомеостатическому и целевому критериям. В этом случае задача синтеза сводится к последовательному решению задачи распределения функций управления между оператором (операторами) и автоматическими системами и задачи синтеза нелинейного регулятора. Задачу обеспечения функциональной устойчивости можно рассматривать как одну из актуальных научных задач современной теории управления.

Оригинальность предложенного способа обеспечения живучести унифицированного модульного построения комплекса средств автоматизации управления огнем средств поражения определяется реализацией комплексного подхода к созданию запаса функциональной устойчивости базовой распределенной информационно-вычислительной сети (РИВС) на этапе проектирования с использованием в его составе методики обеспечения живучести ИУП АСУО. Технологически методика ориентируется на выявление критически важного по структурной значимости элемента сети, при деструкции (подавлении, поражении, уничтожении) которого базовая РИВС распадается на две функционально и информационно не взаимосвязанные части. По результатам анализа текущего состояния РИВС, подвергшейся огневому и/или радиоэлектронному воздействию принимается решение об оперативном наращивании вычислительной мощности отдельных элементов сети. Реализация адаптационной процедуры на этапе применения ИПУ АСУО осуществляется с помощью частной методики перераспределения вычислительной нагрузки РИВС между ее исправными элементами в интересах обеспечения интегральной живучести ИУП АСУО средств поражения в целом.

Структура методики обеспечения живучести ИУП АСУО представлена на *рисунке 2*. Ее основными этапами являются:

- постановка задачи обеспечения живучести ИУП АСУО;

- предварительный анализ состояния ИУП АСУО, в результате которого определяется текущее состояние каждого ее элемента;

- определение структурной значимости каждого элемента ИУП АСУО $P_i = Z_i(1-q)$ с учетом параметров его живучести;

- ранжирование с использованием показателей, полученных на предыдущем этапе, элементов ИУП АСУО по убыванию показателя их значимости относительно целевой функции системы управления $P_j > P_{j+r}, j=1,2,...,n$;

- выбор определяющего, критического элемента, при уничтожении которого ИУП АСУО распадается на две информационно локализованные подструктуры

$$K_{оп} \rightarrow \max P_i \in P[a_i \in A_{i,r}],$$

$$i=1,2,...,n; r=1,2,...,n.$$

- выявление «минимальных сечений» топологии ИУП АСУО, определение характера повреждений выведенных из структуры элементов;

- определение возможных состояний, в которых может находиться ИУП АСУО с учетом возможных сценариев поддержания (восстановления) живучести ИУП АСУО при заданных критериях эффективности автоматизированного управления огнем средств поражения, формирование матрицы состояний способности;

- принятие решения на перераспределении ресурсов ИУП АСУО между оставшимися в структуре элементами.

Предложенная методика управления ресурсами ИУП АСУО нормирована условием рационального использования имеющихся и предлагаемых средств обеспечения живучести ИУП АСУО, реализующих механизмы реконфигурации системы, оперативного перераспределения функций, восстановления функциональных свойств отдельных ее элементов. При нарушении связности ИУП, средства обеспечения живучести призваны диагностировать разрыв, выделить участки ИУП, между которыми должна быть восстановлена связь и определить альтернативные пути между этими участками. В частности, в системе могут использоваться пути передачи различной физической природы и алгоритмы адаптивной маршрутизации.

Возникающая в результате внешнего деструктивного воздействия на элементы ИУП АСУО неравномерность вычислительной нагрузки на элементы базовой РИВС требует разработки механизмов ее рациональной балансировки. Восстановление баланса вычислитель-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

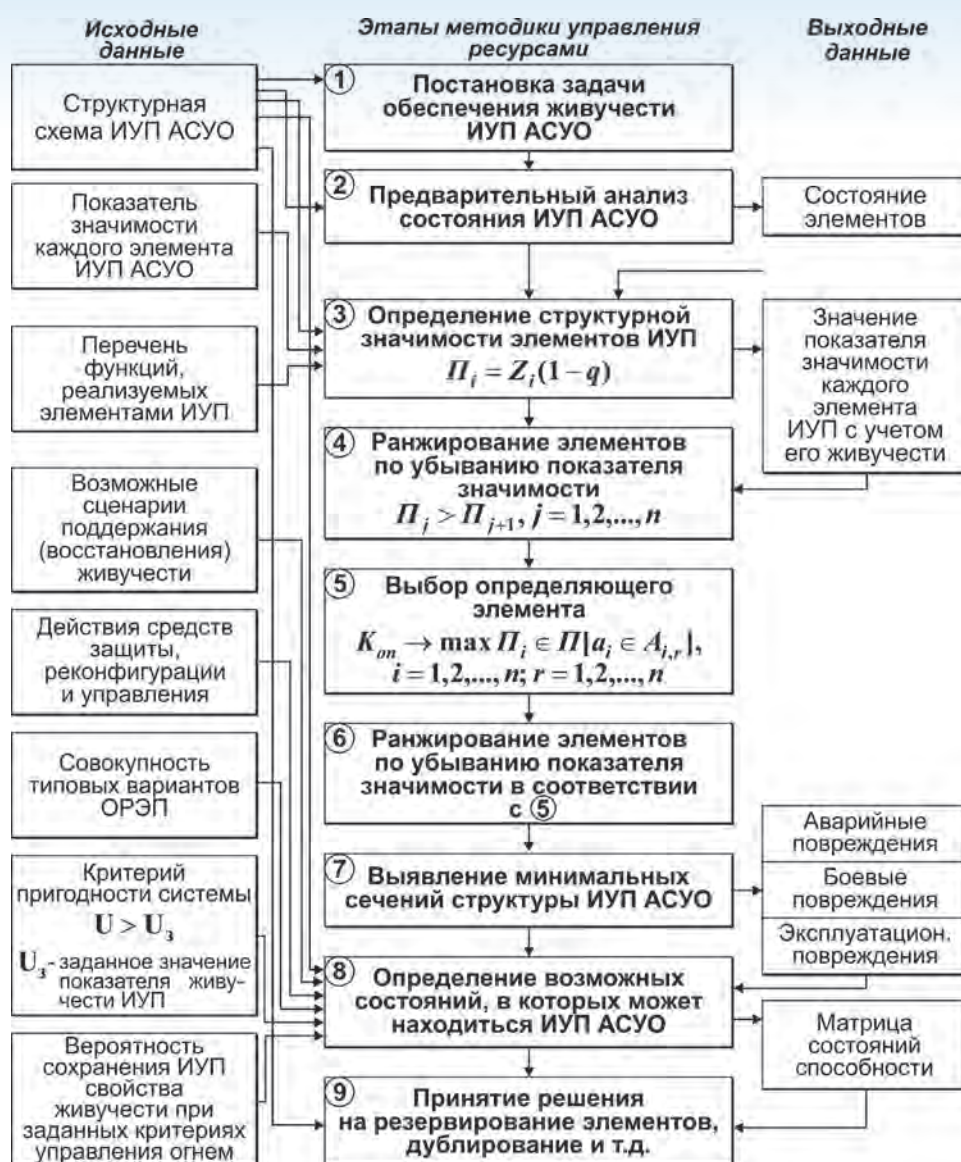


Рис. 2. Методика управления ресурсами информационно-управляющей подсистемы АСУ огнем средств поражения в интересах обеспечения ее живучести

ной нагрузки является хорошо известной задачей, имеющей множество решений. Разработано большое количество алгоритмов [3]. Однако, зачастую, эти алгоритмы применимы только для конкретного приложения, для решения конкретной задачи. Существуют и решения, которые применимы для оптимизации распределенного имитационного эксперимента. Однако, несмотря на то, что разработчики подсистемы балансировки SPEEDES и Charm++ пытались разработать алгоритмы балансировки, которые могли бы адаптироваться к изменяющейся обстановке, к характерным особенностям той или иной имитационной модели, результаты экспериментов показали, что эффективности от при-

менения этих алгоритмов им удалось добиться лишь в частных случаях.

Действительно, нахождение универсального алгоритма, который мог бы быть эффективным (обеспечить сокращение времени перераспределения вычислительной нагрузки) для любой РИВС практически невозможно. С целью получения алгоритма, который на основании характеристик работы элементов РИВС выполняет перераспределение дерева элементов и задания, выполняемого элементами необходимо выполнить следующие этапы:

- рассмотреть иерархическую организацию базовой РИВС ИУП АСУО;
- выделить факторы, влияющие на нагруз-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

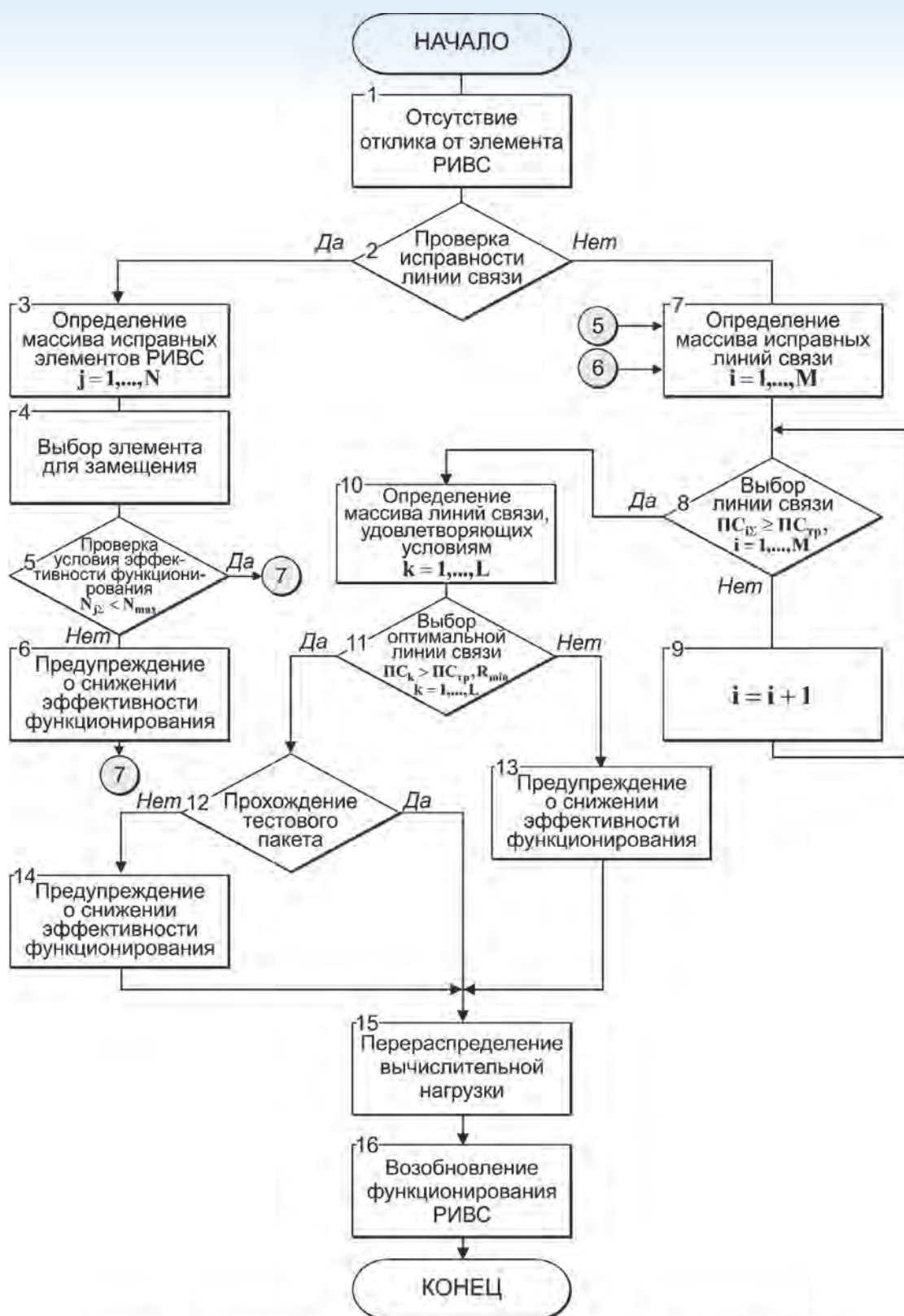


Рис. 3. Алгоритм перераспределения вычислительной нагрузки в РИВС информационно-управляющей подсистемы АСУ огнем средств поражения

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ку элементов с учетом архитектуры РИВС ИУП АСУО;

- определить параметры, учитывающие наиболее существенные из этих факторов;
- разработать алгоритм перераспределения вычислительной нагрузки на элементы РИВС ИУП АСУО после реализации противником конкретного варианта ОРЭП.

В интересах реализации методики перераспределения вычислительной нагрузки РИВС ИУП АСУО предложен алгоритм, структура которого представлена на *рисунке 3*.

Особенность алгоритма заключается в том, что при отсутствии отклика от одного из элементов РИВС проверяется условие исправности канала связи с этим элементом. При неисправности канала связи проводится определение массива исправных каналов $i=1...M$, проверяется доступность элемента системы. Если элемент доступен, из массива каналов связи осуществляется выбор каналов, удовлетворяющих условию соответствия пропускной способности канала связи возросшему количеству передаваемых данных $PC_{i\Sigma} \geq PC_{mp}$ на основании чего формируется массив каналов, с помощью которых возможно организовать дальнейшую работу базовой РИВС $k=1...L$. Из этого массива осуществляется выбор оптимального канала $PC_k \geq PC_{mp}, R_{min}$.

По факту соответствия выбранного канала предъявляемым требованиям осуществляется проверка конфигурации системы тестовым пакетом. В случае успешного прохождения тестового пакета проводится перераспределение вычислительной нагрузки между элементами РИВС и возобновляется ее функционирование. В противном случае выводится предупреждение о возможном снижении эффективности функционирования. В том случае, когда условие исправности канала связи выполняется, формируется массив исправных элементов базовой РИВС ИПУ АСУО $j=1...N$.

Затем выбирается элемент для замещения и проводится проверка эффективности функцио-

нирования при условии его использования. При удовлетворении условиям осуществляется переход к определению массива исправных каналов связи. В противном случае выводится предупреждение о возможном снижении эффективности функционирования.

Алгоритм динамического перераспределения вычислительной нагрузки использует характеристики состояния системы и принимает решение о том, с какого элемента и на какой следует перенести работу. Этот подход позволяет реагировать на изменение состояния элемента РИВС или всей РИВС ИПУ АСУО в целом и выполнить перераспределение вычислительной нагрузки между оставшимися целыми после реализации противником варианта ОРЭП элементами РИВС.

Таким образом, алгоритм обеспечивает рациональное использование имеющихся и предлагаемых средств обеспечения живучести ИУП АСУО средств поражения, реализующих механизмы реконфигурации базовой РИВС, оперативной диспетчеризации и восстановления. При нарушении связности структуры базовой РИВС, средства обеспечения живучести призваны диагностировать разрыв, выделить элементы РИВС, между которыми должна быть восстановлена связь и определить альтернативные пути между этими элементами. В частности, в РИВС могут использоваться пути передачи различной физической природы и алгоритмы адаптивной маршрутизации.

Литература

1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. 267 с.
2. Грудинин И.В., Кумакшев М.Н. Способы определения рациональной структуры системы управления техническим обеспечением боевых действий войск ПВО // Радиопромышленность, 2009. №1. С. 40-51.
3. Хетагуров Я.А. Проектирование автоматизированных систем обработки информации и управления. М.: Высшая школа, 2006. 157 с.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.324

МЕТОД НЕЧЕТКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ THE METHOD OF FUZZY IDENTIFICATION OF CRITICAL ELEMENTS OF THE AUTOMATED SYSTEMS ON THE BASIS OF PHYSICAL FEATURES NONCLONABILITY

Артем Геннадьевич Букин

кандидат технических наук, доцент

ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: bukin.artem@gmail.com

Геннадий Алексеевич Гордеев

начальник управления
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: gordeevsvi@gmail.com

Аннотация

В статье описывается метод идентификации объектов на основе свойств физически неклонируемых функций на базе ячеек статических оперативных запоминающих устройств. Рассмотрена модель нечеткого идентификатора объекта, а также способы его получения на основе состояний ячеек. Также приведены результаты экспериментальных исследований, которые подтверждают эффективность данного метода для решения задачи идентификации электронных блоков на основе ячеек СОЗУ.

Ключевые слова: информационная безопасность, идентификация объектов, критически важные объекты, системы защиты, автоматизированные системы, физически неклонируемые функции.

Summary

The article describes fuzzy identification method based on SRAM physically unclonable functions. The article examines the model of fuzzy identifier and steps for synthesis them on SRAM cells states. Efficiency of this method demonstrated in experimental inspection based on real SRAM states.

Keywords: information security, identification of objects, critical facilities, security systems, automation systems, physical function nonclonability.

Введение

Создание современных автоматизированных систем управления (АСУ) с использованием информационных технологий сопровождается повышением структурной сложности системы, так как разрабатываемые блоки состоят из множества интегрированных подсистем, объединенных в сети. На всех уровнях АСУ применяются вычислительные средства, такие как: ЭВМ, сер-

верные платформы, встраиваемые решения, системы на кристалле и т.д. В частности, на нижнем уровне управления применяются различные датчики, управляющие устройства и программируемые логические контроллеры, предназначенные для опроса датчиков и выработки управляющих воздействий объектам управления.

В целях обеспечения безопасности таких систем и их устойчивого функционирования акту-

альной задачей является обеспечение целостности структуры АСУ, что подразумевает под собой решение задачи идентификации её критических элементов и выявление фактов несанкционированной их подмены. Вывод из строя таких элементов либо их подмена может привести к полной потере контроля над системой [1, 2]. Рассмотрим в качестве примера современный автомобиль, который включает в себя несколько промышленных сетей стандарта CAN, объединяющие различные электронные блоки управления. В данные сети включатся блоки обеспечения безопасности, которые контролируют целостность систем и, в случаях обнаружения действий добавления новых блоков, подмены существующих или их пропажи, регистрируют факт несанкционированных действий, что приводит к частичной блокировке функциональных возможностей электронных систем автомобиля [4, 5, 6]. Снятие такой блокировки возможно только в дилерских центрах с помощью авторизованного производителем оборудования.

Создание такого рода систем возможно при условии, что электронные блоки имеют в своем составе модули идентификации, которые по запросу выдают уникальный код устройства (УКУ). В частности, часть производителей включают в микроконтроллеры (МК) в качестве дополнительного блока регистр с уникальным числом, записанным в процессе изготовления микросхемы. В таком случае УКУ извлекается аппаратно и подделка кода злоумышленником возможна только при изготовлении поддельных микросхем.

В случае, когда МК не имеют блока идентификации, то уникальный код устройства формируется и записывается разработчиком в энерго-независимое стираемое программируемое постоянно запоминающее устройство (ЭСППЗУ). Основным недостатком данного подхода является возможность злоумышленника скопировать содержимое запоминающего устройства и воспроизвести его в другом устройстве, т.е. произвести подмену.

В качестве примеров можно привести факты копирования микросхем приемопередатчиков компании FTDI, когда многие фирмы из КНР производили поддельные микросхемы, которые выходили из строя после обновления официального программного обеспечения [7, 8, 9]. Примером смены кода в ЭСППЗУ является подмена уникального идентификатора мобильных устройств IMEI, что является уголовно наказуемым деянием.

Постановка задачи

Таким образом, при наличии множества элементов системы $S = \{S_1, \dots, S_N\}$ мощностью N , необходимо разработать модель идентификации элементов системы, которая позволит сформировать уникальный код для каждого из них и составить множество пар R :

$$\forall S, \exists I : I = \Phi(S) \Rightarrow R = \{(S, I) | S \in S\}. \quad (1)$$

Исходя из вышеизложенного, формулируются требования, которым должна отвечать модель идентификации элементов систем на множестве пар R :

- уникальность сформированного кода I для всего множества устройств одного типа S ;
- отсутствие возможности формирования (предсказания) уникального кода устройства I_i на основе знания уже известных кодов $I_j, j \neq i$;
- отсутствие возможности копирования или подмены уникального кода устройства.

Предложенным выше требованиям соответствуют величины, полученные с использованием физической криптографии, в частности на основе ответов физически неклонировуемых функций (ФНФ) [3], которые в общем виде можно записать в виде уравнения

$$R_i = \Phi(C_i), \quad (2)$$

где R_i – ответ физически неклонировуемой функции;

C_i – запрос к функции;

i – порядковый номер запроса значения.

В настоящее время существуют различные виды ФНФ. Для решения поставленной выше задачи рассматриваются ФНФ, построенные на базе ячеек статических запоминающих устройств (СОЗУ).

Формирование уникального кода устройства

Рассмотренные выше устройства имеют в своем составе микропроцессорное ядро, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) и набор периферийных блоков. В отсутствие в составе МК аппаратного блока идентификации, рациональным решением будет применение в качестве него ФНФ на базе СОЗУ.

Рассмотрим структуру ячейки статического запоминающего устройства микроконтроллера. Каждая ячейка состоит из двух триггеров на базе шести КМОП транзисторов, включенных перекрестно в виде кольца, линии числовой шины WL и разрядных линий состояний ячейки BL и $\overline{BL}$ (рисунк 1).

С помощью адресной и разрядных линий осуществляется чтение или запись ячейки, но при этом актуальным является вопрос: «Какое состо-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

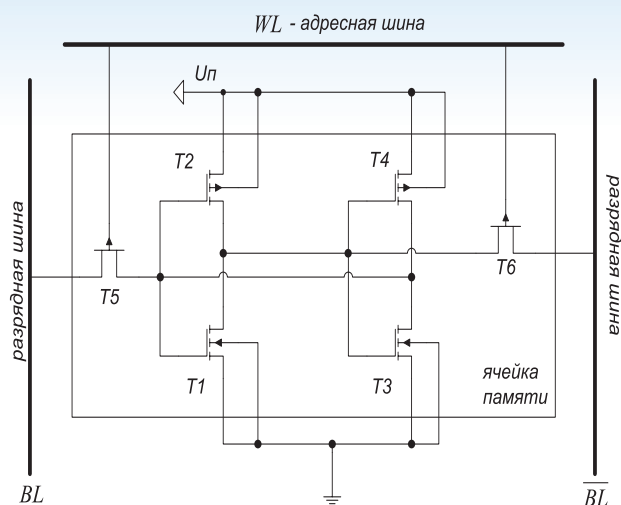


Рис. 1. Структура ячейки памяти СОЗУ

ание имеет ячейка памяти в начальный момент времени после подачи питания?». Ячейка памяти переходит в состояние логических «1» или «0» в зависимости от физических параметров КМОП транзисторов, обусловленных шумами транзисторов, включенных в схему ячейки [10]. Совокупность шумовых эффектов и незначительные различия пороговых значений переходов транзисторов обуславливают начальное значение ячеек. Таким образом, каждая ячейка описывается случайной величиной, т.е. показателем вероятности перехода в то или иное логическое состояние, соответствующей нормальному закону распределения [11]. Такое состояние ячейки называется метастабильной точкой, которому соответствует математическое ожидание значения случайной величины конкретной ячейки. На рисунке 2 представлены примеры графиков плотности вероятности случайной величины

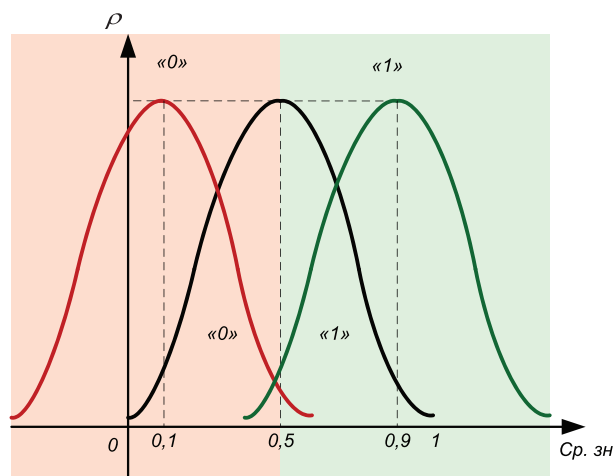


Рис. 2. Пример графиков функций плотности вероятности перехода ячейки памяти в логические состояния «1» или «0»

перехода ячейки в логические состояния «1» и «0». В случае, когда все КМОП транзисторы имеют одинаковые шумовые и пороговые характеристики, математическое ожидание величины среднего значения ячейки памяти равняется 0,5, то есть возможный переход в состояние «1» или «0» равновероятен.

В случае, когда возникают различия в шумовых характеристиках транзисторов, метастабильная точка, т.е. математическое ожидание, смещается в сторону значения «1» или «0».

Таким образом, в результате проведения нескольких изменений состояний ячеек СОЗУ возможно выявить положения метастабильных точек, соответствующих математическому ожиданию вероятности перехода каждой ячейки в логические состояния после подачи питания, как среднее значение вероятности переходов ячейки в логическую «1».

Уникальный код устройства мощностью n можно представить в виде вектора состояний бит

$$I = \{x_k \mid k = \overline{1, n}, x \in \{0, 1\}\}.$$

Состояние каждой ячейки зависит от её метастабильной точки, т.е. уникальный код после i -го чтения описывается случайной величиной

$$I_i = I + \xi_i, \quad (3)$$

где I — вектор бит уникального кода устройства на основе ФНФ;

ξ_i — вектор бит случайных ошибок.

Задача идентификации устройства S с кодом I_i , извлеченным из S по коду в I_j , извлеченным в момент j в общем виде можно представить выражением

$$|I_i - I_j| \equiv 0. \quad (4)$$

В настоящее время данная задача решается с помощью применения алгоритмов кодирования с высокой исправляющей способностью (например коды БЧХ и др.). Основными недостатками данного подхода являются вычислительная сложность реализации алгоритмов кодирования внутри МК с ограниченными вычислительными ресурсами или малым объемом памяти, а также большая длина корректирующих кодов для сравнительно малых идентифицирующих кодов [12].

Нечеткий метод идентификации

В качестве альтернативного пути решения задачи идентификации предлагается использовать аппарат нечеткой логики, который в настоящее время эффективно применяется в различных областях науки и техники благодаря простоте аппаратной реализации.

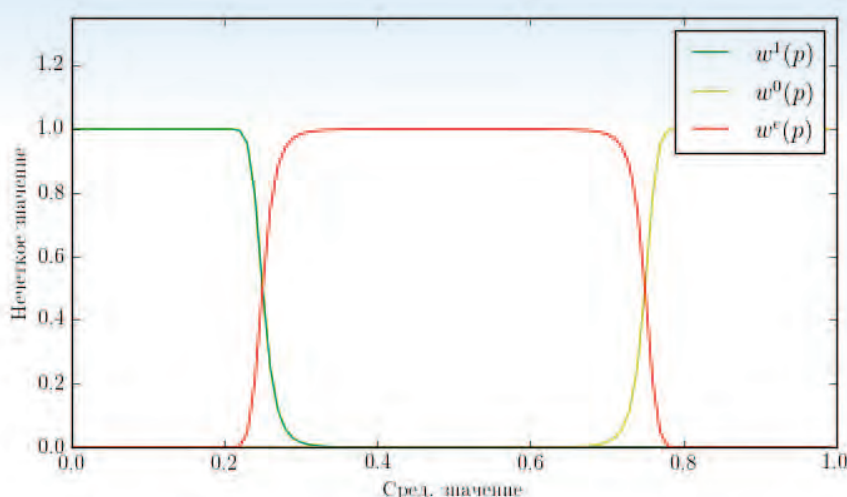


Рис. 3. Графики функций принадлежности состояния нечеткого бита от среднего значения состояния бита

Нечеткий уникальный идентификатор представляет собой векторы лингвистических переменных, описывающие нечеткий бит информации. Исходя из свойств ячеек памяти, описанных выше, для нечеткого бита информации множество состояний которого включает в себя следующие значения: «стабильная единица», «ошибка», «стабильный ноль». Ошибочные биты необходимо игнорировать в процессе идентификации.

После подачи питания под номером i на микросхему МК, производится считывание состояние ячеек, после чего в системе фиксируются следующие значения переменных:

$$n_i = \begin{cases} 0, & i = 0, \\ n_{i-1} + 1; \end{cases}$$

$$M_i = \{m_{1,i}, \dots, m_{n,i} \mid m_{k,i} = \begin{cases} m_{k,i-1} + 1, & x_k = 1, \\ m_{k,i-1}, & x_k = 0. \end{cases} x_k \in I_i, k = \overline{1, n}\}, \quad (5)$$

Исходя из выражений (3) и (5), вводится вектор метастабильных точек для нечеткого уникального идентификатора в момент i -го измерения:

$$P_i(M_i, n_i) = \{p_k \mid p_k = \frac{m_{k,i}}{n_i}, k = \overline{1, n}\}. \quad (6)$$

Для упрощения вектор метастабильных точек (6) для измерения i обозначается в виде P_i , который содержит вещественные числа.

В соответствии с формальным описанием лингвистических переменных, переменная для нечеткого бита информации содержит три функ-

ции принадлежности значения метастабильной точки к тому или иному состоянию бита:

- $w^1(p)$ – бит переходит в состояние «стабильная единица»;
- $w^0(p)$ – бит переходит в состояние «стабильный ноль»;
- $w^e(p)$ – бит переходит в состояние «ошибка».

В графическом виде они представлены на рисунке 3.

Нечеткое значение состояния, в соответствии с функцией принадлежности, рассчитывается от среднего значения бита, полученного в результате конечного множества измерений. Переход между уровнями от 0 до 1 и наоборот, изображенный на рисунке 3, описывается в общем виде функцией [14, 15]:

$$w(p, a, b, c) = \frac{1}{1 + [a(p - c)]^b}, c + \frac{1}{a} = \frac{1}{2}, \quad (7)$$

где c – параметр, определяющий границу срабатывания функции принадлежности;
 a – коэффициент сжатия кривой;
 b – определяет крутизну кривой.

Подбор параметров для данного выражения осуществляется статистически или эмпирически по экспериментально полученным данным, описывающим характер исследуемого объекта [15].

Исходя из статистических и экспериментальных данных, приведенных в работах [13, 14], вводится нижняя граница ошибки 0,2 и верхнюю 0,8, тогда функции принадлежности на основе (7) будут иметь вид:

$$w^0(p) = \begin{cases} \frac{1}{1 + [20(p - 0,2)]^6}, & p > 0,2, \\ 1, & p \leq 0,2 \end{cases}, \quad (8)$$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$$w^1(p) = \begin{cases} \frac{1}{1 + [20(0,8 - p)]^6}, & p < 0,8 \\ 1, & p \geq 0,8 \end{cases}, \quad (9)$$

$$w^e(p) = \overline{w^0(p)} \wedge \overline{w^1(p)}. \quad (10)$$

На основе данных функций принадлежности и значений вектора метастабильных точек возможно составить: вектор «стабильных единичных состояний»

$$W^1(P_i) = \{w^1_k(p_k) | k = \overline{1..n}\},$$

вектор «стабильных нулевых состояний»

$$W^0(P_i) = \{w^0_k(p_k) | k = \overline{1..n}\},$$

вектор «нестабильных состояний»

$$W^e(P_i) = \{w^e_k(p_k) | k = \overline{1..n}\}.$$

На основе данных векторов формируется нечеткий вектор стабильных состояний в виде выражения

$$W(P) = \{w_k(p_k) | w_k(p_k) = \overline{w^1(p_k)} \wedge \overline{w^0(p_k)} \wedge \overline{w^e(p_k)}, k = \overline{1..n}\} \quad (11)$$

Переход от нечетких значений переменных к конечным значениям осуществляется с помощью оператора взятия α -среза:

$$\chi W(P) = \{\chi w_k(p_k) | \chi w_k(p_k) = \begin{cases} 1, & w(p_k) \geq \alpha \\ 0, & w(p_k) < \alpha \end{cases}, k = \overline{1..n}\}, \quad (12)$$

где α – уровень среза нечеткой переменной.

Таким образом, идентификатор устройства, полученный в виде ответа на i -й запрос от ФНФ записывается в виде вектора бит, полученных на основе выражений (8), (9), (10), (11), (12).

$$ID_i = \chi W(P_i). \quad (13)$$

Решение задачи определения соответствия кода ID_i ранее определенному коду ID_j осуществляется с использованием метрики расстояния Хемминга, представленной в виде выражения

$$D(ID_i, ID_j) = \sum_{k=1}^n [\chi w_k(p_{ki}) - \chi w_k(p_{kj})]. \quad (14)$$

Степень соответствия двух векторов выражается в виде нечеткой переменной с функцией принадлежности следующего вида:

$$R(D_i, D_j, b, d) = \begin{cases} 1, & x \leq d \\ \frac{b-x}{b-d}, & d < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases}, \quad (15)$$

где b и d – границы соответствия двух величин.

График функции принадлежности вида (15) с параметрами $d=13$, $b=32$ представлен на рисунке 4.

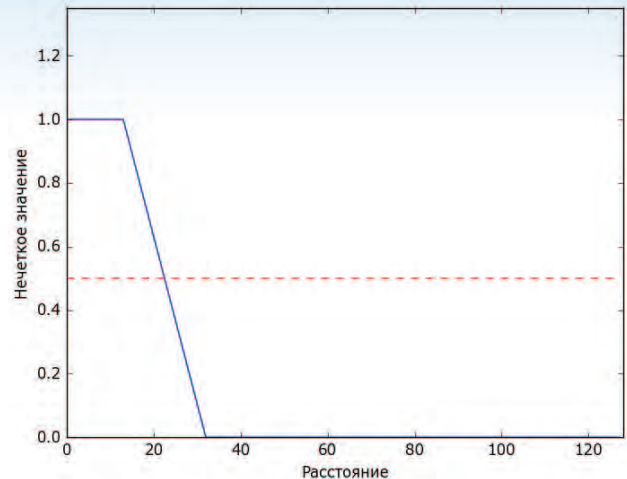


Рис. 4. График функции сходимости двух идентификаторов по расстоянию Хэмминга

Экспериментальная проверка метода

Проверка математических выкладок осуществлена с использованием математического и натурного моделирования на микроконтроллерах серии 1986BE9х производства АО «ПКК Миландр».

В качестве исходных данных получены значения участков СОЗУ длиной 128 бит после подачи питания и при различных температурах в климатической камере на следующих МК:

1) 1986BE91Т при температурах +5°C, +20°C, +40°C; 2) К1986BE92QI при температурах +5°C, +20°C, +40°C; 3) 1986BE93У при температурах +5°C, +20°C, +40°C.

Для каждого температурного режима было получено по 100 ответов от ФНФ из области СОЗУ, после чего был построен вектор метастабильных точек, на основе которого математически с использованием пакета математики SciPy для языка программирования Python формировались 2000 ответов от ФНФ.

В процессе экспериментальной отработки и моделирования метода нечеткой идентификации на основе ФНФ для каждого МК формируются два графика зависимостей: ● расстояния Хэмминга между первым достоверным идентификатором и последующим (верхний); ● количества нестабильных бит в кодовой последовательности от номера запроса (нижний).

Рассмотрим два варианта эксперимента:

1) рассматриваются только битовые последовательности из СОЗУ;

2) рассматриваются битовые последовательности из СОЗУ и полученные на основе математической модели кода. В первом случае рассмотрели 600 измерений состояний битовых ячеек СОЗУ в МК 1986BE91Т (рисунком 5). По графикам

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

видно, что независимо от температуры в результате множества попыток получения идентификатора, значение функции расстояния между первым достоверным кодом и последующими стремится к фиксированному значению и не становится ниже порогового значения срабатывания функции принадлежности нечеткой переменной для оценки схожести идентификационных кодов.

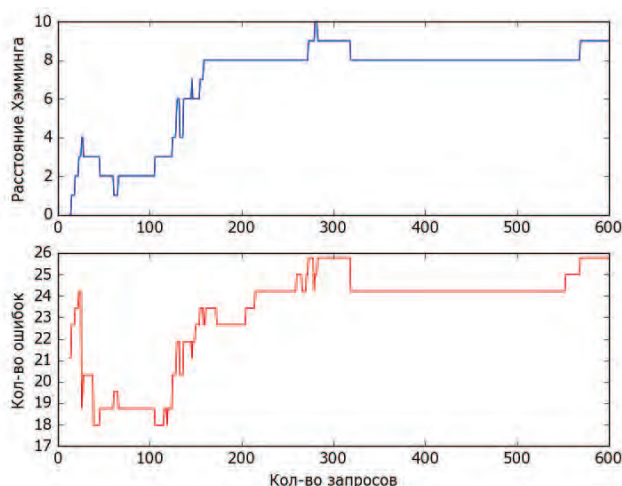


Рис. 5. Графики функций принадлежности состояния нечеткого бита от среднего значения состояния бита для МК 1986BE91T на основе экспериментальных данных

В случае, когда для данного МК сформированы случайные вектора состояний ячеек по полученной модели на основе экспериментальных данных, результат схож с предыдущим (рисунком 6). Аппроксимация кривых на графиках показывает, что значения функций стремятся к некоторому постоянному значению, не превышающему пороговое значение.

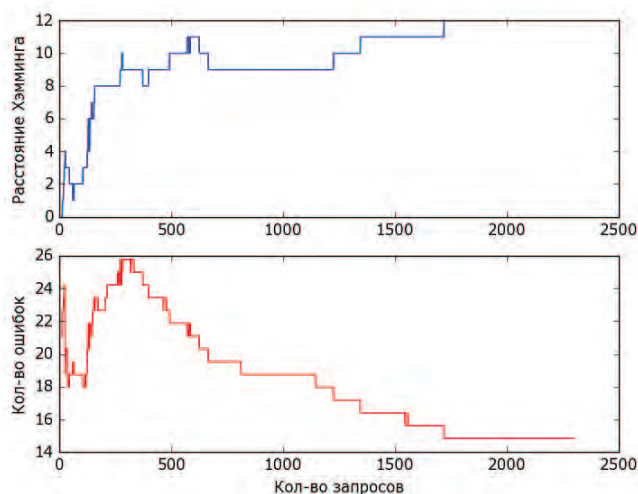


Рис. 6. Графики функций принадлежности состояния нечеткого бита от среднего значения состояния бита для МК 1986BE91T на основе экспериментальных и расчетных данных

Схожие результаты получены для образцов МК 1986BE93У и К1986BE92QI (рисунки 7 и 8). В обоих случаях показатели также стремятся к фиксированным значениям ниже порогового, что подтверждает возможность применения предлагаемого метода идентификации микросхем на основе ответов ФНФ.

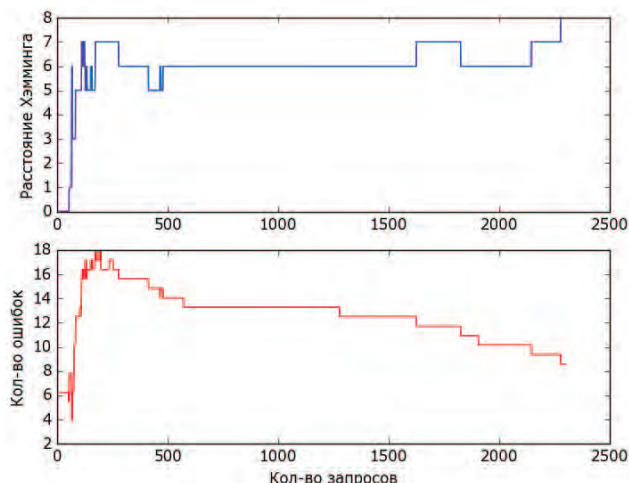


Рис. 7. Графики функций принадлежности состояния нечеткого бита от среднего значения состояния бита для МК 1986BE93У на основе экспериментальных и расчетных данных

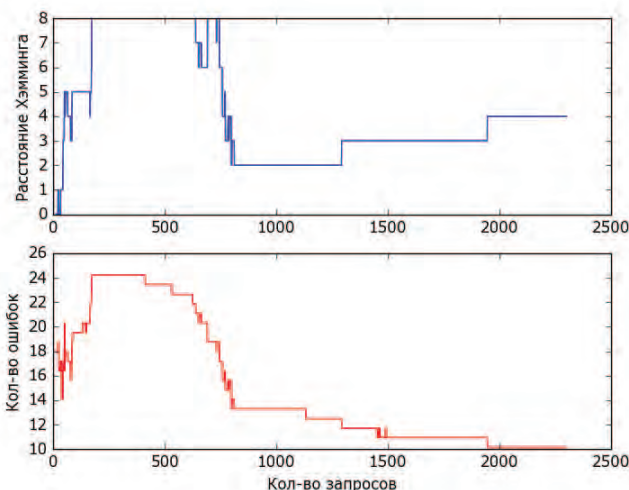


Рис. 8. Графики функций принадлежности состояния нечеткого бита от среднего значения состояния бита для МК К1986BE92QI на основе экспериментальных и расчетных данных

Заключение

Таким образом, в статье приведено решение задачи идентификации объектов на базе ФНФ с использованием теории нечеткой логики. В качестве частного случая рассмотрено применение данного метода для идентификации электронных блоков аппаратуры, построенной на

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

микроконтроллерах серии 1986BE9X (ОА «ПКК «Миландр»), на основе которых проведена экспериментальная проверка. По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод, что данный метод позволяет эффективно решить поставленную задачу на МК с ограниченными ресурсами.

Стоит отметить, что возможно применение предложенного метода не только для изделий с ФНФ на базе кремниевых неоднородностей, но и для других типов ФНФ, например оптических ФНФ и др.

Литература

1. Букин А.Г., Смуров С.В., Сусакин П.А. Анализ защищенности элементов автоматизированных систем управления с применением информационно-лингвистической модели безмасштабной сети // Датчики и системы, 2016. №2 (200). С. 3-10.
2. Смуров С.В., Воронов П.В., Гладков А.М. Формализованное представление субпроблемы «системности» в общей проблеме обеспечения безопасности автоматизированных систем // Известия Института инженерной физики, 2014. №4(34). С. 2-8.
3. Букин А.Г., Суханов С.В., Коваленко А.П. Метод улучшения статистических свойств последовательностей случайных чисел на основе физически неклонируемых функций // Известия Института инженерной физики, 2015. №2(36). С. 33-37.
4. Букин А.Г., Сусакин П.А., Ржевский Д.А. Подход к определению вектора реальных угроз для узлов систем защиты критически важных объектов // Известия Института инженерной физики, 2015. №1(35). С. 40-42.
5. Wolf M. Security in Automotive Bus Systems / A. Weimerskirch, C. Paar // in: Proceedings of the Workshop on Embedded Security in Cars (escar) 04, 2004, p.p. 1-13.
6. Groza B. Broadcast Authentication in a Low Speed Controller Area Network / P.-S. Murvay // Revised post-proceedings version of the paper presented at SEC-CRYPT'11, to appear in e-Business and Telecommunications, Springer CCIS, Feb. 2012, p. 1-16.
7. Watch That Windows Update: FTDI Drivers Are Killing Fake Chips. Hackaday. Retrieved 24 October 2014.
8. Siy, Sherman. «IP Rights Aren't a License to Kill Devices (And No, Fine Print Doesn't Make It OK)». Public Knowledge. Retrieved 24 October 2014.
9. Windows Update drivers bricking USB serial chips beloved of hardware hackers. Ars Technica. 22 October 2014. Retrieved 24 October 2014.
10. Holcomb D.E. Initial SRAM state as a fingerprint and source of true random numbers for RFID tags / W. P. Bursleson, K. Fu // in Proceedings of the Conference on RFID Security, July 2007.
11. Holcomb D.E. Power-up SRAM State as an Identifying Fingerprint and Source of True Random Numbers // in IEEE transactions on computers Volume 58 Issue 9, September 2009, p. 1198-1210.
12. Platonov M. Using Power-up SRAM State of Atmel ATmega1284P Microcontrollers as Physical Unclonable Function for Key Generation and Chip Identification / J. Hlavač, R. Lórencz // TRUDEVICE, Avignon, May 30, 2013.
13. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение в принятии приближенных решений. М: Мир, 1976. 165 с.
14. Борисов А.Н. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. Рига: Зинатне, 1982. 256 с.
15. Гусев Л.А. Размытые множества. Теория и приложения // Автоматика и телемеханика, 1973. №5. С. 66-85.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 15.519.876

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНОГО ПОДХОДА DEVELOPMENT OF THE THEORETICAL FOUNDATIONS DECISION-MAKING ON THE MANAGEMENT OF INNOVATION BASED COGNITIVE APPROACH

Владимир Иванович Мухин

заслуженный деятель науки РФ
доктор военных наук, профессор
профессор кафедры «Менеджмент»
Московский технологический университет
Адрес: 119454, Москва, п-т Вернадского, д. 78
Тел.: +7(916)783-58-96
E-mail: muhin-vi@mail.ru

Дмитрий Геннадьевич Воронов

доцент кафедры «Менеджмент»
Московский технологический университет
Адрес: 119454, Москва, п-т Вернадского, д. 78
Тел.: +7(916)016-35-22
E-mail: dimokman@mail.ru

Елена Вадимовна Собакина

аспирант
преподаватель кафедры «Менеджмент»
Московский технологический университет
Адрес: 119454, Москва, п-т Вернадского, д. 78
Тел.: +7(916)506-45-86
Email: sobakina_ev@miccedu.ru

Аннотация

В статье представлена классификация методов принятия решений по управлению инновационной деятельностью. Разработана математическая модель принятия решений по управлению инновационной деятельностью на основе когнитивного подхода.

Ключевые слова: инновационная деятельность, когнитивная карта (иерархический образ), методы принятия решений.

Summary

The article presents the classification of decision-making methods on the management of innovation. A mathematical model of decision making for the management of innovative activity on the basis of the cognitive approach was created.

Keywords: innovative activity, cognitive map (hierarchical), decision-making methods.

Задачи принятия решений по инновационной деятельности относятся к задачам принятия решений в условиях неопределенности. Эти задачи имеют место тогда, когда информация, необходимая для принятия решений, является неточной, неполной, нечисленной, а формальные модели исследуемой системы либо слишком сложны, либо отсутствуют.

Существует множество классификаций методов принятия решений, основанных на применении различных признаков [1].

Одна из возможных классификаций методов

принятия решений базируется на двух признаках: на содержании информации и типе получаемой информации. Используемый признак классификации позволяет выделить четыре больших группы методов, при этом три группы относятся к принятию решений в условиях определенности, а четвертая – к принятию решений в условиях неопределенности [1].

Для первой группы методов принятия решений экспертная информация не требуется. При этом для принятия решения используются метод доминирования и метод на основе глобаль-

ных критериев. Содержание метода доминирования раскрыто в работах [1, 2]. Содержание метода на основе глобальных критериев раскрыто в работах [3, 4].

Для второй группы методов принятия решений требуется информация о предпочтениях на множестве критериев, а также типы информации, используемой при принятии решения: качественная информация; количественная оценка предпочтительности критериев; количественная информация о замещениях.

При наличии качественной информации для принятия решения используется метод лексикографического упорядочения и метод сравнения разностей критериальных оценок. Содержание метода лексикографического упорядочения раскрыто в работах [1, 2]. Содержание метода сравнения разностей критериальных оценок раскрыто в работах [1, 5].

При наличии количественной оценки предпочтительности критериев для принятия решения используются: методы «эффективность – стоимость»; методы свертки на иерархии критериев; методы порогов; методы идеальной точки.

Содержание метода «эффективность – стоимость» раскрыто в работах [6, 7]. Содержание методов свертки на иерархии критериев раскрыто в работах [8]. Содержание методов порогов представлено работе [9]. Содержание метода идеальной точки изложено в работе [6].

Для принятия решения при наличии количественной информации о замещениях используются методы теории ценности и метод кривых безразличия. Содержание названных методов представлено в работах [6, 10].

Для третьей группы методов принятия решений требуется информация о предпочтительности альтернатив, а также тип информации, позволяющий осуществлять оценку предпочтительности парных сравнений.

При наличии информации о предпочтительности альтернатив и о типе информации, позволяющей осуществлять оценку предпочтительности парных сравнений, для принятия решения используются методы математического программирования, а также методы линейной и нелинейной свертки.

Содержание методов математического программирования раскрыто в работах [11, 12]. Содержание линейная и нелинейная свертка при интерактивном способе определения ее параметров раскрыта в работе [13].

Проведенный анализ принятия решения по любому виду деятельности позволил сделать следующие выводы:

1. Выбор лицом, принимающим решение

(ЛПР), метода принятия решения зависит от содержания информации и типа получаемой ЛПР информации.

2. Выбранный информационный подход классификации методов принятия решений позволяет выделить четыре больших группы методов принятия решений.

В первую группу методов принятия решений включены методы, для которых экспертная информация не требуется и отсутствует необходимость в типизации информации.

Во вторую группу отнесены методы принятия решений, которые зависят от содержания информации (информация о предпочтениях на множестве критериев) и типа получаемой информации (качественная информация; количественная оценка предпочтительности критериев; количественная информация о замещениях).

В третью группу отнесены методы принятия решений, которые зависят от информации о предпочтительности альтернатив, тип получаемой информации включает оценку предпочтительности парных сравнений.

В четвертую группу отнесены методы принятия решений в условиях неопределенности, которые зависят от содержания информации (информация о предпочтениях на множестве критериев), и о последствиях альтернатив и типа информации (отсутствие информации о предпочтениях; количественная и/или интервальная информация о последствиях; качественная информация о предпочтениях и количественная о последствиях; качественная (порядковая) информация о предпочтениях и последствиях; количественная информация о предпочтениях и последствиях).

Анализ признаков четвертой группы позволил создать «образ» (когнитивной карты) проблемы (ситуации) формализовать знание о факторах внешней и внутренней среды, влияющих на принятие решений.

Математическая модель принятия решений по управлению инновационной деятельностью на основе когнитивного подхода

Когнитивный подход заключается в том, что на основе когнитивного картирования создается «образ» исследуемой проблемы (ситуации), в котором отображаются непосредственные взаимодействия между существенными факторами внешней и внутренней среды, влияющими на принятие решений по инновационной деятельности.

«Образ» (когнитивная карта) проблемы (ситуации) позволяет структурировать, обобщать и

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Матрица					Вычислите оценки компонент собственного вектора по строкам		Нормализуйте результат для получения оценки вектора приоритетов	
	A_1	A_2	A_3	A_4				
A_1	$\frac{\omega_1}{\omega_1}$	$\frac{\omega_1}{\omega_2}$	$\frac{\omega_1}{\omega_3}$	$\frac{\omega_1}{\omega_4}$	$\rightarrow$	$\sqrt[4]{\frac{\omega_1 \omega_1 \omega_1 \omega_1}{\omega_1 \omega_2 \omega_3 \omega_4}} = a$	Теперь сложите элементы столбца и нормализуйте	$\frac{a}{\text{сумма}} = \omega_1$
A_2	$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	$\frac{\omega_2}{\omega_2}$	$\frac{\omega_2}{\omega_3}$	$\frac{\omega_2}{\omega_4}$	$\rightarrow$	$\sqrt[4]{\frac{\omega_2 \omega_2 \omega_2 \omega_2}{\omega_1 \omega_2 \omega_3 \omega_4}} = b$		$\frac{b}{\text{сумма}} = \omega_2$
A_3	$\frac{\omega_3}{\omega_1}$	$\frac{\omega_3}{\omega_2}$	$\frac{\omega_3}{\omega_3}$	$\frac{\omega_3}{\omega_4}$	$\rightarrow$	$\sqrt[4]{\frac{\omega_3 \omega_3 \omega_3 \omega_3}{\omega_1 \omega_2 \omega_3 \omega_4}} = c$		$\frac{c}{\text{сумма}} = \omega_3$
A_4	$\frac{\omega_4}{\omega_1}$	$\frac{\omega_4}{\omega_2}$	$\frac{\omega_4}{\omega_3}$	$\frac{\omega_4}{\omega_4}$	$\rightarrow$	$\sqrt[4]{\frac{\omega_4 \omega_4 \omega_4 \omega_4}{\omega_1 \omega_2 \omega_3 \omega_4}} = d$		$\frac{d}{\text{сумма}} = \omega_4$
					сумма			

Рис. 1. Синтез собственных векторов приоритетов

формализовать знания экспертов о состоянии и развитии процессов, связанных с внутренней и внешней средой.

Когнитивный подход наиболее адекватно отражён в методе анализа иерархии (МАИ). Указанный метод является сравнительно простым и наглядным, позволяя с помощью иерархической декомпозиции подробно исследовать решаемую задачу. При этом не требуется упрощение структуры задачи, отбрасывание некоторых признаков; поэтому МАИ позволяет эффективнее учитывать влияние всевозможных факторов на выбор решения. Метод не только дает способ выявления наиболее предпочтительного решения, но и позволяет количественно выразить степень предпочтительности посредством рейтингования.

Формально когнитивная карта – это взвешенный ориентированный граф $G = (I, W)$, в котором I – множество вершин (объектов), взаимно однозначно соответствующих множеству базисных факторов проблемы (ситуации), а W – множество дуг, отражающих факт непосредственного влияния факторов.

Математическая иерархия и ее свойства могут быть описаны следующим образом: на множестве объектов $\{I = 1, 2, \dots, N\}$ определяется иерархическая структура путем задания орграфа $G = (I, W)$, $W \subset I \times I$, который:

а) разбивает вершины на непересекающиеся уровни:

$$I = \bigcup_i V_i; \quad i = 1, \bar{m}; \quad \forall (i \neq j) \quad V_i \cap V_j = \emptyset, \quad (1)$$

где V_i – множество объектов, расположенных на i -м уровне,

m – количество уровней;

б) $(ij) \in W$ означает, что веса объектов Z_i , расположенных на i -м уровне, непосредственно зависят от весов Z_j объектов, расположенных на j -м уровне;

в) если (ij) – дуга графа G , т.е. $(ij) \in W$, то объекты i и j находятся на смежных уровнях, т.е. найдется такое k , что:

$$i \in V_{k+1}, j \in V_k, \quad (2)$$

где $k = 1, m$ – множество уровней.

Синтез собственных векторов приоритетов представлен на рисунке 1.

Целью синтеза собственных векторов приоритетов является нахождение относительной силы, величины, ценности, желательности или вероятности каждого отдельного объекта через «решение» матриц, каждая из которых обладает обратносимметричными свойствами.

Синтез глобальных приоритетов осуществляется в соответствии с решающим правилом:

$$W_i = \sum w_{ij} Z_j, \quad i \in I \setminus V_1, \quad \forall i \in V_2, \dots, i \in V_m, \quad (3)$$

где w_{ij} – вес дуги (ij) ;

$\setminus$ – операция разности множеств.

Веса Z_i объекта $i \in V_{k+1}$ определяются через веса Z_j вершин множества $L_i = \{j | (ij) \in W\} \subseteq V$, в которые ведут дуги из вершины i .

Алгоритм определения весов (w_{ij}) дуг и Z_j объектов осуществляется путем построения квадратичных матриц и дальнейшей обработки последовательности суждений лица, принимающего решение (ЛПР) или эксперта.

Заполнение квадратичных матриц попарных сравнений осуществляется по следующему правилу (рисунк 2) [14].

Матрицы попарных сравнений обладают свойством обратной симметрии, т.е. $a_{ij} = 1/a_{ji}$, где

$$(A) =$$

	A_1	A_2	$\dots$	A_n
A_1	ω_1/ω_1	ω_1/ω_2	$\dots$	ω_1/ω_n
A_2	ω_2/ω_1	ω_2/ω_2	$\dots$	ω_2/ω_n
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
A_n	ω_n/ω_1	ω_n/ω_2	$\dots$	ω_n/ω_n

Рис. 2. Правило заполнения квадратичных матриц попарных сравнений

$a_{ij} = \omega_i/\omega_j$, индексы i и j относятся к строке и столбцу соответственно.

Результаты попарных сравнений отражают не только факт, но и степень (силу, интенсивность и т.п.) превосходства. При этом используется шкала относительной важности (таблица 1), выбор которой зависит от следующих требований [14]:

- шкала должна давать возможность улавливать различие в ощущениях людей, когда они проводят сравнение;
- диапазон измеряемой интенсивности шкалы должен соответствовать результатам когнитивной психологии.

Таблица 1

Шкала относительной важности

№ п/п	Лингвистические термы	Количественное выражение термов
1	Равная важность	1
2	Умеренное превосходство одного над другим	3
3	Существенное или сильное превосходство	5
4	Значительное превосходство	7
5	Очень сильное превосходство	9

Свойство гомогенности (однородности) соответствует способности людей сравнивать объекты не слишком сильно отличающиеся друг от друга, что существенно важно для сравнения объектов одного порядка, так как человеческий разум склонен к допущению больших ошибок при сравнении несопоставимых элементов. При большой несопоставимости объекты располагаются на других уровнях. Четное значение термина – это промежуточные решения между двумя сравниваемыми.

При выявлении системы предпочтений может наблюдаться противоречивость в высказываниях эксперта (ЛПР).

Формализацией понятия непротиворечивости для метода парных сравнений является выполнение следующих равенств:

$$a_{ij}^* = a_{ik}^* \cdot a_{kj}^*, \quad \forall i, j, k, \quad (4)$$

где a_{ij}^* – элементы матрицы A^* , полученные в результате идеально согласованного эксперимента.

Соотношение (4) соответствует правилу логического вывода, которое в этом случае формулируется следующим образом: если i -й объект предпочтительнее k -го объекта на a_{ik}^* и k -й объект предпочтительнее j -го объекта на a_{kj}^* , то i -й объект предпочтительнее j -го объекта на a_{ij}^* , причем:

$$a_{ij}^* = a_{ik}^* \cdot a_{kj}^*. \quad (5)$$

Если матрица A^* обладает свойством (4), то тогда существуют такие числа $a_i^* > 0$, что имеет место равенство:

$$a_{ij}^* = \frac{\omega_i^*}{\omega_j^*} \quad \forall i, j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

В общем случае a_{ij} будет отклоняться от «идеальных»

$$a_{ij}^* = \frac{\omega_i^*}{\omega_j^*}.$$

Важно отметить, что в матрице суждений нет отношений ω_i/ω_j , а имеются только целые числа или их обратные числа из шкалы относительной важности, т.е. эта матрица в общем случае несогласованна.

Как правило, суждения экспертов изменяются незначительно, следовательно элементы положительной обратносимметричной матрицы A изменяются также незначительно. Объединяя эти (изменения) результаты, находим, что при малых изменениях a_{ij} от a_{ij}^* наибольшее собственное число $\lambda_{\max}$ (практически получаемой матрицы A при использовании метода попарных сравнений) остается близким к n , а остальные собственные значения – близкими к нулю.

Так как малые изменения в a_{ij} , $i, j = \overline{1, n}$ вызывают малое изменение $\lambda_{\max}$, отклонение послед-

Таблица 2

Соответствие порядка и среднего значения СИ

Порядок матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СИ	0,00	0,00	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

него от n является мерой согласованности. Для обратносимметричной матрицы всегда $\lambda_{\max} \geq n$.

Мера согласованности может быть выражена с помощью индекса согласованности (ИС):

$$ИС = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)}. \quad (7)$$

Индекс согласованности (ИС) в МАИ дает информацию о степени нарушения численной (кардинальной, $a_{ij}a_{jk}=a_{ik}$) и транзитивной (порядковой) согласованности.

ИС матрицы парных сравнений, элементы которой сгенерированы случайным образом, называется случайным индексом (СИ). Ниже представлена таблица 2 соответствия порядка и среднего значения СИ, определенная на базе 100 случайных выборов [14].

Отношение ИС к среднему СИ для матрицы того же порядка называется отношением согласованности (ОС):

$$ОС = \frac{ИС}{СИ}. \quad (8)$$

Величина ОС должна быть порядка 10% или менее, чтобы быть приемлемой. В некоторых случаях можно допустить 20%.

Если ОС выходит из этих пределов, то экспертам (или лицам, принимающим решения) необходимо продолжить исследовать задачу и проверить свои суждения.

Проведенный анализ математической модели принятия решений по управлению инновационной деятельностью на основе когнитивного подхода позволяет сделать следующие выводы:

1. Когнитивный подход наиболее адекватно отражён в методе анализа иерархии (МАИ).

2. Когнитивную карту предлагается создавать с помощью метода анализа иерархии, который позволяет с помощью иерархической декомпозиции подробно исследовать решаемую задачу, выявляя наиболее предпочтительное решение, а также количественно выразив степень предпочтительности посредством рейтингования.

3. Предложенная модель принятия решений позволяет решать прикладные задачи на ЭВМ по:

– выбору и прогнозированию наилучшего материального обеспечения и других видов обеспечения;

– рациональному распределению ресурсов между альтернативами и др.

Литература

1. Ларичев О.Н. Наука и искусство принятия решений. М.: Наука. 1979. 200 с.
2. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. 256 с.
3. Беязев А.С. Решение сложных оптимизационных задач в условия неопределенности. Новосибирск: Наука, 1978. 126 с.
4. Чернов Г., Мозес Л. Элементарная теория статистических решений: Пер. с англ. М.: Сов. Радио, 1962. 406 с.
5. Фишберн П.С. Теория полезности для принятия решений: Пер. с англ. М.: Наука. 1977. 352 с.
6. Ларичев О.И. Анализ процессов принятия человеком решений при альтернативах, имеющих оценки по многим критериям //Автоматика и телемеханика, 1981. №8 С. 131-141.
7. Руководство по системе «Планирования программирование, разработка бюджета» // Новое в теории и практике управления производством в США / Под ред. Б.З. Мильнера. М.: Прогресс, 1971. С. 181-202.
8. Евланов А.Г. Теория и практика принятия решений. М.: Экономика, 1984. 176 с.
9. Руа Б. Классификация и выбор при наличии нескольких критериев (метод ЭЛЕКТРА): Пер. с франц. // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. С. 80-107.
10. Кини Р.А., Райфа Х. Принятия решений при многих критериях: предпочтения и замещения: Пер. с англ. / Под ред. И.Р. Шахнова. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.
11. Интерактивный метод решения задачи оптимального проектирования машин / И.И. Артоблевский, С.В. Емельянов, В.И. Сергеев, и др. // Докл. АН СССР, Т.237. №4. С.793-795.
12. Ларичев О.И. Человеко-машинные процедуры принятия решений при альтернативах, имеющих оценки по новым критериям (обзор)// Автоматика и телемеханика, 1971. №12. С. 130-142.
13. Борисов А.Н., Левченко А.С. Методы интерактивной оценки решений. Рига: Зинатне, 1982. 139 с.
14. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1991.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 620.179.18

АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИБРАЦИОННОЙ И АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ КОНСТРУКЦИЙ

HARDWARE FOR VIBRATION AND ACOUSTIC DIAGNOSTICS OF STRUCTURES

Алексей Геннадьевич Попов

*кандидат технических наук,
старший научный сотрудник*

начальник управления прочностных
исследований и технической диагностики
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04

Виктор Михайлович Дунилин

*старший научный сотрудник
управления прочностных исследований
и контроля состояния конструкций*
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл. г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04

Денис Николаевич Печерский

*специалист II уровня лаборатории
неразрушающего контроля*
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл. г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04
E-mail: upitd@iifmail.ru

Александр Альбертович Масликов

кандидат физико-математических наук

старший научный сотрудник управления
прочностных исследований и технической
диагностики
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл. г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04 E-mail: upitd@iifmail.ru

Евгений Владимирович Бородай

*инженер-испытатель
испытательной лаборатории*
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл. г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04

Александр Сергеевич Шулаков

*специалист II уровня лаборатории
неразрушающего контроля*
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл. г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04
E-mail: upitd@iifmail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы технической реализации акустико-диагностической системы для определения прочности бетонных и железобетонных конструкций объектов повышенной опасности с применением неразрушающего метода контроля.

Ключевые слова: акустико-диагностическая система, волновой процесс, прочность, бетон, конструкция, обработка.

Summary

In the article the questions of technical realization of acoustic diagnostic system to determine the strength of concrete and reinforced concrete structures of high-risk with the use of nondestructive method of control.

Keywords: acoustics system, wave pattern, strength, concrete, design, processing.

Разработанный в МОУ «Институт инженерной физики» аппаратный комплекс предназначен для проведения измерений и регистрации параметров колебаний машин, зданий и сооружений при вибрационном и акустическом диагностическом контроле конструкций.

В настоящей статье дано описание возможностей применения аппаратного комплекса и его программного обеспечения для определения прочностных характеристик материалов, в частности прочности конструкций из бетона и железобетона.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Для оценки состояния и определения прочности бетона строительных конструкций применяется метод, основанный на использовании акустических поверхностных волн. Метод заключается в измерении колебаний поверхности конструкции, вызванных ударным импульсным воздействием, направленным перпендикулярно поверхности конструкции, построении дисперсионных кривых поверхностных волн и определении по ним акустических характеристик бетона, в том числе их изменения по глубине. Измерения могут проводиться как непосредственно на поверхности бетона, так и через защитное покрытие, например металлоизоляцию.

Определение прочности бетона в конструкциях выполняется путем программной обработки фазочастотным методом информации полученной с пьезоэлектрических преобразователей после возбуждения волнового процесса в материале конструкции [1].

Блок-схема акустико-диагностической системы приведена на рисунке 1. Аппаратная часть акустико-диагностической системы содержит:

- вибропреобразователи AP2099-100;
- антивибрационный кабель АВКТ-4;
- усилители заряда и напряжения AP5030-4;
- аналого-цифровой преобразователь осциллограф АКИП – 74824;
- персональный компьютер (ПК);
- ударник.

Измерительная часть акустико-диагностической системы блочного исполнения смонтирована в противоударном кейсе, обеспечивающем её работоспособность при длительной транспортировке и применении в полевых условиях. На фотографии рисунка 2 показано конструктивное исполнение акустико-диагностической системы и приведены характеристики основных блоков.

При проведении обследования в качестве ударников ис-

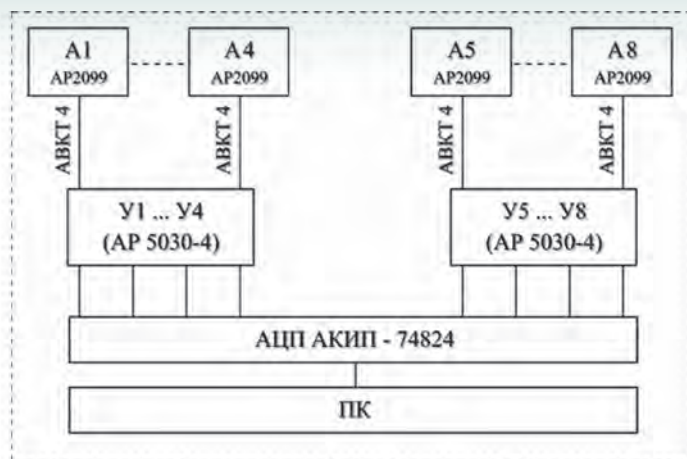


Рис. 1. Блок-схема акустико-диагностической системы



Вибропреобразователь AP2099-100

Осевая чувствительность.....100 мВ/г*1
Амплитудный диапазон.....± 50 г*1
Максимальный удар (пиковое значение)...± 2500 г*1



Осциллограф АКИП-74824

Осциллограф.....8 каналов
Полоса пропускания.....20 МГц
Разрешение АЦП.....12 бит
Макс. частота дискретизации (для однократного сигнала при использовании 1-4 каналов).....80 МГц
Максимальный объем памяти.....256 МБ



Усилитель заряда и напряжения AP5030-4

Диапазон входного напряжения± 5 В
Диапазон входного заряда.....5x10⁴ нКл
Среднеквадратическое значение шума (приведенное ко входу).....< 5 мкВ
Частотный диапазон0,2 ... 120000 Гц
Коэффициент усиления по напряжению.....1, 2, 5, 10, 50, 100
Коэффициент преобразования по заряду.....0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100 мВ/нКл
Встроенные фильтры верхних и нижних частот.....200
Напряжение питания+ (5 ± 0,5) В
Габариты, мм.....236x157x75
Масса.....1800 г

Рис. 2. Акустико-диагностический комплекс и технические характеристики его основных блоков



Рис. 3. Конструкции ударников

пользуются молотки типа Slide Sledge LG35050 или полиуретановый молоток, рисунок 3. Изменение длительности ударного импульса обеспечивается применением сменных насадок – бойков разной массы и прокладок между ударным элементом и поверхностью конструкции.

При проведении измерений вибропреобразователи устанавливаются по прямой линии с шагом примерно равным половине толщины конструкции.

Первый вибропреобразователь устанавливается в непосредственной близости к точке удара для фиксации импульса инициирующего волнового процесс. Перед проведением измерений виброакустических колебаний выполняются операции калибровки и настройки, предусмотренные в инструкциях по эксплуатации на применяемые средства измерения и вспомогательные устройства.

После калибровки и настройки акустико-диагностическая система переводится в ждущий режим с запуском по превышению заданного уровня ускорения на вспомогательном вибропреобразователе, закрепленном непосредственно у места нанесения удара.

Зарегистрированные по каждому из измерительных каналов сигналы запоминаются в цифровом виде и отображаются на экране ПК.

При перегрузке по любому из измерительных каналов измерения на экран ПК выдается сообщение. Технические характеристики применяемых регистрирующих средств обеспечивают высококачественное получение и фиксацию параметров волнового процесса для последую-

щей обработки по определению акустических характеристик бетона.

Тестирование разработанной акустико-диагностической системы производилось измерениями на бетонной плите размером 3×15 м и толщиной 0,3 м, выполненной из монолитного бетона. Заявленная прочность бетона соответствовала марке М400. Расстояние между датчиками составляло 0,25 м, а расстояние от источника импульсного воздействия до ближайшего датчика 0,75 м. На графиках *рисунка 4* приведены рассчитанные по формулам работы [2] дисперсионные зависимости фазовых скоростей поперечных волн V в плите от длины волны для прочностей бетона соответствующих маркам М300, М400, М500, а так же дисперсионная кривая, построенная по измеренным в эксперименте параметрам волнового процесса.

Из приведенных графиков следует, что измеренная прочность соответствует заявленной прочности бетона марки М400.

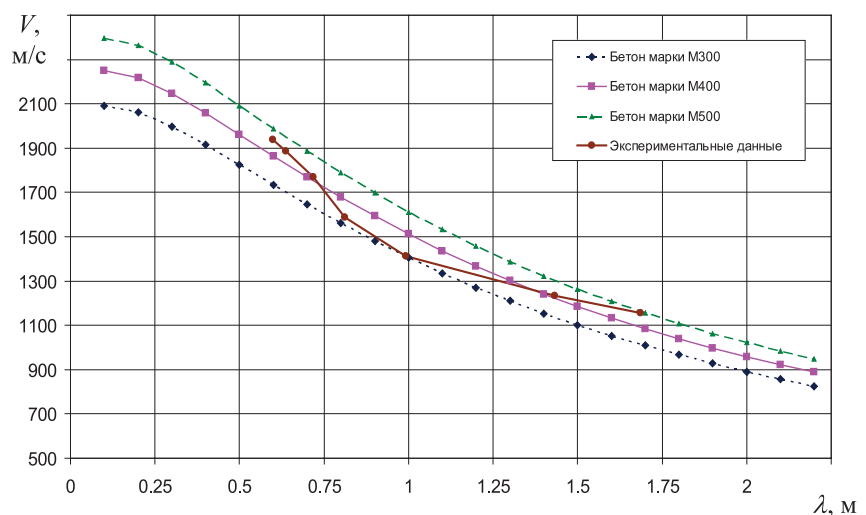


Рис. 4. Расчетные дисперсионные зависимости фазовых скоростей поперечных волн V от длины волны для прочностей бетона, соответствующих маркам М300, М400, М500, и дисперсионная зависимость, построенная по измеренным в эксперименте параметрам волнового процесса

Литература

1. Попов А.Г., Дунилин В.М., Пономарева А.С., Авилов М.Ю., Спорыхин Н.Д., Бородай Е.В. О применении фазового метода обработки измерительной информации при исследовании прочности конструкций из бетона // Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40), С. 92-95.
2. Горшков А.Г. и др. Волны в сплошных средах. М.: Физматлит, 2004. 472 с.

ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 623.093

СРЕДСТВА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ОТ ПОРАЖЕНИЯ СТРЕЛКОВЫМ ОРУЖИЕМ

EQUIPMENT OF ENGINEERING-TECHNICAL PROTECTION OF OBJECTS FROM DESTRUCTION SMALL ARMS

Сергей Владимирович Мартынов

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

Борис Георгиевич Ерёмин

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

Анастасия Викторовна Сытова

кандидат технических наук, доцент

научный сотрудник

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

Владимир Викторович Никитенко

научный сотрудник

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

Андрей Сергеевич Бутранов

старший научный сотрудник

ВА РВСН им. Петра Великого

(филиал в г. Серпухове)

Адрес: 1422210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17

Тел.: +7(4967)72-19-11

Аннотация

Рассматривается концептуальный подход к созданию сборно-разборных защитно-оборонительных сооружений, как элементов средств физической защиты. Приведены результаты определительных испытаний модельных образцов, позволяющие сформировать эффективный подход и ограничения к разработке многослойных разнесенных преград и повышению их пулестойкости.

Ключевые слова: система физической защиты, броневые элементы, разнесенная броня, пулестойкость.

Summary

The conceptual going is examined near creation of protective-defensive pre-fabs, as elements of facilities of physical defence. Results over of attributive tests of model standards are brought allowing to form the effective going and limitations near development of set about multi-layered barriers and increase of their bullet-proofness.

Keywords: system of physical defence, armoured elements, set about armour, bullet-proofness.

Рост числа проявлений терроризма, а также усиление организованности, подготовленности, оснащенности террористических групп и организаций обуславливают принимаемые на уровне государств и международных организаций антитеррористические меры, в том числе и пре-

вентивного характера. К последним относятся создание и функционирование систем обеспечения безопасности объектов, и в частности систем физической защиты (СФЗ) как систем, непосредственно противостоящих угрозам терроризма [1].

ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Концепция физической безопасности объекта – это алгоритм действий по созданию системы физической защиты для конкретно взятого объекта. Основными пунктами ее становятся предмет защиты, методы защиты и возможные угрозы безопасности объекта.

На современном этапе развития систем безопасности (СБ) и, как частных случаев, систем физической защиты в условиях увеличения количества угроз и способов их реализации, роста разнообразия объектов обеспечения безопасности, различных методов и средств обеспечения безопасности возникает необходимость обобщения и уточнения требований к тактико-техническим требованиям комплекса инженерных средств физической защиты.

В современных условиях в значительном числе случаев трудно и обычно нецелесообразно разделять разные подсистемы безопасности или функции, выполняемые этими подсистемами. Кроме того, обычно трудно разделить функции, выполняемые какой-либо подсистемой безопасности. Так для одного и того же объекта обеспечения безопасности одни и те же средства, к примеру, комплекс инженерных средств физической защиты, охранной сигнализации (ОС), контроля доступа, ТВ-наблюдения и др. могут решать задачи и антитеррористической, и противокриминальной, и информационной, и других видов безопасности. И, наоборот, материальные ресурсы могут быть объектом обеспечения безопасности при решении задач обеспе-

чения упомянутых выше видов безопасности, к примеру, защиты от стрелкового оружия.

Задачами физической защиты, решаемыми на любом важном объекте [3, 4, 5, 8] являются:

- предупреждение несанкционированных действий;
- своевременное обнаружение несанкционированных действий;
- задержка (замедление) проникновения (продвижения) нарушителя;
- реагирование на несанкционированные действия и нейтрализация нарушителей для пресечения несанкционированных действий.

Физическая защита обеспечивается службой охраны, основной задачей которой является предупреждение несанкционированного физического проникновения на территорию, в здания и помещения объекта злоумышленников и их сдерживание в течение расчетного времени (до прибытия полиции или сил поддержки). Инженерная защита предусматривает использование усиленных дверей и дверных коробок, металлических решеток, усиленных ограждающих конструкций и запоров. Техническая защита включает систему охранной сигнализации, систему телевизионного наблюдения, систему тревожного оповещения, автоматизированную систему контроля доступа, переговорные устройства, средства связи, пожарной сигнализации, средства проверки почтовой корреспонденции, охранного освещения, резервного (аварийного)



Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы физической защиты объекта

электропитания, систему дежурного и тревожного освещения [10].

На обобщенной структурной схеме в соответствии с *рисунком 1* показана взаимосвязь объектов защиты с возможными рисками и угрозами, что может быть использовано для контроля полноты состава и структуры СФЗ, а также подтверждает отсутствие однозначных подходов к применению перечней угроз и моделей нарушителей для формирования требований к СФЗ. В настоящее время в отдельных ведомствах существует целый ряд руководящих и методических документов, определяющих перечни угроз или методику обоснования списка защищаемых объектов, а также ряд характеристик моделей нарушителей.

Меры по достижению заданных критериев эффективности являются, по сути, требованиями к структуре и функциональным характеристикам создаваемого интегрированного комплекса СФЗ и тем самым логически завершают этап разработки концепции создания сборно-разборных защитно-оборонительных сооружений.

МОУ «ИИФ» изготовлен макетный образец сборно-разборного защитно-оборонительного сооружения, представленный в соответствии с *рисунком 2*.



Рис. 2. Макетный образец сборно-разборного защитно-оборонительного сооружения

Данная концепция создания сборно-разборных защитно-оборонительных сооружений защищена патентом RU № 154893 «Универсальное бронированное огневое сооружение», опубликованным 10.09.2015 г. Корпус макетного образца выполнен в виде выпуклого много-

гранника, хотя бы одна грань которого параллельна поверхности земли, включающего бронированные окна, рабочий вход-выход, бойницы для ведения огня. Внешние и внутренние стены корпуса выполнены из куполообразных частей, каждая из которых выполнена из пространственно разделенных внутреннего и внешнего стальных слоев, каждый из слоев выполнен из многоугольных секций, содержащих поверхность и стороны, взаимно соединенных между собой сторонами и углами, бронированные окна герметично встроены в грани корпуса, рабочий вход-выход расположен в одной из боковых плоскостей корпуса.

Выполнение корпуса макетного образца из куполообразных частей, каждая из которых выполнена из пространственно разделенных внутреннего и внешнего стальных слоев, позволяет повысить защищенность часового и аппаратуры, находящихся внутри сооружения, от вооруженного нападения извне. Корпус макетного образца состоит из двух разнесенных слоев стали. Пулестойкость такой кабины выше, но не только за счет суммарного эффекта двойного слоя бронированной стали, но и за счет того, что разделенные пространством слои приобретают дополнительное свойство менять направление попадающей в корпус сооружения пули. После того как пуля пробивает первый слой бронированной стали, ее скорость замедляется, а направление отклоняется от первоначального, происходит дестабилизация пули (сердечника). Преодолев расстояние между стальными слоями, пуля попадает ко второму слою с отклонением от первоначальной траектории и со скоростью, не достаточной для разрушения этого слоя. Это увеличивает пулестойкость представленного макетного образца. Пространство между разнесенными слоями может заполняться керамическими вставками, что существенно повышает пулестойкость сооружения.

Разнесенная броня представляет собой набор (пакет) преград, суммарный эффект от которых достигается за счет последовательного увеличения площади ударника после пробития каждой отдельной преграды. Для разнесенной брони, выполненной из одной марки материала, вводят показатель разнесенности преград [2, 11]:

$$C_z = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{h_{np}},$$

где h_i – толщина одиночной преграды из пакета разнесенной брони,
 h_{np} – предельная толщина монолитной преграды.

Для разнесенной брони, выполненной из набора преград разных марок материалов с различными плотностями γ показатель разнесенности имеет вид:

$$C_z = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \gamma_i}{h_{np} \gamma_0}.$$

Повышение эффективности разнесенной брони основывается на проведенных экспериментальных исследованиях процессов деформирования традиционной трехэлементной пули при выстрелах из автомата Калашникова пулями 7Н6 и 7Н10 по схеме (в соответствии с рисунком 3) в листовую низкоуглеродистую сталь без термочувствования ГОСТ 535-88 толщиной 4, 8, 12 мм.

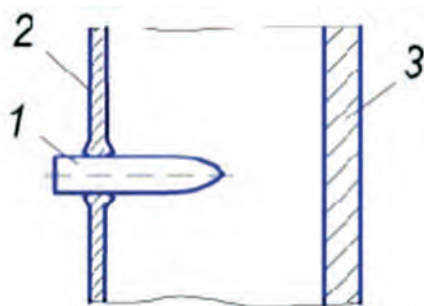


Рис. 3. Схема взаимодействия пули:
1 – пуля; 2 – фронтальный лист; 3 – тыльный лист

Повышение эффективности разнесенных преград основано на увеличении площади взаимодействия поражающего элемента, в частности пули (сердечника), за передней (передними) преградой брони. Для увеличения площади может быть реализовано несколько возможностей.

Первая – притупление головной части пули за счет оголения сердечника, что происходит при сплющивании и раскрытии оболочки и рубашки пули. Для реализации этого подбирается соответствующая фронтальная пластина разнесенной преграды по прочности и твердости.

Вторая – обеспечить поворот пули и ее остановку в конструкции разнесенной брони расстояния между первой преградой и последующей равной или большей чем длина пули. Исследование возможностей реализации данных положений подтверждено проведенными натурными исследованиями. Результаты проведенных исследований представлены в соответствии с рисунками 4, 5.

Хорошо иллюстрирует пробивную способность пуль разнесенная преграда из стальных пластин толщиной 4 мм, в соответствии с рисунком 5.

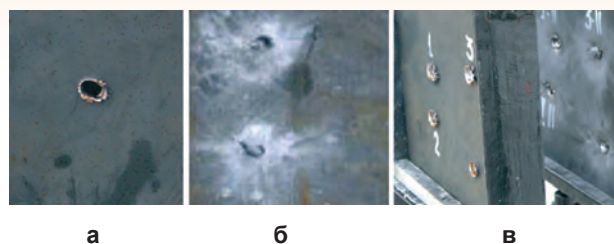


Рис. 4. Характер взаимодействия сердечника пули с преградой:
а – входное отверстие от пули 7Н6 при пробитии стали ($\delta = 4$ мм); б – торможение сердечника после пробития передней преграды трехэлементной разнесенной брони (толщина $\delta = 4$ мм); в – пробитие отверстия пулей 7Н6 в стали толщиной $\delta = 4$ мм

Взаимодействие пуль 7Н6 и 7Н10 с преградами толщиной 4 мм приводит к нарушению целостности конструкции пули – разрушается свинцовая рубашка и стягивается оболочка пули. На данном этапе сердечник почти не деформирован и выступает из оболочки на 5,5-7 мм. Относительная деформация по длине сердечника составляет 2,5 %. Общая длина оболочки уменьшается в 2 раза и представляет собой полый элемент с радиальными наплывами [9].

При увеличении толщины преграды до 8 мм и выше начинается заметное деформирование головной части сердечника с относительной деформацией около 10%, которая возрастает с увеличением толщины стали. Могут сохраняться только фрагменты оболочки. Взаимодействие с преградами толщиной 10-12 мм, которые обеспечивают непробитие, сопровождается значительным расплющиванием головной части сердечника. Относительная деформация сердечника составляет 30% и более.

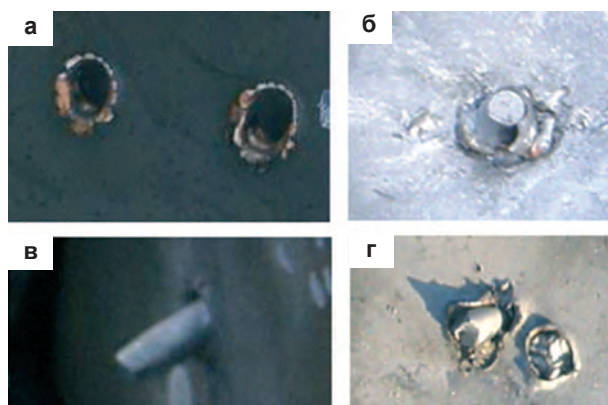


Рис. 5. Стальная разнесенная преграда с результатами поражения боеприпасом 7Н6:
а) рубашка пули после контакта с первой преградой; б) сердечник пули, застрявший во второй преграде толщиной 4 мм; в) сердечник пули после пробития двух преград стали толщиной 4 мм; г) сердечник после пробития двух преград толщиной 4 мм.

ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Проведенные определительные испытания позволяют сформировать эффективный подход и ограничения к разработке многослойных разнесенных преград и повышения их пулестойкости.

1. Для реально допустимых в практике изготовления инженерных средств защиты от пуль 7Н6 и 7Н10 автомата Калашникова из низкоуглеродистых сталей и сплавов без термоупрочнения при переходе от монолитной к разнесенной преграде можно снизить суммарную толщину на 20% и более.

2. В разработанной многослойной разнесенной стальной преграде, обеспечивающей защиту, использование передней пластины более толстой, а второй тонкой практически в любых сочетаниях приводит к пробитию.

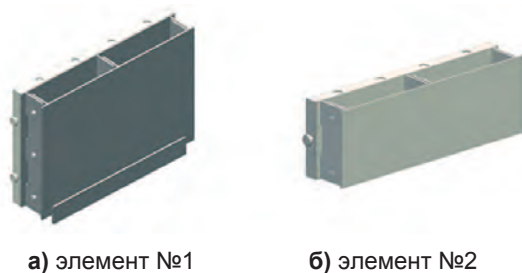
Бронированные элементы обеспечивают защиту от осколков и пуль всех видов стрелкового оружия и выполнены в двух типоразмерах. Геометрические и массовые характеристики броневых элементов макетного образца приведены в таблице 1.

Таблица 1
Массово-геометрические
характеристики броневых элементов

Вариант исполнения	Масса, кг	Геометрические размеры, мм
Элемент №1	38,8	600x400
Элемент №2	24,5	300x400

Универсальное бронированное огневое сооружение собирается из бронированных элементов с разнесением на 75 мм внешней и внутренней пластин, выполненных из бронированной стали 44 толщиной с 6 мм.

Броневые элементы могут быть выполнены: сплошными, с бойницами, со светопрозрачной броней, оборудованы выступающими крепежными элементами грибовидной формы, сопряженными с фигурными вырезами вертикальных броневых стоек самого сооружения (в соответствии с рисунком 6).

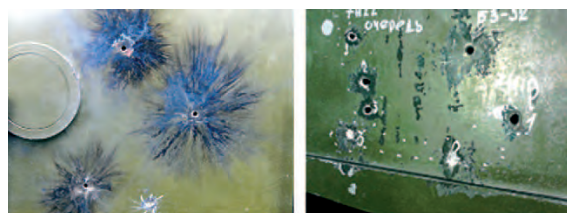


а) элемент №1 б) элемент №2

Рис. 6. Внешний вид броневых элементов

Броневые элементы выполнены таким образом, что в процессе эксплуатации может наращиваться их класс защиты по пулестойкости путем использования вставок, изготовленных из композиционных материалов, выполненных с учетом требований различных классов защиты по пулестойкости.

Результаты экспериментальных исследований броневых элементов представлены в соответствии с рисунком 7, 8.



а) элемент №1 б) элемент №2

Рис. 7. Фронтальный вид броневых элементов после испытаний



а) фронтальная сторона б) тыльная сторона

Рис. 8. Внешний вид броневых элементов после испытаний

По результатам испытаний различными боеприпасами пробитий броневых элементов и светопрозрачной брони не наблюдалось.

Альтернативных решений у этой системы защиты от стрелкового оружия для наземных сооружений – три: габионы, мешки и бетонные блоки. Первые две требуют наличия грунта, которого может не оказаться (камни, снег, лед и т.д.) и времени на их заполнение (плюс проблемы с заполнением второго ряда габионов по высоте или те же трудности с подъемом мешков). Бетонные блоки требуют обязательного наличия специального транспорта, грузоподъемного механизма для разгрузки и установки сооружения.

Основными техническими преимуществами предлагаемого сборно-разборного сооружения с элементами разнесенной брони являются:

- мобильность (возможность перевозки броневых элементов любым видом транспорта, включая транспортировку на подвесной системе вертолетов);

ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

■ для сборки/разборки сооружения привлекается только личный состав, его эксплуатирующий;

■ масса и конструктивное исполнение броневых элементов позволяет, как минимум, двум военнослужащим (специалистам) проводить сборку/разборку сооружения;

■ возможность многократного использования сборно-разборного сооружения с элементами разнесенной брони в различных климатических районах;

■ возможность наращивания класса защиты броневых элементов по пулестойкости за счет использования керамических вставок;

■ броневые элементы обладают повышенной ремонтпригодностью за счет их унификации.

Литература

1. Волхонский В.В., Малышкин С.А. К вопросу единства терминологии в задачах физической защиты объектов // Информационно-управляющие системы. СПб, 2013. № 5. С. 61–68.
2. Калашников В.В. Влияние процесса разрушения пули на выбор элементов многослойных пулестойких строительных металлоконструкций / В.В. Калашников, М.И. Мушкаев, С.Е. Алексенцева, Е.С. Матвеев // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки», 2004. В. 24. С. 103–106.
3. НП-083-07. «Требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов». Введ. 1.06.2008. // Ядерная и радиационная безопасность, 2008. №2. С. 15–30.
4. ГОСТ Р 52860-2007. «Технические средства физической защиты. Общие технические требования». Введ. 27.12.2007. М.: Стандартиформ, 2008.
5. Бондарев П.В. Физическая защита ядерных объектов / П.В. Бондарев [и др.]. М.: МИФИ, 2004.
6. Алаухов С. Ф., Коцеруба В. Я. Концепция безопасности и принципы создания систем физической защиты важных промышленных объектов. ФГУП «НИКИРЭТ», 2002. – Источник: www.sec.ru.
7. Магауренов Р. Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения / Учебное пособие. М.: Горячая линия-Телеком, 2004.
8. Волхонский В. В. Системы охранной сигнализации / 2-е изд., доп. и перераб. СПб: Экополис и культура, 2005.
9. Любарский И.М. Металлофизика трения/ И.М.Любарский, Л.С.Палатник // Серия «Успехи современного металловедения». М.: Металлургия, 1976. 176 с.
10. СП 132.13330.2011. «Обеспечение антитеррористической защищенности зданий и сооружений. Общие требования проектирования: свод правил». Введ. 20.09.2011.
11. Алексенцева С.Е. Инженерно-технические средства защиты / С.Е. Алексенцева, А.А. Башарин, Е.С. Матвеев // Ежегодное приложение к журналу «Вестник Академии военных наук», Труды Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона». Новосибирск: НГТУ, 2007. С. 13–14.
12. Муляр В.А., Кириллов И.А., Пантелеев В.А., Сумской С.И., Мешалкин Е.А., Глебов С.Н. Комплексное обеспечение безопасности и антитеррористической защищенности зданий и сооружений. Термины и определения. НП СРО «Объединение организаций-разработчиков систем комплексной безопасности», 2010.



ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 378.245.2 (075.8)

ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК: СИСТЕМА ФОРМАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ DISSERTATION FOR SCIENTIFIC DEGREE OF CANDIDATE OF TECHNICAL SCIENCES: THE SYSTEM OF FORMAL SIGNS

Игорь Александрович Бугаков

заслуженный изобретатель РФ
доктор технических наук, профессор

Вице-президент по инновационным проектам
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: bia@iifmail.ru

Алексей Николаевич Царьков

заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор

Президент Института –
Председатель Правления Института
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: tsarkov@iifmail.ru

Аннотация

В статье рассматривается система формальных признаков («тезаурус») диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, наличие и взаимосогласованность которых обеспечивают целостность диссертационного исследования, его соответствие требованиям руководящих документов Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

Ключевые слова: диссертация, тема, объект и предмет исследования, цель, показатели, противоречие, центральная идея, научная задача, научные результаты и положения, методы исследования, научная новизна, практическая значимость, достоверность, паспорт специальности, апробация, публикации, внедрение, личный вклад, самостоятельность.

Summary

A system of formal signs («thesaurus») thesis for the degree of candidate of technical sciences, availability and coherence between which ensure the integrity of the research, its compliance with the guidelines of the Higher Attestation Commission under the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Keywords: dissertation, a subject of study, objective indicators, contradiction, the central idea, the scientific task, scientific results and position, research methods, scientific novelty, practical significance, reliability, specialty passport, validation, publication, implementation, personal contribution, independence.

Диссертация (в переводе с латыни «dissertatio» – рассуждение, исследование) на соискание ученой степени кандидата наук «должна быть научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, либо изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны» [1, п. 9].

Работа над диссертацией и, главное, ее оформление есть во многом итерационный процесс, предполагающий периодическое осмысление и коррекцию ее основных формальных признаков с учетом роста соискателя в методологическом, теоретическом и методическом плане, его более глубокого погружения в исследуемую область, получения в процессе работы конкретных научных результатов, появления публикаций других исследователей об их достижениях в

выбранной соискателем области исследований. Окончательное понимание сделанного и его правильное обобщение с формированием требуемой системы формальных признаков возможно только после завершения всей работы. Однако для того, чтобы, не делая лишнего и максимально быстро двигаться к конечной цели¹ – написанию диссертации и ее защите – недостаточно просто работать в каком-то выбранном направлении в надежде на то, что что-то новое будет найдено и процесс его получения будет оформлен как диссертация.

Еще в самом начале пути перед принятием решения о написании диссертации следует сформировать первичное видение такого будущего обобщения, наличие которого – условие готовности к написанию непосредственно диссертации. При этом в дополнение к указанному в первом абзаце данной статьи определению учтем, что диссертация также «должна быть написана автором самостоятельно, обладать внутренним единством, содержать новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствовать о личном вкладе автора диссертации в науку», а также то, что «в диссертации, имеющей прикладной характер, должны приводиться сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов, а в диссертации, имеющей теоретический характер, – рекомендации по использованию научных выводов», причем «предложенные автором диссертации решения должны быть аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями».

Итак, ключевыми составляющими этих требований являются:

- научно-квалификационный уровень текста диссертации, свидетельствующий, во-первых, о том, что написавший ее человек является специалистом в выбранной области, и, во-вторых, о наличии в работе новых, полученных соискателем, научных результатов и положений, выдвигаемых для публичной защиты;
- наличие в диссертации либо решения научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, либо изложения новых научно обоснованных технических, технологических или иных решений и разработок, имеющих существенное значение для развития страны;
- внутреннее единство диссертации;

¹ Цель, как известно, есть основной системообразующий фактор.

- самостоятельность написания диссертации;
- наличие свидетельств о личном вкладе автора диссертации в науку.

Очевидно, что краткость и емкость этих составляющих как следствие желаемой универсальности требований к диссертациям по всем научным специальностям ведет к неоднозначности их толкования², привнесению в их понимание специфики конкретной отрасли наук³, появлению своих предпочтений и традиций в научных школах и диссертационных советах.

Исходя из этого, авторы ставят своей задачей в данной статье изложить свое видение системы взаимосвязанных формальных признаков диссертации – «тезауруса диссертации»⁴ применительно к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук⁵ с учетом личного опыта работы в диссертационных советах филиала ВА РВСН им. Петра Великого в г. Серпухове и Межрегионального общественного учреждения «Институт инженерной физики».

В каждой диссертации должны быть указаны:

1. Тема диссертации.
2. Объект исследования.
3. Предмет исследования.
4. Цель исследования.
5. Разрешаемое в диссертации противоречие.
6. Центральная идея диссертации по разрешению вышеуказанного противоречия.

² Что есть, например, «внутреннее единство» и как формально определить его наличие в работе? Каковы критерии и показатели «научности» решаемой задачи, а также «существенности значения» полученных решений и разработок? Насколько велик должен быть «личный вклад» автора в науку в рамках всего выносимого им на защиту? Достаточно ли для доказательства самостоятельности написания диссертации наличия публикаций в единоличном авторстве, если учитывать, что такое наличие – свидетельство единоличности именно опубликования, но не написания (получения и описания)? Конечно, и «единство», и «самостоятельность», и «научность» выявляются не только по тексту диссертации, но и в процессе защиты (для этого она и проводится), что в какой-то мере оправдывает краткость формулировок Положения.

³ Технические науки, физико-математические, химические, биологические, сельскохозяйственные, филологические, философские и др.

⁴ Иногда говорят о «концепции диссертации».

⁵ Конечно, то, что приведено далее, применимо во многом не только к диссертации по техническим наукам. Но, памятуя о том, что для начинающего исследователя более полезны конкретные, чем универсальные, обобщающие знания, приводимое далее касается, в первую очередь, исследований по техническим наукам.

7. Вытекающая из центральной идеи научная задача диссертационного исследования.

8. Задачи (вопросы) исследования, вытекающие из научной задачи.

9. Выносимые на защиту новые научные результаты и положения.

10. Применяемые методы исследования.

11. Научная новизна и практическая значимость защищаемых результатов и положений.

12. Достоверность защищаемых результатов и положений.

13. Доказательство соответствия работы выбранной научной специальности.

14. Сведения об апробации результатов исследования (выступления на конференциях, семинарах, симпозиумах и др.).

15. Сведения о публикациях результатов исследования в рецензируемых научных изданиях.

16. Сведения об использовании (внедрении, реализации) защищаемых научных результатов и положений.

17. Структура (план) диссертации.

Раскроем содержание каждой составляющей и дадим некоторые рекомендации по их формулировке.

1. Тема диссертации. Хотя и стоит первой в рассматриваемом списке, но формулируется с учетом последующих пунктов (по крайней мере, по седьмой включительно) и органично (в явном или неявном виде) вбирает их в себя, позволяя знакомящемуся с диссертацией специалисту по одной только теме определить объект и предмет исследования, возможную научную задачу и ее актуальность, оригинальность используемого подхода. Для этого название темы не должно формулироваться слишком широко и охватывать слишком многое, но должно конкретно определять свое узкое место, отличаясь при этом от тем уже защищенных диссертаций в выбранной области. Конечно, чем шире возможное применение полученных в диссертации результатов, тем большую ценность для науки они имеют, но и тем сложнее их получить и доказать универсальность их применения. Широта охвата более свойственна докторским диссертациям, чем кандидатским⁶. Но в то же время на-

⁶ Утрируя, скажем так: «Лучше разработать «чернила для пятого класса» и потом показать (доказать), что они применимы и для шестого и даже (!) для седьмого класса, чем вести разработку «универсальных чернил» на все случаи их возможного применения». То есть узкая, но глубоко проработанная для конкретного объекта тема в технических науках все же более предпочтительна, чем широкая, но недостаточно исследованная. Сначала – глубина исследования, потом – широта применения.

звание темы должно быть как можно более кратким, что, на первый взгляд, противоречит идее глубины и конкретности. Тем не менее, к этому надо стремиться⁷.

При выборе темы следует также учитывать, что диссертация должна «свидетельствовать о личном вкладе автора диссертации в науку» (п. 10. Положения [1])⁸, хотя диссертации по техническим наукам носят, как правило, прикладной характер. И это тоже должно найти отражение в теме, которая должна нести научную, теоретическую, а не практическую смысловую составляющую, отражать научную задачу. Отметим, что актуальность теме придает актуальность решаемой научной задачи.

Несомненно, тема диссертации должна быть связана с планами НИР и НИОКР организации, в которой соискатель ее пишет.

И, наконец, отметим, что тема диссертации должна соответствовать уровню подготовки соискателя, опыту его работы, его способностям и научным интересам. Одной мотивацией стать кандидатом наук (неважно по какой теме) бывает недостаточно. Написание диссертации – это кропотливая, отнимающая большую часть времени человека работа в течение нескольких лет и потому тема должна соответствовать его квалификации и нравиться ему, а сама работа над диссертацией – приносить удовлетворение. Без «горения» соискателя вряд ли можно достичь успеха.

2. Объект исследования. Как следует из п. 9 Положения [1], ученая степень кандидата наук может быть присвоена соискателю по двум основаниям: во-первых, если в его диссертации «содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний; во-вторых, если в диссертации «изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны»⁹. Может ли и для решения научной задачи, и для создания новых решений и разработок быть выбран один и тот же объект исследований? Думаем, что да. Такой подход допуска-

⁷ Научные руководители обычно рекомендуют аспирантам использовать в названии не более 9-11 слов. Допустимо использование уточняющего подзаголовка.

⁸ На «вклад в науку, а не в практику» обращают внимание многие авторы рекомендаций аспирантам (см., например, рекомендации проф. А.И. Долгова [3]).

⁹ Решение научной задачи чаще всего относят к теории, а имеющие прикладной характер разработки – к практике (хотя они должны быть «научно обоснованными»).

ет техническая направленность диссертации и обязательность ее вклада в науку в обоих случаях.

Считаем, что если диссертация пишется по техническим наукам, то объектом исследования чаще всего выступает имеющий функциональное прагматическое назначение (потребительскую ценность), несущий ту или иную полезность технический объект (техническая система) или явным образом влияющая на эту полезность его функциональная часть, например, система управления самолетом (ее часть – система стабилизации), система защиты информации коммерческого банка, система контроля доступа на предприятие ОПК, блок распознавания видеозображений на основе нейронной сети, устройство кодирования информации в защищенных линиях связи и др. При этом определяющие полезность объекта его эксплуатационные, потребительские свойства (надежность, живучесть, безопасность, защищенность, точность, быстродействие, энергопотребление, габаритно-массовые характеристики и др.), улучшение которых, как правило, и является целью диссертационного исследования, должны измеряться (оцениваться), количественно выражаться с использованием той или иной меры.

Объектом исследования могут быть также отдельные явления и (или) протекающие в технических объектах (и потому не менее «объективно» существующие) процессы, описывающие состояние и (или) динамику движения объекта в том или ином пространстве, его развитие, реализуемую с его помощью (в нем) технологию и пр. Однако и в этих случаях изложенные в предыдущем абзаце требования по выбору показателей сохраняются.

В пособиях по написанию диссертаций часто утверждают, что объект исследования – это то, что порождает проблемную ситуацию. Нельзя не согласиться с этой тривиальностью, но стоит помнить, что проблемность той или иной ситуации, как правило, определяется наличием противоречия, которое для области технических наук чаще всего есть противоречие техническое с конкретными физическими основаниями.

3. Предметом исследования является подлежащая научному исследованию одна из сторон (одно из свойств) объекта исследования¹⁰, важ-

ная в данном исследовании и непосредственно связанная с достижением цели исследования. Если в качестве объекта исследования взят технический объект, то очень часто предметом исследования выступают связанные с объектом процессы, протекающие как в самом объекте исследования (в частности, процессы его функционирования, развития), так и вне его (например, процессы его применения, управления объектом, процессы взаимодействия объекта с внешней средой).

В качестве хорошей подсказки для выбора объекта и предмета исследования можно использовать паспорт специальности, по которой пишется диссертация: формула специальности указывает на объект, а пункты области исследования – на возможный предмет. Такой подход хорош еще и тем, что он автоматически решает задачу доказательства соответствия диссертации выбранной специальности¹¹.

4. Цель исследования в диссертациях по техническим наукам, как правило, прагматическая и связана с улучшением одного или нескольких вышеуказанных эксплуатационных, потребительских свойств объекта исследования, которые, повторим, можно измерить, оценить с помощью того или иного имеющего соответствующую объективную меру показателя (вероятности безотказной работы, погрешности измерения и др.). Невозможность объективно количественно оценить выбранный показатель является основанием для отказа от его использования и замены на другой, измеримый. В случае отсутствия такой возможности необходимо изменить цель исследования с выбором для доказательства ее достижения такого показателя, который можно измерить. Такая рекомендация (скорее – требование) связана с тем, что при завершении работы над диссертацией соискатель должен доказать достижение поставленной цели, что обычно осуществляется, ссылаясь на количественные значения выбранного показателя в решениях других авторов, известные до начала диссертационного исследования, с одной стороны, и на новые улучшенные значения этого показателя, достигнутые с использованием полученных в защищаемой диссертации научных результатов, с другой стороны.

В качестве цели не рекомендуется использовать широкие, интегральные потребительские

нием к той или иной части (границы, свойству) объекта и ее субъективным пониманием.

¹¹ Конечно, объект в формуле специальности того или иного паспорта специальности обычно указывается слишком широко и требует конкретного сужения.

¹⁰ Часто говорят, что объект и предмет исследования как научные категории соотносятся как общее и частное, т.е. в каждом объекте исследования можно выделить множество предметов исследования. Полезным является понимание и того, что объект существует объективно, независимо от наших мыслей о нем, а предмет всегда связан с нашим субъективным внима-

свойства, характеризуемые многими показателями, если можно обойтись более узким свойством. Например, не надо ставить целью повышение эффективности или повышение качества чего-либо, если суть состоит в повышении всего лишь одного из показателей качества или одной из разновидностей эффективности¹².

5. Разрешаемое в диссертации противоречие. Наличие в диссертации противоречия и предлагаемой соискателем идеи по его разрешению (центральной идеи диссертации) – важнейшие признаки качественной диссертации, признаки ее диссертательности. Противоречие раскрывает проблемную ситуацию, выявляет суть проблемы, а, как известно, «правильно поставленная проблема – уже наполовину решенная».

Противоречие, рассматриваемое обычно как источник, движущая сила развития, порождается наличием одновременно существующих противоположных, но взаимосвязанных сторон целого, «единство» и «борьба» которых, как утверждается в философии, рождает новое. Не углубляясь далее в это «единство» и «борьбу», в анализ попыток выделения формально-логического и диалектического противоречий применительно к мышлению и объективной действительности и споры по этому поводу [4], рассмотрим сущность и особенности противоречия в технической системе, считая, что противоречие в искусственной технической системе, как и в естественной природной системе, связано с ее развитием, с появлением в процессе его разрешения у системы новых возможностей. Причем, если в природной живой системе разрешение противоречия и, как следствие, развитие, совершенствование способствуют ее лучшему выживанию и дальнейшему существованию и такая тенденция, частично понимаемая человеком, установлена природой, то в искусственной технической системе разрешение противоречия, улучшая ее потребительские свойства, способствует лучшему выживанию и существованию создавшего ее человека¹³.

Противоречие всегда сопряжено с отсутствием простого, очевидного пути ее разрешения и характеризуется истинной или кажущейся невозможностью желаемого улучшения ее тех или иных потребительских свойств. Целесообразно выделить три причины такой невозможности.

¹² Выделяют функциональную (целевую), технологическую, экономическую, эксплуатационную и др. эффективности.

¹³ Впрочем, и «выживанию» самой технической системы, которую человек не выбрасывает, а совершенствует, продлевая ее «жизнь».

1. Наличие известных истинно объективных законов природы (например, закона всемирного тяготения)¹⁴, запрещающих реализацию противоречащих им желаний ученых и изобретателей. Такие противоречия принципиально неразрешимы независимо от затрачиваемых для их разрешения ресурсов (материальных, финансовых, информационных, интеллектуальных) и такая невозможность – истинная невозможность.

2. Наличие других известных науке «законов природы», которые считаются таковыми в рамках действующей научной парадигмы, но которые могут быть развиты, обобщены, изменены и даже отменены при появлении новой научной парадигмы¹⁵. Основой такой смены парадигмы может быть то или иное открытие в фундаментальной науке, что, как правило, по достоинству оценивается научной общественностью¹⁶. Но это касается фундаментальной науки. В технических науках, тем более на уровне кандидатской диссертации, вряд ли целесообразно «подрывать устои» действующей парадигмы. Обычно реализации технической идеи, противоречащей этим «законам», должна предшествовать смена научной парадигмы, формирование которой – уровень докторского (и не одного) исследования (и не только по техническим наукам). Такая невозможность, отражающая ограниченность действующей научной парадигмы, для кандидатской диссертации может быть отнесена к разряду условно истинных.

3. Непомерность (слишком высока) «платы» за достижение желаемых свойств. Это универсальная причина, ибо «платить» приходится всегда¹⁷. При этом применительно к «плате» целесообразно выделить два случая. Самый простой случай – когда «плата» выражается в финансовой стоимости затрачиваемых ресурсов¹⁸. То есть можно добиться желаемого улучшения

¹⁴ Речь идет, конечно, о том, как мы, люди, понимаем «законы природы» и что мы к ним относим.

¹⁵ Пример обобщения: механика Ньютона и теории относительности Эйнштейна.

¹⁶ Например, присвоением Нобелевских премий или присуждением по результатам защиты кандидатской диссертации докторской степени (Л. Ландау).

¹⁷ Как известно, все имеет свою цену в той или иной системе ценностей.

¹⁸ Основные природные ресурсы – пространство, энергия (вещество), время в социуме трансформировались в материальные ресурсы, информационные, интеллектуальные, трудовые и пр., которые для удобства их обмена, сопоставления, учета интегрально оцениваются в их денежном эквиваленте.

потребительских свойств технической системы и ясно как это сделать за счет выбора материалов, качества их обработки и подгонки, используемых при этом технологий и пр., но это будет стоить очень дорого и потому становится невыгодно («овчинка не стоит выделки»). Очевидно, что этот случай противоречия между желаемым повышением потребительских свойств технической системы и ограниченностью выделяемых для этого финансовых средств еще не является желаемым для диссертаций по техническим наукам противоречием. Идея «больше денег – лучше качество» слишком обща и очевидна и не имеет к науке явного отношения.

Да, в конечном итоге, финансовые затраты всегда надо учитывать. Не случайно очень часто цель диссертации, связанную с улучшением одного или нескольких потребительских свойств и формулируемую далее на ее основе научную задачу соискатели завершают указанием на наличие ограничений по стоимости ее достижения (решения), тем самым отменяя все случаи простого решения «в лоб» (когда оно возможно) – за счет неограниченности выделяемых ресурсов. Но формулировать противоречие в таком общем виде – в виде противопоставления «желаемые свойства системы – ограниченные финансовые ресурсы на их достижение» нельзя. Нужно углубляться далее, выявлять техническое противоречие.

Основной, соответствующий сущности наиболее правильного – технического – противоречия случай описывается ситуацией, когда за достижение желаемых значений одних важных потребительских свойств технической системы приходится «платить» вынужденным одновременным ухудшением других, часто не менее важных, свойств. То есть необходимые действия по улучшению одних свойств неизбежно ведут к ухудшению других: чтобы улучшить потребительское свойство «а» технической системы, нужно повысить значение ее параметра «h», однако это неизбежно ведет к ухудшению потребительского качества «в», снижение которого недопустимо. Такое противоречие есть случай наличия взаимоисключающих требований к одному и тому же объекту. Например, для повышения точности средства измерения физических величин желательно повышать его чувствительность, что требует уменьшения жесткости измерительной пружины (механической или электрической).

Однако это неизменно ведет к снижению собственной частоты первичного измерительного преобразователя и, как следствие, к снижению верхней границы амплитудного и частот-

ного диапазонов измерения средства измерения¹⁹. Такое противоречие есть чисто техническое противоречие, порождаемое физическим принципом действия измерительного прибора и практически не зависящее от используемых материалов, качества их обработки, финансовых вложений. Это самое трудное для разрешения, но и самое диссертабельное, самое лучшее (в случае нахождения пути его разрешения²⁰) для соискателя противоречие. Именно такое противоречие желательно обозначать и разрешать в диссертации. Конечно, и для этого случая обычно существует ограничение на стоимость используемых ресурсов, но, повторим, стоимость не играет основной роли, ибо суть противоречия – техническая (физическая).

Справедливости ради заметим, что и само по себе уменьшение затрат основных природных ресурсов (пространства, энергии-вещества, времени), выраженное в уменьшении габаритно-массовых характеристик, энергопотребления, повышении быстродействия уже имеет отношение к потребительским качествам технических объектов и может быть использовано в качестве желаемой цели.

А теперь обратимся к тому, как соискатели порой формулируют противоречие в своих диссертациях. Очень часто соискатели пытаются формулировать противоречие по такой схеме: «наличие потребности в чем-то – отсутствие этого чего-то». Так, например, ставя в качестве научной задачу разработку той или иной методики (научно-методического аппарата, моделей, алгоритмов и пр.), далее соискатели формулируют противоречие в виде: «нужна такая-то методика – нет этой методики». Очевидно, что констатация факта надобности в чем-то и отсутствия этого в данный момент времени должна иметь место в диссертации, ибо это начало движения к противоречию (если оно действительно существует), но также очевидно и то, что эта ситуация

¹⁹ Другие примеры: – резервирование как способ повышения надежности применительно к летательным аппаратам наталкивается на нежелательное возрастание габаритно-массовых характеристик; – требуемое для улучшения тех или иных характеристик усложнение конструкции, как правило, ведет к ухудшению ее надежности и росту энергопотребления.

²⁰ Для приведенного примера важная идея разрешения указанного противоречия «точность-диапазон» состоит в разделении во времени этапов измерения состояния чувствительного элемента первичного измерительного преобразователя и управления его состоянием, предложенная проф. В.Н. Умниковым и развитая в его трудах и трудах ученых созданной им научной школы.

описывает не противоречие, а всего лишь наличие потребности, состояние нужды²¹. Выявив это состояние нужды, далее надо показать, почему эта потребность не может быть удовлетворена с применением уже существующего в науке. И вот здесь-то и должно появиться противоречие, причем чаще всего противоречие техническое с физическими основаниями, применимое и для случая решения научной задачи и для случая изложения новых разработок. В частности, для вышеприведенного примера с методикой, потребность в которой наблюдается, противоречие, исключающее наличие в настоящее время такой методики, целесообразно связать с необходимостью решения соответствующей научной задачи и искать его (противоречие) в подходах (методах, моделях) решения этой задачи, предложив свой путь, это противоречие разрешающий и дающий возможность получить желаемую методику.

Заметим, что противоречие в технической системе может вскрываться и разрешаться не только на уровне ее применения по назначению, но и на уровне других этапов ее жизненного цикла: проектирование, производство, этапы эксплуатации (хранение, транспортировка и др.), утилизация.

Хорошим подспорьем для понимания путей разрешения противоречий может служить знакомство с давно существующими идеями Г.С. Альтшуллера, его АРИЗом (алгоритмом решения изобретательских задач) и ТРИЗом (теорией решения изобретательских задач), излагаемыми в ТРИЗе обобщениями противоречий и приемами по их разрешению (например, посредством вышеупомянутого разделения в пространстве и времени) [2].

По сути, в каждой диссертации по техническим наукам должна присутствовать в качестве основной или дополнительной та или иная изобретательская идея. Не случайно приветствуется наличие в списке трудов соискателя патентов на изобретения, которые Положением [1] приравниваются к публикациям в рецензируемых научных изданиях.

6. Центральная идея диссертации. Формулируется кратко (но емко) в виде утверждения, гипотезы по разрешению вышеуказанного противоречия. Идея должна указывать направление и главный механизм разрешения противоречия. Именно ее наличие является лучшим вариантом обеспечения и доказательства внутрен-

него единства работы²². Эта идея должна быть выражена таким образом, чтобы специалист, познакомившись с ней, смог бы увидеть ее оригинальность и способность такого разрешения. Наличие в самом начале пути работы над диссертацией такой идеи – лучший вариант, существенно экономящий силы соискателя.

Часто в качестве центральной идеи соискатели используют общую идею комплексирования (источников информации, используемых методов и др.). В наше время междисциплинарной интеграции, время «собираания камней» науки, такой подход вполне оправдан, но, конечно, в случае, если при его применении получается системный, сверхаддитивный, синергетический эффект.

7. Научная задача исследования. Вытекает из выявленного противоречия и применяемой для достижения поставленной цели центральной идеи работы. Требуется постановка в виде краткого и четкого изложения. Ее вербальная постановка часто представляет собой расширенный вариант темы диссертации. Для формализованной постановки научной задачи, которая обязательна для диссертации по техническим наукам, можно следуя рекомендации в [3], использовать классический «школьный» вариант: «дано» (приводятся исходные данные, ограничения) – «требуется» (указывается желаемый научный результат).

8. Задачи исследования. Это, как правило, 3-4 вытекающие из научной задачи и последовательно решающие ее взаимосвязанные подзадачи, сформулированные таким образом, чтобы их совокупность позволяла достичь цели диссертационного исследования. Обычно результаты решения этих подзадач и представляют собой выносимое автором на защиту.

9. Выносимые на защиту новые научные результаты и положения. В каждом диссертационном совете, как уже было сказано в начале статьи, есть свои традиции и свои рекомендации соискателям ученой степени кандидата технических наук по вопросу, что и как выносить на защиту. Где-то больше придерживаются «научных результатов» и в качестве таковых рекомендуют выносить на защиту методики, модели, алгоритмы (2-4 научных результата), где-то отдают предпочтение «научным положениям», причем соискатели формулируют их самым различным образом – от краткого предложения до расширенного абзаца по каждому положению с общим их количеством до 10-15. Что рекомендовать?

²¹ Герой известной комедии и то более корректно выражал противоречие между своими желаниями и возможностями.

²² Единство работе придает и связанная с центральной идеей цель, а также единый метод исследований.

Обратим внимание на союз «и» между результатами и положениями. Будем считать, что это неспроста и на защиту нужно представить как научные результаты, так и научные положения²³. Что же отнести к тем и другим и чем одно отличается (обязано отличаться, поскольку стоит союз «и» (!)) от другого?

Вряд ли для выявления отличия достаточно понимание научного результата как «продукта научной или научно-технической деятельности, содержащего новые знания или решения и зафиксированного на любом информационном носителе» [5]. Ведь и выдвигаемое на защиту научное положение, очевидно, есть тоже «продукт научной или научно-технической деятельности» и, думаем, тоже обязано содержать «новое знание». К тому же мы вряд ли ошибемся, если будем считать, что понятие «научный результат» вбирает в себя понятие «научное положение» как частный случай.

Учитывая, что из всех возможных трактовок понятие «положение» в рассматриваемом контексте его следует употреблять как «основное утверждение, тезис» [6], под выдвигаемыми на защиту «научными положениями» целесообразно понимать полученные в ходе диссертационного исследования четко и кратко сформулированные важные научные идеи работы, утверждения, выводы, рекомендации, предложения и пр. (начиная с центральной, разрешающей выявленное противоречие, идеи), справедливость которых доказывается в диссертации²⁴.

К научным же результатам следует относить (обычно так и делается) закон (закономерность), принцип, концепцию, теорию, методологию, научно-методический (математический, научный, методический) аппарат (анализа, оценки, синтеза, оптимизации, построения, прогнозирования, ...), метод, способ, методику, алгоритм, модель, теорему (лемму, аксиому), понятие, формулу.

В диссертациях по техническим наукам часто на защиту дополнительно выносят полученные на основе разработанных в диссертации теоретических положений защищенные патентами технические, технологические, организационные и иные решения, в том числе экспери-

ментальные установки и моделирующие программы, технологии, а также как подтверждающие теоретические положения диссертации, так и имеющие самостоятельную научную ценность результаты моделирования, проведенных экспериментальных исследований.

10. Применяемые методы исследования. Указываются используемые для решения научной задачи общие и специальные методы, применяемый математический аппарат. Учитывая, что метод – это инструмент, который использует соискатель в своей работе, то правильный выбор методов имеет большое значение. Следует ориентироваться на современные, но апробированные методы. Это указывает на желаемую квалификацию соискателя и позволяет получать новые и достоверные результаты.

11. Научная новизна и практическая значимость защищаемых результатов и положений. Наличие в диссертации научной новизны крайне важно, поскольку именно за научную новизну (заметим, мирового уровня), что отражает личный вклад автора в науку, диссертационный совет присуждает соискателю ученую степень.

Учитывая, что наука как область человеческой деятельности направлена на расширение и обобщение объективных знаний о действительности, то научную новизну характеризуют новые оригинальные и достоверные как теоретические, так и экспериментальные результаты²⁵. Чтобы подчеркнуть научную новизну, можно иногда использовать слово «впервые»²⁶.

При описании научной новизны каждого вынесенного на защиту научного результата (положения) необходимо последовательно описать:

- что получено – назвать новый результат;
- чем новый результат отличается от того, что уже было – перечислить основные отличительные признаки нового результата, при необходимости приведя для сравнения признаки наиболее близкого к полученному известного результата;
- что дает в научном плане появление этого нового результата – указать на открывающиеся новые возможности для науки при использовании этого нового результата (можно в сравнительном плане с известными результатами).

²³ Конечно, было бы правильно, если бы к Положению [1] его авторами были приложены комментарии-обоснования, разъяснения того, что написано и почему написано именно так. К сожалению, таких «авторских» разъяснений нет и читающим самим приходится толковать текст Положения, которое в любом случае надо исполнять.

²⁴ Конечно, эти идеи не должны быть тривиальными.

²⁵ То есть не только теория, но и новые, расширяющие наши знания о мире результаты эксперимента – это тоже вклад (и зачастую наиболее важный) в науку.

²⁶ Не злоупотребляя им (во-первых, нескромно, во-вторых, соискатель может просто чего-то не знать). Но и излишне скромничать тоже не стоит, ведь соискатель должен показать свой личный вклад в науку.

По сути, речь идет о своеобразной «формуле новизны»²⁷, которая составляется по аналогии с формулой изобретения и представляет его несколько расширенный вариант (во-первых, расширен перечень объектов по сравнению с используемыми в изобретениях способом и продуктом, во-вторых, кроме отличительных признаков результата в «формуле» указывается еще и эффект – что дает данный результат).

Обязательность же наличия практической значимости в диссертациях по техническим наукам вряд ли подлежит сомнению. О ее наличии свидетельствует присутствие в диссертации полученных автором научных результатов и положений, которые уже использованы при разработке перспективных или модернизации существующих технических систем (о чем имеются выданные этими организациями автору диссертации соответствующие акты с указанием достигнутого эффекта) или могут быть использованы при решении конкретных задач.

12. Достоверность защищаемых результатов и положений. Обеспечивается корректностью исходных данных и допущений, обоснованным выбором методов исследования, использованием фундаментальных законов и достижений современной науки, апробированного и в то же время современного математического аппарата, сравнением полученных результатов с результатами других исследователей, подтверждением теоретических результатов результатами моделирования (натурного, макетного, имитационного, математического), наличием патентов и др.

13. Доказательство соответствия диссертации выбранной научной специальности. Осуществляется посредством сопоставления темы, объекта и предмета исследования, а также выносимых на защиту научных результатов с формулой и конкретными пунктами паспорта специальности, в результате которого обосновывается их соответствие. В качестве рекомендации можно посоветовать соискателю при формулировке выносимого на защиту использовать слова и словосочетания из паспорта специальности.

14. Сведения об апробации результатов исследования. Приводятся сведения обо всех публичных выступлениях соискателя (на научных конференциях, семинарах, симпозиумах и пр.), где обсуждались выносимые им на защиту полученные научные результаты, об участии с полу-

ченными результатами в конкурсах, о включении результатов в отчеты о НИР, о наличии авторских свидетельств и патентов.

15. Сведения о публикациях результатов исследования в рецензируемых научных изданиях. Положение [1] требует для соискателя ученой степени кандидата технических наук наличия не менее двух публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации, в рецензируемых изданиях, входящих в Перечень ВАК. Это минимальные требования. Очевидно, что кроме этих двух публикаций у соискателя могут и должны быть публикации в изданиях, не входящих в Перечень ВАК: в сборниках материалов конференций, в периодических сборниках трудов организации и пр. Обычно диссертационные советы приветствуют наличие у соискателя не менее 10-11 трудов. Следует учитывать, что к публикациям в рецензируемых изданиях приравниваются патенты на изобретения и полезные модели. Обратим внимание также и на то, что все, что соискатель выносит на защиту, должно быть опубликовано в рецензируемых изданиях. Причем для опубликования надо выбирать не просто издания, входящие в Перечень ВАК, но издания специализированные, имеющие право публиковать материалы именно по той группе специальностей, в которую входит научная специальность соискателя.

16. Сведения о внедрении (реализации, использовании) защищаемых научных результатов и положений. Защищаемые научные результаты и отдельные, имеющие непосредственное отношение к практике, положения должны быть использованы (внедрены, реализованы) в организациях промышленности, проектно-конструкторских организациях, научно-исследовательских институтах и учебных заведениях, на испытательных полигонах и пр. (в перспективных планах, технических заданиях, тактико-технических требованиях, реальном производстве, в учебном процессе вуза и др.), о чем свидетельствуют выданные этими организациями акты о внедрении с указанием автора и темы диссертации, конкретного использованного результата, объекта, в котором использован результат, полученного или ожидаемого технического (наиболее желательный вариант), экономического или иного эффекта.

17. Структура (план) диссертации. Диссертация обычно содержит введение, несколько (обычно три-четыре) глав, заключение, список литературы и приложения (при необходимости). На наш взгляд, оправдан вариант, когда названия второй и последующих глав почти совпадают с выносимыми на защиту научными

²⁷ В рекомендациях Долгова В.И. речь идет о «формуле творческого вклада» [3].

результатами²⁸. В выводах по главам желательно подробно описать научную новизну полученных результатов, их практическую значимость, привести подтверждающие цифры.

Рекомендации по тому, что и как писать в этих структурных составляющих диссертации, а также в автореферате соискатель без труда в изобилии найдет в Интернете. Полезными могут быть в этом плане известные труды (например, [3, 7-19]), в которых подробно освещаются вопросы выбора темы диссертации, взаимодействия с научным руководителем, планирования и организации работы над диссертацией, работы с научной литературой, содержания разделов диссертации, проведения семинаров и подготовки к выступлению, написания статей, оформления диссертации, подготовки к защите и ее проведения, оформления аттестационных дел. Сущность и особенности системного подхода при проведении научных исследований изложены в [20].

Итак, готовность будущего соискателя к написанию диссертации определяется его пониманием вышеизложенного «тезауруса» и формированием первичного варианта его основных частей применительно к своему исследованию. Главное, чтобы соискатель понимал и мог описать конкретную проблемную ситуацию, не позволяющую сейчас получить желаемого в настоящее время (актуальность – нужность сейчас) улучшения потребительских свойств исследуемого объекта, и сформировать лежащее в основе этой проблемной ситуации противоречие. Чтобы у него было видение того, как это противоречие можно разрешить, была здравая оригинальная идея (предложенная им лично или совместно с научным руководителем), способная разрешить противоречие и достичь желаемой цели. И, наконец, чтобы была правильно поставлена научная задача и подзадачи. Если все это сделано и сделано качественно – то можно быть уверенным, работа над диссертацией будет успешной.

В заключение в качестве иллюстрации приведем наборы основных формальных признаков из двух реальных диссертаций, защищенных в диссертационном совете Института инженерной физики, предлагая читателям самим определить степень их соответствия вышеизложенному.

²⁸ Почти, поскольку первые слова в названиях глав, параграфов должны отражать действия соискателя (разработка, обоснование, анализ, синтез и др.). Например, если на защиту выносятся «Методика ...», то соответствующая глава может называться так: «Разработка методики ...».

1. Тема: «МЕТОДИЧЕСКОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОГРУЖНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ». Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и промышленности). Год защиты – 2012.

Объект исследования – промышленные погружные центробежные насосы (ППЦН).

Предмет исследования – методическое и алгоритмическое обеспечение системного анализа гидродинамических процессов и прогнозирования рабочих характеристик ППЦН.

Цель исследования – повышение точности и оперативности анализа гидродинамических процессов и прогнозирования рабочих характеристик ППЦН.

Научная задача состоит в разработке методик и алгоритмов, позволяющих выполнять высокоточный трехмерный анализ гидравлических турбулентных процессов и осуществлять прогнозирование рабочих характеристик ППЦН с минимальными временными затратами.

Основные результаты исследования, выносимые на защиту:

Методика анализа гидродинамических процессов и прогнозирования рабочих характеристик ППЦН в трехмерной постановке с учетом границ применимости замыкающих соотношений для уравнений Рейнольдса;

Алгоритм автоматизированного построения трехмерной разностной сетки проточного тракта ППЦН с учетом его конструктивных особенностей на основе гексаэдрических элементов;

Методика оценки влияния шероховатостей внутренних поверхностей ППЦН и наличия второстепенных полостей на рабочие характеристики ППЦН.

Достоверность результатов исследования, полученных в диссертационной работе, подтверждается обоснованным и корректным применением верифицированного математического аппарата, сопоставлением теоретических результатов с экспериментальными данными, приведенными в технической литературе, успешным использованием предложенных методик при разработке новых конструкций ППЦН, защищенных патентом на полезную модель.

Научная новизна результатов диссертационного исследования:

Разработана методика анализа гидродинамических процессов и прогнозирования рабочих характеристик ППЦН. В отличие от существующих подходов, основанных на допущении

ях о бесконечном числе лопаток или использовании уравнений Эйлера, не учитывающих вязкость жидкости, а также рассматривающих единую конструкцию в виде отдельных элементов без учета взаимного влияния, разработанная методика рассматривает ППЦН в полной трехмерной постановке с учетом реальной геометрии проточного тракта, взаимного влияния элементов, а также имеющихся неоднородностей потока разной природы.

В рамках методики предложено и обосновано использование трех типов замыкающих соотношений для уравнений Рейнольдса в зависимости от требуемой точности и глубины анализа конструкции, а именно, линейно двухпараметрической модели $k-\epsilon$ для определения интегральных рабочих характеристик ППЦН и анизотропных моделей турбулентности для детального анализа отрывных зон.

На основе многоблочного метода разработан алгоритм автоматизированного построения трехмерных разностных сеток проточного тракта ППЦН, используя его предопределенную топологию. В отличие от существующих подходов, использующих для автоматической дискретизации расчетных областей тетраэдрические элементы или элементы на их основе (полиэлементы), предложенный алгоритм обеспечивает использование исключительно гексаэдрических элементов, обладающих меньшей численной диффузией и обеспечивающих меньшее количество расчетных элементов при той же разрешающей способности. Алгоритм разработан в двух вариантах: построение по существующей твердотельной модели и по заданному множеству точек, с использованием триангуляции Делоне и диаграммы Вороного.

Разработана методика оценки влияния величины шероховатости внутренних поверхностей отдельных элементов и наличия второстепенных полостей на рабочие характеристики ППЦН. В отличие от существующей практики, когда шероховатость учитывается введением осредненных по тракту эмпирических коэффициентов, данная методика позволяет с высокой точностью определять локальное влияние качества обработки поверхности на рабочие характеристики с учетом трехмерной картины течения и локальных свойств потока. Получаемые в рамках методики результаты обеспечивают возможность технологической оптимизации конструкций ППЦН, формулируя требования к качеству механической обработки отдельных элементов.

Методика также позволяет выполнять совместный анализ гидродинамических процессов в основном тракте ППЦН и во второстепенных

полостях (в известных подходах полости рассматриваются либо отдельно от основного тракта, либо посредством введения эмпирических коэффициентов, требующих тщательной подстройки для каждого случая). Это позволяет точно учитывать объемные и гидравлические потери, приходящиеся на второстепенные полости за счет реальных, а не равномерно распределенных параметров течения на входе и выходе.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в том, что разработанные методики и алгоритмы позволяют выполнять высокоточный системный анализ конструкций различных типов ППЦН, учитывая совокупность влияния различных факторов, таких как: второстепенные тракты течения, качество обработки деталей, образование и влияние вторичных течений и вихревых структур и т.п. и на этой основе осуществление высокоточного прогнозирования их рабочих характеристик без проведения натурных экспериментов, обеспечивая при этом величину погрешности результатов не более 15% (относительно экспериментальных данных) во всем диапазоне эксплуатационных расходов ППЦН, а в точке максимального КПД – не более 3%.

Широко используемые в настоящее время методы анализа, основанные на невязких моделях течения и допущениях о бесконечном числе лопаток, даже с учетом поправок на внутренние перетечки и трение, позволяют получить приемлемые результаты (погрешность около $15 \div 18\%$) только в окрестностях точки максимального КПД, в то время как на границах эксплуатационного диапазона расходов погрешность составляет около 30% (см. работы Еша Б. и Крюйт Н.). Особая практическая ценность исследования заключается в создании алгоритма автоматизированного построения трехмерной разностной сетки, который позволяет в 10-15 раз уменьшить временные затраты на построение модели с сохранением высокой точности моделирования (в том числе за счет исключения пользовательской ошибки). А также в возможности совместного учета влияния на параметры ППЦН мелкомасштабных факторов, таких как шероховатость поверхностей проточного тракта и второстепенные полости, варьируя их размеры.

2. Тема «МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КЛЮЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ МОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ НА БАЗЕ ДИСКРЕТНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ КЛАССА «КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ». Специальность: 05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность. Год защиты – 2013.

Объектом исследования являются беспроводные мобильные сети.

Предметом исследования выступают методы формирования ключевой информации в беспроводных мобильных сетях.

Целью исследования является повышение вероятности идентификации ключевой информации объектов беспроводной мобильной сети в любой момент времени.

Научная задача исследования – разработка методического обеспечения построения алгоритмов формирования ключевой информации в беспроводных мобильных сетях на базе дискретных отображений класса «клеточные автоматы», обеспечивающих повышение вероятности идентификации ключевой информации объектов беспроводной мобильной сети в любой момент времени.

Методы исследования. Основные результаты диссертационной работы получены с использованием положений теории вероятностей, исследования операций, методов имитационного моделирования, статистического анализа данных, а также методов объектно-ориентированного анализа, проектирования и программирования.

Результаты, выносимые на защиту:

- модифицированная модель дискретных отображений класса «клеточные автоматы» для преобразования информации;

- алгоритм формирования ключевой информации в беспроводных мобильных сетях на основе модифицированной процедуры обновления ключа.

Научная новизна работы обусловлена:

- модификацией моделей дискретных отображений класса «клеточные автоматы» за счет применения функции селектирования правил смены внутреннего состояния решетки клеточного автомата;

- разработанным алгоритмом формирования ключевой информации, обеспечивающим повышение вероятности идентификации ключевой информации объектов беспроводной мобильной сети в любой момент времени.

Практическая значимость диссертационных исследований обусловлена преимуществами предложенных решений над существующими аналогами в части повышения вероятности идентификации ключевой информации объектов беспроводной мобильной сети в любой момент времени.

Разработанный алгоритм формирования КИ, обеспечивает повышение вероятности идентификации КИ по сравнению с традиционными схемами, использующими ЦУК, в 2-3 раза, при сопоставимой с данными схемами вероятности компрометации.

Полученные результаты могут быть использованы в информационных системах, построенных на базе БМС, в которых циркулирует конфиденциальная информация. Внедрение полученных результатов позволит увеличить устойчивость функционирования самой сети и защищенность таких информационных систем за счет постоянного обновления ключевой информации, служащей для аутентификации абонентов сети или шифрования передаваемых по сети данных.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней».
2. Сайт Генриха Сауловича Альтшуллера. // <http://www.altshuller.ru>.
3. Научная школа профессора Долгова А.И. // <http://gaug.org/06/dolgov.htm>
4. Диалектическое противоречие. М.: Политиздат, 1979. 343 с. // <http://pandia.ru/text/80/042/2818.php>.
5. Федеральный закон от 23 августа 1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».
6. Толковый словарь русского языка // Под редакцией Д. В. Дмитриева. М.: ООО «Изд-во Астрель»; ООО «Изд-во АСТ», 2003. 1582 с.
7. Андреев Г.И., Смирнов С.А., Тихомиров В.А. В помощь написания диссертации и рефератов: основы научной работы и оформление результатов научной деятельности: Учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2004. 272 с.
8. Батько Б.М. Соискателю ученой степени. Практические рекомендации (от диссертации до аттестационного дела). М.: СИП РИА, 2002. 288 с.
9. Волков Ю.Г. Диссертация. Подготовка, защита, оформление. Практическое пособие. М.: Альфа-М, Инфра-М, 2009. 176 с.
10. Захаров А.А., Захарова Т.Г. Как написать и защитить диссертацию. СПб.: Питер, 2003. 157 с.
11. Кориков А.М., Мицель А.А. Диссертация и ученая степень: Методическое пособие для соискателей. Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2007. 165 с.
12. Кузин Ф.А. Диссертация: Методика написания. Правила оформления. Порядок защиты. Практическое пособие для докторантов, аспирантов и магистрантов. М.: «Ось-89», 2000. 320 с.
13. Марьянович А.Т., Князькин И.В. Диссертация: инструкция по подготовке и защите. М.: АСТ, 2009. 231 с.
14. Мусаев А.А. Библия для адъюнктов и соискателей. Как подготовить и защитить кандидатскую диссертацию: методическое пособие. СПб.: ВАС, 1998. 254 с.
15. Надеждин Е.Н., Семушкина Н.Н. Методология разработки кандидатской диссертации по техническим наукам: учебно-методическое пособие. Москва: ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика», 2015. 164 с.
16. Новиков А.М. Как работать над диссертацией: Пособие для начинающего педагога-исследователя. М.: Издательство «Эгвес», 2003. 104 с.
17. Райсберг Б.А. Диссертация и ученая степень: Пособие для соискателей. М.: Инфра-М, 2008. 480 с.
18. Резник С. Д. Как защитить свою диссертацию. М.: Инфра-М, 2016. 320 с.
19. Рыжиков Ю.И. Работа над диссертацией по техническим наукам. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 496 с.
20. Бугаков И.А. Системный подход как методология научного познания // Известия Института инженерной физики, 2008. №3(9). С. 80-87.

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 378.126

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СТАНДАРТА «ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ» И КОМПЕТЕНТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ПЕДАГОГОВ COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PROFESSIONAL STANDARD «TEACHER OF HIGHER EDUCATION» AND COMPETENCY-BASED MODELS OF TEACHERS

Игорь Анатольевич Обычный

начальник офицерских курсов
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, д. 17
Тел. +7(4967)78-97-32

Аннотация

В статье проводится анализ профессионального стандарта «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования», раскрывается его содержание и выделяется тот факт, что в нем описаны не все трудовые функции (основные виды деятельности), которые регламентируют реализацию образовательных программ, а так же тот факт, что в каждой из обобщенных трудовых функций в описании трудовых функций не хватает строгой логики, то есть логики структурирования обобщенных трудовых функций.

Ключевые слова: профессиональный стандарт, профстандарт преподавателя, компетентностная модель, профессиональная деятельность, квалификация, трудовые функции.

Summary

The article analyses the professional standard “a Teacher of professional training, professional education and additional professional education”, reveals its content and is highlighted by the fact that it describes not all labor functions (principal activities) that reglamentary the implementation of educational programs, as well as the fact that each of the generalized labour functions in the description of job functions is not enough strict logic, i.e., logic structuring of generalized job functions.

Key words: professional standard, professional standards for teacher, competence model, professional activity, qualification, employment function.

Ведущую роль в преобразовании высшей военной школы играют кадры высшей квалификации, подготовка которых осуществляется по дополнительным профессиональным программам. Происходящие изменения в системе ВПО и ДПО потребовали внесения определенных корректур в организацию, содержание и мето-

дику подготовки кадров высшей квалификации. На повестку дня встала задача разработки новых компетентностно-ориентированных образовательных программ для их подготовки на основе профессионального стандарта.

Профессиональный стандарт характеризует квалификацию, необходимую работнику для осу-

ществления определенного вида профессиональной деятельности. А у любой человеческой деятельности есть цель управления, связанная с достижением желаемого состояния объекта управления. В военной образовательной организации высшего образования объектом управления является обучающийся. Однако вид профессиональной деятельности преподавателя не ограничивается только учебной деятельностью, о чем свидетельствуют трудовые функции профессора, доцента, старшего преподавателя, преподавателя.

При анализе профессионального стандарта очевидно, что в каждой из обобщенных трудовых функций в описании трудовых функций не хватает строгой логики, то есть, логики структурирования обобщенных трудовых функций.

Поскольку определения понятия обобщенной трудовой функции нет, то, можно утверждать, что преподавание по программам высшего образования разных уровней, взятое в качестве обобщенной трудовой функции, так как, по мнению авторов проекта, позволяет им обозначить уровни должностных лиц, якобы реализующих эти программы, является не совсем корректным. Профессор может участвовать в реализации программ бакалавриата, доцент или старший преподаватель – программ аспирантуры.

А вот просто преподавание в самом общем плане как обобщенная трудовая функция любого должностного лица имеет право на существование, так как предполагает весь спектр видов деятельности, регламентирующих преподавание по любой образовательной программе, включая (формулировки трудовых функций взяты из Профстандарта, а в скобках курсивом показана наша интерпретация этих функций):

- разработку научно-методического обеспечения реализации программ (*разработку основных образовательных программ*);

- преподавание учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей) по программам (*проведение всех видов занятий*);

- руководство группой специалистов, участвующих в реализации образовательных программ; разработка под руководством специалиста более высокой квалификации учебно-методического обеспечения реализации учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей) или отдельных видов учебных занятий (*учебно-методическая работа*);

- профессиональную поддержку специалистов, участвующих в реализации курируемых учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), организации исследовательской, проектной и иной деятельности обучающихся по программам (*взаимное посещение занятий и взаимная методическая учеба*);

- проведение профориентационных мероприятий со школьниками, педагогическая поддержка профессионального самоопределения обучающихся по программам (*профориентационная и агитационная деятельность*);

- организационно-педагогическое сопровождение группы обучающихся непереносимая функция ППС (и не только кураторов) в образовательной организации высшего образования (*воспитательная работа*).

Однако в Профстандарте описаны не все трудовые функции (основные виды деятельности), которые регламентируют реализацию образовательных программ. Более полно раскрывают обобщенную трудовую функцию «преподавание» по любой ООП следующие виды деятельности:

- учебная деятельность, которая включает в себя **разработку образовательных программ, и проведение всех видов занятий и мероприятий учебного плана;**

- обеспечивающие качество всех элементов учебного процесса:

- **учебно-методическая работа и совершенствование учебно-материальной базы;**

- **научно-методическая деятельность;**

- **организационно-педагогическое сопровождение групп обучающихся;**

- **повышение квалификации ППС и подготовка НПК;**

- **довузовская работа, включая профориентацию;**

- **повышение имиджа вуза;**

- **работа с работодателями с целью корректировки образовательных программ.**

Причем каждый преподаватель (преподаватель, старший преподаватель, доцент, профессор) имеет отношение к перечисленным трудовым функциям (видам деятельности), вот только уровень обученности (от ознакомления до навыков и компетенций) у них определяется уровнем должностного лица ППС. В свою очередь, уровень должностных лиц обуславливается объемом трудовых функций управленческого характера (управление учебной, методической, научной работой, подготовкой НПК).

То есть каждая трудовая функция (вид деятельности) структурируется на управленческие этапы:

- уяснение задач вида деятельности и планирование;

- организация работ по выполнению плана;

- мониторинг деятельности;

- анализ информации о состоянии выполнения плана и выработка корректирующих организационно-методических указаний;

● подведение итогов выполнения обобщенной трудовой функции и постановка задач на очередной плановый период.

На наш взгляд, трудовые функции ППС, участвующих в реализации ООП высшего образования и образовательных программ ДПО, целесообразно начать рассматривать последовательно с преподавателя, старшего преподавателя, доцента, профессора, так как эти должности предполагают последовательное повышение требований к научной и методической квалификации должностного лица. Причем каждая последующая должность приобретает управленческие полномочия (по управлению научной, методической деятельностью на кафедре и подготовкой кадров) Время, необходимое для выполнения функций руководства методической и научной работой берется из бюджета времени учебной работы. Каждое последующее должностное лицо должно по познавательному (в Профстандарте это необходимые знания) и деятельностному (в Профстандарте это необходимые умения) аспектам автоматически выполнять функции нижестоящего должностного лица. Тогда сразу видно, по каким дополнительным функциям последующее должностное лицо отличается от предыдущего, то есть за счет чего у него выше квалификация.

В таком виде, как представлено в Профстандарте, очень много трудовых функций не показано, либо их формулировка терминологически отличается от традиционно известных преподавателю функций.

Преподаватель любой категории (общее образование, дополнительное образование, профессиональное обучение, среднее профессиональное образование, высшее образование, до-

полнительное профессиональное образование), а также и любой квалификации (преподаватель, старший преподаватель, доцент, профессор), просматривая создаваемый профессиональный стандарт должен увидеть модель идеальной профессиональной деятельности его, как преподавателя данной категории и данной квалификации. А сейчас из Профстандарта пока слабо идентифицируются квалификации преподавателей (например, в таких формулировках как заниматься чем-то одному или под присмотром опытного наставника, с трудом узнаются управленческие функции одного и исполнительские другого).

Литература

1. Федеральный закон от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» // «Российская газета» – Федеральный выпуск, №5976. 31.12.2012.
2. Профессиональный стандарт «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования», утвержден Приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 8 сентября 2015 года № 608н.
3. Федеральный закон от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» // «Российская газета» – Федеральный выпуск №5976. 31.12.2012.
4. Утробин Г.Ф. Управленческая доминанта – приоритет в модернизации российского образования // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Вып. 7 / РАН ИНИОН. Отдел научного сотрудничества и международных связей. Отв. ред. Ю.С. Пивоваров. М. 2012. Ч. 2. С. 250-254.
5. Утробин Г.Ф. Системные проблемы военного образования // Научно-практическая конференция, посвященная 20-летию образования ГД ФС РФ. Москва, 16 мая 2013 г. «Развитие российского военного законодательства на современном этапе (итоги, проблемы, перспективы)». Программа НПК, 2013. 8 с.

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СРЕДСТВА РАДИОСВЯЗИ В ИНСТИТУТЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Переход к каждому новому поколению систем связи позволял передавать все больше полезной информации: так, если в 80-х годах прошлого столетия скорость передачи данных мобильных абонентов не превышала 10 кбит/сек, в 90-х годах скорость возросла на порядок – до сотен кбит/сек, в новом тысячелетии скорость возросла уже до единиц и десятков Мбит/сек, а затем и до единиц Гбит/сек. На сегодняшний день стала возможной организация прямых видеоконференций со многим количеством участников, разбросанных по всему миру; передача больших объемов видео-, аудио и текстовой информации за считанные секунды любому жителю планеты. Основой такого технического прорыва в сфере коммуникаций стала цифровая связь.

Цифровые системы связи являются основой современных систем связи и подвижных систем связи (систем мобильной связи) в частности. Передача информационных сообщений в цифровой (дискретной) форме имеет ряд особенностей по сравнению с передачей в аналоговой (непрерывной) форме. Использование цифровой обработки сигналов (ЦОС, DSP — англ. digital signal processing) при передаче сообщений дает возможность уйти от аппаратных погрешностей элементов. Обработка сообщений на передающей и приемной сторонах системы связи фактически превращается в математически строго определенную вычислительную процедуру, что позволяет создавать блоки цифровой обработки с абсолютно идентичными параметрами. Последнее привело к появлению нового направления в системах связи – программно-определяемых радиосистем (англ. Software-defined radio, SDR), архитектура которых может полностью определяться на программном уровне и соответственно программно адаптироваться в процессе работы устройства для более эффективного использования спектрального и энергетического ресурса канала связи при постоянно изменяющихся условиях распространения сигнала в канале. Таким образом, принципиально новые методы цифровой обработки сигналов позволяют создавать устройства с уникальными харак-

теристиками, недоступными для методов аналоговой обработки сигналов. В результате применения чего становится возможной регенерация (восстановление) передаваемой информации, искаженной помехами при передаче по каналу связи.

В настоящее время в МОУ «ИИФ» проводятся научные исследования и опытное проектирование с применения технологии DSP-SDR для радиосистем различного назначения, в том числе функционирующих в условиях большой неопределенности информации о параметрах принимаемых сигналов и существенной нестационарности линий связи. При этом получены следующие научные результаты:

- разработан цифровой измерительный широкополосный SDR-приемник, реализующий регистрацию радиосигналов, обладающий высокой чувствительностью, необходимой для выявления отличительных особенностей и характеристик принимаемых сигналов;
- разработан метод выявления индивидуальных признаков средств радиосвязи заданных стандартов, на основе спектрального слежка излучаемых сигналов, а также девиации частотных характеристик;
- разработана система идентификации средств радиосвязи заданных стандартов посредством процедур интеллектуального анализа данных и алгоритмов нейросетевого обучения;
- ведутся разработки алгоритмов автоматического определения и распознавания параметров сигналов на физическом (виды модуляции и их характеристики) и канальном уровнях (вид и параметры помехоустойчивого кодирования);
- проводятся исследования и разработка адаптивных цифровых внутриполосовых фильтров, основанных на сингулярном разложении сигнала в негармоническом базисе линейных многообразий.

С.Н. Шиманов,
доктор технических наук, профессор
В.А. Прасолов,
кандидат технических наук

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ОХРАННЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ СЕРИИ «TRAVERS»

Инновационная линейка охранных извещателей нового поколения серии «TRAVERS» с улучшенными техническими характеристиками для защиты периметра впервые были продемонстрированы на выставке «Комплексная безопасность» в мае 2015 года, а на XIX международной выставке средств обеспечения безопасности государства INTERPOLITEХ приборы были удостоены золотой медали «Гарантия качества и безопасности».

В 2016 году охранные извещатели активно проходили и проходят полигонные и исследовательские испытания на полигонах МО РФ, ФСБ РФ и ФСИН РФ. В ходе полигонных и исследовательских испытаний приборы полностью подтвердили технические характеристики, определенные техническими условиями и руководством по эксплуатации.

Основные технические характеристики охранных извещателей:

1. Вероятность обнаружения нарушителя не менее 0,95.
2. Повышенная помехозащищенность за счет дифференциальной обработки входных сигналов.
3. Обработка сигнала производится в двух, характерных для воздействий человека, диапазонах частот (инфра низкочастотном и акустическом).
4. Возможность адаптации к различным типам заграждений.
5. Диапазон перестройки по частоте не менее 20 dB (в 10 раз).
6. Для более удобной настройки НЧ и ВЧ каналов предусмотрен разъем для подключения осциллографа либо НЧ анализатора спектра.
7. Предусмотрен режим «запрета на тревогу» по одиночному воздействию.
8. Питание всех охранных извещателей серии осуществляется от нестабилизированного источника постоянного тока $8 \div 30$ В при токе потребления в дежурном режиме не более 7 мА.
9. Имеется защита от переплюсовки, а также от случайного проникновения на клеммы питания переменного напряжения 220/380В, 50Гц.
10. Приборы оборудованы внутренней грозозащитой, исполнены по IP65,

способны работать при температуре от -50 до $+70$ °С, на открытом пространстве вне участкового шкафа, имеют вентиляционный клапан, исключающий отпотевание внутри корпуса.

11. Извещатели оборудованы традиционными системами сигнализации вскрытия корпуса, дистанционного контроля работоспособности, а также имеют релейный выход типа «сухой контакт», повышенной мощности (60В, 150мА).

12. Нарботка на отказ составляет не менее 60000 часов.

13. Нарботка на «ложное срабатывание» не менее 90 суток.

14. Жизненный цикл изделий составляет не менее 10 лет, при сроке гарантии 3 года (с военной приемкой 7 лет). Эксплуатационные расходы за время жизненного цикла практически равны нулю.

Один раз правильно настроенный прибор не требует постоянной подстройки, не выводится из строя дистанционно по команде оператора.

Приборы сертифицированы по техническим регламентам таможенного союза, сертификат соответствия №ТС RU C-RU.ME67.B.00128, Серия RU №0106654, действителен по 01.09.2020 года.

За счет дифференциальной схемы включения удалось в большой степени решить вопросы помехоустойчивости и помехозащищенности. Приборы могут применяться для охраны периметра, на различных типах заграждений, как на уже имеющихся инженерных заграждениях, так и в составе вновь возводимых сигнализационных заграждений.

При проведении полигонных испытаний приборы испытывались на заграждениях: «Техна» (производитель – ООО «Торговый дом Техна», Москва), 3д и 2д заграждениях (производитель – компания «Fensis»), Махаон–стандарт–



МП (МС) (производитель – ЗАО «ЦеСИС НИ-КИРЭТ»), а также на сетчатом заграждении из сетки ССЦП, при высотах заграждений от 2,5 до 5,5 метров.

В качестве датчиков использовался распределенный чувствительный элемент – кабель типа «ТППЭп», производства Кольчугинского кабельного завода (Владимирская область).

Испытывалась вся линейка охранных извещателей: однорубежный – «TRAVERS-111» (защита только полотна заграждения, либо козырька заграждения), двухрубежный – «TRAVERS-121» (защита полотна и козырька заграждения от перелазы, разрушения), трехрубежный – «TRAVERS-131» (защита полотна, козырька заграждения и от подкопа). Все рубежи охраны с индивидуальной независимой настройкой, как по чувствительности так и по частоте, с энергонезависимой памятью. После временного пропадания питания все настройки сохраняются.

Все извещатели серии «TRAVERS» могут использоваться для охраны упомянутых независимых рубежей одной зоны в двух вариантах конфигурирования входных шлейфов, а именно:

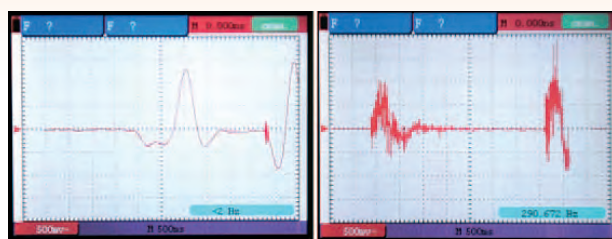
- дифференциальном (помехозащищенный режим), когда пара разнесенных по высоте либо по ширине шлейфов каждого из входов направлены в одну сторону. Синфазные шумы частично взаимоуничтожаются и длина зоны при этом варианте конфигурирования может составлять до 500 метров;

- традиционном (помехонезащищенный режим), когда пара шлейфов каждого из входов (рубежей) направлена в разные стороны, так называемое двулучевое включение. При такой конфигурации из-за достаточно некомпенсированных шумов общая длина лучей в зоне снижается в полтора – два раза.

Встроенная в прибор система селекции сигнала позволяет адаптировать приборы к различным типам заграждений, то есть выделить резонансную частоту самого заграждения при которой в случае ветровой нагрузки формируется основная группа «ложных тревог» и уйти от нее при настройках работоспособности. Выделение резонансной частоты проводится как с помощью осциллографа, так с помощью обыкновенных наушников с усилением по максимальным звуковым сигналам при сканировании частотного диапазона извещателя.

Встроенная система «накопления» сигнала «Тревоги» позволяет отстроиться от случайной разовой помехи.

Большой диапазон регулировок чувствительности как по инфра низкочастотному диапазо-



ну, так и по акустическому диапазону позволяет настроить прибор на любом заграждении, то есть найти разумный компромисс между обнаружительной способностью и помехозащищенностью.

Правильно настроенный на конкретный тип заграждений прибор работает корректно, без выдачи «ложных тревог». Как пример: установленный на сварном заграждении МОУ «ИИФ» охранный извещатель с длиной зоны охраны 183 метра с 16 февраля 2016 года по настоящее время не выдает ложных тревог, фиксирует любые попытки воздействий на охраняемую территорию.

Выводы из практики применения приборов и проведения полигонных испытаний:

1. Охранные извещатели серии «TRAVERS» полностью подтверждают свои технические характеристики, определенные техническими условиями.

2. Реализованный в приборах метод дифференциальной обработки сигналов с чувствительных элементов позволил существенно повысить помехозащищенность и помехоустойчивость охранных извещателей к повышенной помеховой обстановке, создаваемой на периметрах объектов.

3. Широкий диапазон настроек по чувствительности в инфра низкочастотном и акустическом диапазонах и возможность селекции частот самих заграждений позволяют адаптировать охранные извещатели серии «TRAVERS» на различных видах инженерных заграждений.

Помимо производства и поставки приборов по требованию заказчиков МОУ «ИИФ» предоставляет и комплекс услуг:

- Обследование объектов.
- Проведение анализа уязвимости объектов, оценка эффективности систем безопасности.
- Оснащение объектов системами безопасности.
- Гарантийное и послегарантийное обслуживание.
- Обучение персонала.
- Комплексная поставка оборудования.
- Монтажные и шеф-монтажные работы.

В.П. Горковенко,

начальник отдела маркетинга и системного анализа МОУ «Институт инженерной физики»



AUTHORS

Oleg N. Andruh. Cand.Tech.Sci., docent. General director deputy. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Sergey V. Antonov. Cand.Tech.Sci., docent. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Boris F. Bezrodny. Dr.Sci.Tech, professor. Chief engineer. Design and design-technology bureau of railway automatic equipment and telemechanics. The Russian railways branch – PKTB TsSh. Moscow, Perevedenovsky I., 3/13, building 5.

Eugeny V. Boroday. Engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Igor A. Bugakov. Dr.Sci.Tech., professor. Honoured devisor of Russia. Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Artem C. Bukin. Cand.Tech.Sci., docent. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Andrey S. Butranov. Senior scientist. Branch of the Military academy of the Strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Victor P. Dunilin. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Boris G. Eriomin. Cand.Tech.Sci., docent. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Irina O. Glotova. Student. Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow, Bolshaya Semionovskaya st., 38.

Victor P. Gorkovenko. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Gennadiy A. Gordeyev. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Igor V. Grudin. Doctor of military sciences, professor. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Konstantin I. Gvozd. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Konstantin V. Karpochkin. Cand.Tech.Sci., senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Alexander A. Koval'skiy. Senior scientist. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Roman N. Khrustaliyov. Cand.Tech.Sci., docent. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Nikolay S. Kukin. Cand.Tech.Sci. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Andrey V. Luchin. Cand.Tech.Sci. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Sergey A. Lychagov. Cand.Tech.Sci. Head of department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Sergey V. Martynov. Cand.Tech.Sci., docent. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Alexander A. Maslikov. Candidate of physical and mathematical sciences. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Sergey A. Mayorov. Research scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Vladimir I. Mukhin. Honoured scientist of Russia, Doctor of military sciences, professor. Civil Defence Academy, EMERCOM of Russia. Moscow reg., Khimki, Novogorsk.

Anna R. Muradova. Student. Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow, Bolshaya Semionovskaya st., 38.

Vladimir V. Nikitenko. Research scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Andrey K. Nikitin. Software engenieer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarly I., 1a.

Igor A. Obynochny. Chief officer courses. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Vladimir Y. Pal'gunov. Deputy head of educational and methodical department. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.



AUTHORS

Denis N. Pecherskiy. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Mikhail I. Piatov. Postgraduate student. Junior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Alexey G. Popov. Cand.Tech.Sci., senior scientist. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Victor A. Prasolov. Cand.Tech.Sci. Chief of department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Anatoly V. Rybakov. Dr.Sci.Tech., docent. Head of laboratory. Civil Defence Academy, EMERCOM of Russia. Moscow reg., Khimki, Novogorsk.

Sergey A. Savochkin. Head of research testing laboratory. Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow reg., Bronnitsy, Krasnaya st., 85.

Sergey N. Shimanov. Dr.Sci.Tech., professor. Deputy of general director. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Alexander S. Shulakov. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Dmitriy V. Smirnov. Dr.Sci.Tech., associate professor. General director – First Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Elena V. Sobakina. Postgraduate student. Lecturer. Moscow Technological University (MIREA). Moscow, Vernadsky av., 78.

Sergey V. Stepanov. Cand.Tech.Sci. The Branch of the military academy of the strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Eugeni A. Stroganov. Cand.Tech.Sci. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Sergey V. Surovikin. Cand.Tech.Sci. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Anastasia V. Sytova. Research scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Vasiliy Y. Toiskin. Cand.Tech.Sci. Lecturer. The Branch of the military academy of the strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Alexey N. Tzar'kov. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Vladimir A. Tsimbal. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. Head scientist at Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Kirill Y. Tsvetkov. Dr.Sci.Tech., professor. Head of department. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Dmitriy R. Utkin. Adjunct. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Ruslan R. Vil'danov. Civil Defence Academy, EMERCOM of Russia. Moscow reg., Khimki, Novogorsk.

Gennadiy G. Volkov. Doctor of physical and mathematical sciences, professor. Leading researcher. Petersburg nuclear physics institute name of B.P. Konstantinov. Leningrad reg., Gatchina, Orlova Roscha.

Dmitriy G. Voronov. Docent. Moscow Technological University (MIREA). Moscow, Vernadsky av., 78.

Eugeni A. Yariomenko. Research scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются статьи на русском языке. Рекомендуемый объем статьи – 0,2–0,4 п.л. (8000–16000 знаков).

Тексты должны быть представлены:

○ в электронном виде (Word 2003). Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!

○ на бумажном носителе формата А4.

Текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

Простые символы и формулы не набирать в математическом редакторе!

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:

○ рубрика журнала (см. Приложение 1);

○ УДК;

○ название статьи с переводом на английский язык;

○ имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (Литература) размещается в конце статьи.

После литературы помещаются:

○ список ключевых слов, краткая аннотация (на русском и английском языках).

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):

○ ФИО;

○ ученая степень, ученое звание, должность и место работы с переводом на английский язык;

○ адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

Обращаем особое внимание на:

○ точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);

○ выверенность статьи в компьютерном наборе;

○ полное соответствие файла на электронном носителе (диске, дискете) и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

Приложение 1

РУБРИКАЦИЯ ЖУРНАЛА «Известия Института инженерной физики»

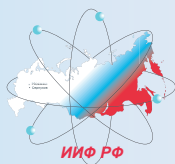
Постоянные рубрики

- **Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы.**
- **Радиотехника и связь.**
- **Информатика, вычислительная техника и управление.**

Разовые рубрики

- **Техника специального назначения.**
- **Инновационные проекты.**
- **Техническое регулирование.**
- **Профессиональное образование.**
- **Искусственный интеллект и робототехника.**
- **Медицина и фармацевтика.**
- **Диагностические системы.**
- **Научные обзоры. Научные рецензии. Отзывы.**

В соответствии с Решением Межведомственной комиссии РФ по защите государственной тайны №69 от 26 февраля 2001 г., требованиями законов №5485-1 «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г., №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27 июля 2006 г. статьи для публикации принимаются только при наличии экспертного заключения с разрешением на открытое опубликование.



CONTENTS

INSTRUMENT MAKING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

B.F. Bezrodny, D.V. Smirnov, S.A. Mayorov, O.N. Andrukh. Delimitation of admissible change of parameters for selection of import-substituting electronic components..... 2

S.A. Lychagov, S.V. Antonov. Regulation of the synchronous generator excitation pulsed current..... 7

S.A. Savochkin. Optimization of preheater variable power 9

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATIONS

K.V. Karpochkin, N.I. Pyatov. Synchronization hybrid network based microchip AD9548 14

K.Y. Tsvetkov, A.A. Koval'skiy, V.Y. Pal'gunov. Forecasting of a residual resource of antenna systems of land stations of measuring complexes..... 17

D.R. Utkin. Model of forecasting of intensity of the user loading on a mobile station of a military network of satellite communication 26

V.A. Tsimbal, R.N. Khrustaliyov, V.E. Toiskin, K.I. Gvozd, E.A. Yariomenko. Objective justification channel capacity directions radio system with loose channels in the conditions of risk and rehabilitation and its solution... 33

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

A.K. Nikitin, N.S. Kukin. Algorithm for detecting morphology characteristics on block separated monochrome images 38

A.V. Luchin, E.A. Stroganov, S.V. Stepanov. Vector control of parallel operation of the diesel-electric units of the power systems 41

A.V. Rybakov, V.I. Mukhin, R.R. Vil'danov. About the method of calculating the spatial energy distribution of the fragments as a result of emergency situations of technogenic character..... 43

G.G. Volkov, N.S. Kukin, A.R. Muradova, I.O. Glotova. Ternary group algebra. Complex analysis in Euclidean space 50

I.V. Grudin, S.V. Surovkin. Resource management information and control subsystem ACS fire in order to ensure its survivability..... 57

A.G. Bukin, G.A. Gordeyev. The method of fuzzy identification of critical elements of the automated systems on the basis of physical features nonclonability 63

INNOVATIVE PROJECTS

V.I. Mukhin, D.G. Voronov, E.V. Sobakina. Development of the theoretical foundations decision-making on the management of innovation based cognitive approach.. 70

DIAGNOSTIC SYSTEMS

A.G. Popov, A.A. Maslikov, V.P. Dunilin, E.V. Boroday, D.N. Pecherskiy, A.S. Shulakov. Hardware for vibration and acoustic diagnostics of structures..... 75

SPECIAL PURPOSE TECHNIQUE

S.V.. Martynov, B.G. Eriomin, B.G. Nikitenko, A.V. Sytova, A.S. Butranov. Equipment of engineering-technical protection of objects from destruction small arms..... 78

PROFESSIONAL EDUCATION

I.A. Bugakov, A.N. Tsar'kov. Dissertation for scientific degree of candidate of technical sciences: the system of formal signs 84

I.A. Obynochny. Comparative analysis of the professional standard «Teacher of higher education» and competency-based models of teachers 96

SCIENTIFIC REVIEWS. SCIENTIFIC CRITIQUE. COMMENTS

S.N. Shimanov, V.A. Prasolov. Digital signal processing and software-defined radio communications at the Institute of engineering physics 99

V.P. Gorkovenko. The practice of application security detectors in series "TRAVERS" 100

Authors 102

Requirements to authors 104