

№ 4⁺⁰
2014

[34]

ИЗВЕСТИЯ

научно-технический журнал

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

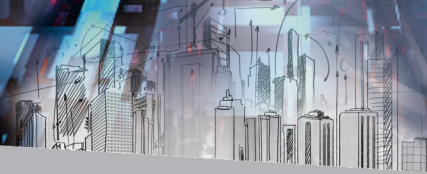


ВОСПРОИЗВОДСТВО КАДРОВ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗОВ

МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ



Редакционный совет

Александр Иванович Аспидов

доктор технических наук, профессор
Заместитель директора Нижегородского филиала
Московского гуманитарного экономического
института по научной работе

Валерий Петрович Баранов

генерал-полковник
доктор исторических наук, профессор

Андрей Витальевич Богословский

доктор технических наук, профессор
Заместитель начальника Тамбовского высшего
военного авиационного инженерного училища
радиоэлектроники по УНР

Борис Федорович Безродный

доктор технических наук, профессор
Главный инженер проектного
конструкторско-технологического бюро –
филиал ОАО «РЖД»

Ярослав Андреевич Ваграменко

доктор технических наук, профессор
Президент академии
информатизации образования

Анатолий Николаевич Геращенко

доктор технических наук, профессор
Ректор Московского авиационного института

Сергей Григорьевич Данилюк

доктор технических наук, профессор
Ведущий научный сотрудник Института
информатизации образования (РАО)

Валерий Евгеньевич Дидрих

доктор технических наук, профессор
Начальник учебного отдела Тамбовского
высшего военного авиационного инженерного
училища радиоэлектроники

Владимир Дмитриевич Киселев

доктор технических наук, профессор
Директор Тульского филиала
Орловской академии госслужбы

Олег Александрович Козлов

доктор педагогических наук, профессор
Заместитель директора Института
информатизации образования (РАО)

Сергей Викторович Ларцов

доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Заместитель главного инженера
ОАО "Гипрогазцентр"

Евгений Николаевич Надеждин

доктор технических наук, профессор
Начальник кафедры Тульского военного
инженерного артиллерийского института

Сергей Алексеевич Редкозубов

доктор технических наук, профессор
Председатель экспертного совета ВАК
по управлению, вычислительной технике
и информатике, заведующий кафедрой
высшей математики Московского
государственного горного университета

Юрий Александрович Романенко

заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор

Валерий Николаевич Умников

доктор технических наук, профессор
Президент Академии проблем сохранения жизни

Сергей Николаевич Шиманов

доктор технических наук, профессор
Заместитель генерального директора
МОУ «ИИФ» – главный конструктор



**Александр
Григорьевич
Мурашов**

Вице-президент МОУ «ИИФ»

Уходящий 2014 год для Института инженерной физики, кроме основной – научной, образовательной и производственной деятельности, был насыщен событиями, связанными с активной демонстрацией своих достижений с целью принятия их на вооружение для повышения обороноспособности страны.

В марте мы приняли участие в совещании, которое провел заместитель председателя Правительства, заместитель председателя ВПК Д.О. Рогозин. Ученые Института представили инновационные разработки в области модернизации стрелкового оружия: системы обвеса автомата Калашникова и модернизированный вариант пулемета «Печенег». Д.О. Рогозин дал высокую оценку изобретениям ученых Института, и по результатам совещания было одобрено решение министра обороны о проведении государственных испытаний модернизированных автомата и пулемета с целью принятия их на вооружение.

В мае Институт участвовал в I Международной выставке МО РФ «Материально-техническое обеспечение силовых структур». Президент Института – Председатель Правления Института А.Н. Царьков доложил министру обороны С.К. Шойгу результаты проделанной работы в рамках данных министром обороны поручений – это разработки в области совершенствования экипировки водолазного и сухопутного снаряжения, оснащенных системами локального обогрева. По итогам выставки МОУ «ИИФ» был награжден дипломами «За инновационные разработки в интересах Министерства обороны» и «Лучшие комплексные решения для средств индивидуальной защиты».

МОУ «ИИФ» стал официальным партнером и активным участником II специализированной международной выставки «Дни инноваций МО РФ», на которой продемонстрировал высокотехнологичные разработки и готовые решения в сфере современного вооружения и военной техники и был награжден Знаком министра обороны «За заслуги в области развития и внедрения инновационных технологий» и дипломом I степени.

В сентябре Институт принял участие в выездном заседании Совета ВПК, где представил разработки в области модернизации стрелкового оружия и комплекс снаряжения и медицинского оборудования для Арктики. Д.О. Рогозин отметил особый вклад Института в развитие вооружения, специальной техники и средств защиты для ВДВ.

В октябре мы участвовали и были отмечены министром МЧС В.А. Пучковым на выставке «День передовых технологий и инноваций в системе МЧС России».

На XVIII Международной выставке «INTERPOLITEX-2014» Институт представил инновационные охранные системы, светопрозрачные бронированные конструкции, аппаратуру расширения возможностей СКУД, экипировку водолазного и сухопутного снаряжения с системой локального обогрева и систему «мобильный холод» для перевозки медицинских препаратов. По итогам конкурса «Национальная безопасность» за разработку системы термообогрева водолазного снаряжения Институт награжден дипломом и золотой медалью «Гарантия качества и безопасности».

В ноябре Институт принял участие в совещании руководящего состава медицинских служб ВМФ и ознакомил участников с медицинским оборудованием для работы в экстремальных условиях.

В наступающем 2015 году ученые МОУ «ИИФ» ставят перед собой задачи продолжать развивать инновационные идеи и внедрять разработки, не имеющие мировых аналогов.

С Новым годом, дорогие друзья! С новыми научными победами!



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

В НОМЕРЕ

- СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**
- 2 С.В. Смуров, А.М. Гладков, П.В. Воронов. Формализованное представление субпроблемы «системности» в общей проблеме обеспечения безопасности автоматизированных систем
- 9 Л.А. Гулянский, Д.В. Прянишников. Показатель применимости метода верификации при комплексном анализе программного обеспечения
- МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ**
- 14 А.А. Котов, С.Ю. Дмитриев. Процедуры методики выбора оптимального варианта системы поддержки принятия управленческих решений при проектировании элементов военной техники
- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ**
- 19 В.Е. Петров, В.Е. Аксёнов. Влияние отклонения основных размеров рабочего колеса на интегральные характеристики центробежных насосов
- ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНЫЕ СИСТЕМЫ**
- 29 Ю.С. Пушкарёв. Исследование качества работы нелинейных следящих автоматических систем управления при влиянии гармонических и случайных возмущающих воздействий
- 33 И.В. Хабибуллин. Подтверждение гарантий информационной безопасности функционирования автоматизированных информационных систем в процессе сертификационных испытаний
- ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**
- 37 В.Е. Ананьев, С.И. Закатин, М.С. Закатин, С.С. Закатин. Исследования числовых и алгебраических свойств элементов равновесных классов
- 43 А.В. Зеленевский, В.В. Зеленевский. Спектральная эффективность трюичного статистического кодирования первичных сообщений
- ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ**
- 47 А.В. Золотарюк, А.И. Кижнер, Т.Л. Фомичева. Модели взаимодействия преподавателей и студентов при реализации различных форм учебной деятельности
- СИСТЕМЫ СВЯЗИ**
- 51 А.В. Кузичкин, С.Х. Зиннуров, А.А. Ковальский. Динамическое распределение радиоресурса ретранслятора с учетом неоднородности трафика и запаздывания при управлении
- ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**
- 57 А.Н. Воробьёв. Математическая модель выявления радиационного, химического и биологического заражения объектов частей РВСН
- 61 Д.Е. Сорокин. Оценка эффективности тестово-кодовой коррекции ошибок устройств хранения информации телекоммуникационных систем
- 67 А.Г. Попов, С.В. Антонов, Е.В. Бородай. О комплексном диагностировании технического состояния методами неразрушающего контроля объектов повышенной опасности
- МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**
- 71 М.Ю. Конышев, С.В. Захаркин, В.И. Близинок, С.В. Харченко, Р.Р. Марченков. Модель дискретного канала связи с динамическим мультиплексированием
- ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**
- 75 Д.Г. Митрофанов, А.В. Сафонов, В.В. Бортовик, Д.А. Кичулкин, О.О. Красавцев. Исследование информативности импульсной характеристики объекта методом нейросетевого моделирования
- 82 Д.А. Майоров, Д.Г. Митрофанов. Особенности построения импульсных характеристик воздушных объектов при поимпульсной перестройке несущей частоты
- ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ**
- 92 А.А. Александров. Методологические аспекты формирования финансирования для развития эффективной инновационной деятельности предприятия
- 94 В.В. Блаженков, Н.М. Емелин, О.В. Голодкова. Кластерный анализ инновационной деятельности российских вузов
- СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**
- 99 Н.И. Котов, В.В. Котова. Объект, цель и предмет педагогических исследований и их соотношения
- 104 Н.Н. Казаков. Математическая оценка афористичности произведений
- ПОДГОТОВКА КАДРОВ**
- 106 И.Н. Тараброва. Модели и алгоритмы воспроизводства научных кадров сектора высшей школы

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ
Института инженерной физики
№4(34)2014

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально
Решением Президиума ВАК включен в
«Перечень ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий»

Главный редактор

Алексей Николаевич Царьков
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Заместитель главного редактора

Роман Леонидович Мусатов
кандидат технических наук

Выпускающий редактор

Игорь Павлович Новожилов

Редакционная коллегия

Евгений Михайлович Ананьев
кандидат технических наук

Олег Николаевич Андрух
кандидат технических наук, доцент

Сергей Борисович Беркович
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
доктор технических наук

Сергей Васильевич Иванушкин
доктор военных наук, доцент

Николай Николаевич Казаков
член Союза писателей России

Валерий Геннадьевич Маслов
кандидат технических наук

Борис Петрович Смирнов
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

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: iifrfinfo@gmail.com info@iifrf.ru

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору
за соблюдением законодательства в сфере массовых комму-
никаций и охране культурного наследия. Свидетельство о ре-
гистрации 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 20.11.2014. Дата выхода
в свет 19.12.2014. Тираж 2000 экз. Цена свободная.
© Межрегиональное общественное учреждение
«Институт инженерной физики» (ИИФ), 2014

УДК 519.6

ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СУБПРОБЛЕМЫ «СИСТЕМНОСТИ» В ОБЩЕЙ ПРОБЛЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Сергей Владимирович Смулов

доктор технических наук, профессор

Первый заместитель генерального директора
по научной работе –

Главный конструктор МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,

г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

Павел Владимирович Воронов

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)72-19-11

Александр Михайлович Гладков

ГОУ ГШ ВС РФ

Москва

В статье проведен анализ безопасности автоматизированных систем на предмет оценки их уязвимости. Учитывая информационную взаимосвязанность элементов автоматизированных систем и принимая во внимание обстоятельства, определяющие возможность «информационного выхода» нарушителя на некоторую информацию о системе, было введено понятие «компрометирующая информация».

The article analyzes the security of automated systems to assess their vulnerability. Given the information interconnectivity elements automated systems and taking into account the circumstances that determine the possibility of the «information release» intruder on some information about the system, introduced the concept of «compromising information».

Ключевые слова: компрометирующая информация, автоматизированные системы, уязвимость, неопределенность, информационная взаимосвязанность элементов.

Key words: compromising information, automated systems, vulnerability, uncertainty, information interconnectivity elements.

Известно, что в основе каждого факта нарушения безопасности автоматизированных систем (АС) лежит соответствующая уязвимость их защиты, обусловившая успешное осуществление атаки. Исходя из этого, анализ случаев нарушения безопасности АС должен основываться не столько на исследовании методов, используемых нарушителем, сколько на выявлении свойств системы, позволивших ему осуществить свои действия.

Говоря о свойствах какой-либо системы, необходимо заметить, что многие из них, как правило, взаимосвязаны друг с другом, и, устано-

вив одно свойство, можно установить и другие. Таким образом, не имея возможности описать систему в целом, можно, опираясь на одни свойства проявляемые в определенных условиях, предсказать, какие свойства будут проявляться в других условиях или предсказать другие свойства, проявляемые в тех же условиях [2]. Вытекающий отсюда вывод состоит в том, что при анализе уязвимости АС необходимо рассматривать все фазовое пространство ее состояний, определяемое различными комбинациями отображения ее свойств во внешней среде или, говоря другими словами, различной степенью

отображения во внешней среде компрометирующей ее информации. Это означает, что незначительная информация о, казалось бы, незначительных свойствах одного из элементов АС, может привести к возникновению реальной угрозы нарушения безопасного поведения всей системы в целом.

Таким образом, понятие информации, компрометирующей АС, т.е. информации, позволяющей идентифицировать и использовать ее уязвимости (далее сокращенно *Ci* - *Compromising information*), является ключевым понятием, лежащим в основе причин существования проблемы обеспечения безопасности АС.

Под объемом *Ci* далее будет пониматься необходимый и достаточный для выявления уязвимости АС набор сведений о свойствах ее элементах и свойствах самой системы, порождаемых взаимодействием ее элементов.

Рассматривается автоматизированная система *S*, состоящая из *N* элементов s_m :

$$S = \bigcup_m s_m, \text{ или сокращенно } S = \{s_m\}, \text{ где } m = \overline{1, N}, \quad (1)$$

Множество $\{s_m\}$ включает в себя подмножество $\{s_z^{(0)}\}$ уязвимых элементов¹, которому может быть поставлен в соответствие кортеж:

$$K[s_z^{(0)}] = \langle \{s_m\}; Z_1^{(0)}; R_{S_0}; H_A^{(0)} \rangle, \quad (2)$$

где R_{S_0} – семантическое правило (*rule semantic*) выделения из множества $\{s_m\}$ на основе множества актуальных угроз $Z_1^{(0)}$ элементов подмножества $\{s_z^{(0)}\}$:

$$\{s_z^{(0)}\} : Z_1^{(0)} \xrightarrow{R_{S_0}} \{s_m\} \sim L_1^{(0)};$$

$H_A^{(0)}$ – начальная неопределенность АС с точки зрения возможности выявления множества $\{s_z^{(0)}\}$ (показатель сложности анализа априорной уязвимости АС при заданном значении $fdi^{(0)}$):

$$H_A^{(0)} = f_1(fdi^{(0)}),$$

где $fdi^{(0)}$ – коэффициент распространения информации (*factor of distribution of the information*) об АС во внешней среде (ВС) на момент проведения анализа;

$f_1(\dots)$ – некоторая функция.

На основании $\{s_z^{(0)}\}$ определено расчетное множество $\{s_x\}$ защищаемых элементов АС (т.е. элементов, через которые априори должны

пройти $L_1^{(0)}$ траекторий угроз² множества $Z_1^{(0)}$):

$$K[s_x] = \langle \{s_z^{(0)}\}; R_{S_x}; W_S^{(0)} \rangle, \{s_x\} \supseteq \{s_z^{(0)}\}, \quad (3)$$

где R_{S_x} – семантическое правило дополнения множества $\{s_z^{(0)}\}$ не вошедшими в него элементами множества $\{s_m\}$ (т.е. $\{s_m\} \setminus \{s_z^{(0)}\}$):

$$\{s_x\} : C_{\{s_z^{(0)}\}} \xrightarrow{R_{S_x}} [\{s_m\} \setminus \{s_z^{(0)}\}],$$

$W_S^{(0)}$ – требования по эффективности противодействия АС множеству $Z_1^{(0)}$ актуальных угроз. Эти требования эквивалентны условию максимизации вероятности прохождения $L_1^{(0)}$ траекторий этих угроз через множество $\{s_x\}$ защищаемых элементов:

$$W_S^{(0)} \sim P(L_1^{(0)} | \{s_x\}) \rightarrow \max. \quad (4)$$

Вероятность $P(L_1^{(0)} | \{s_x\})$ характеризует уязвимость АС на множестве угроз $Z_1^{(0)}$ в момент $t=0$.

Объективная невозможность исключить утечку информации из IF_S (информационного поля АС) приводит с течением времени к изменению множества $\{s_z^{(0)}\} \rightarrow \{s_z^{(t)}\}$:

$$K[s_z^{(t)}] = \langle \{s_m\}; Z_S^{(t)}; R_{S_n}; H_n^{(t)} \rangle, \{s_z^{(t)}\} \subseteq \{s_z^{(0)}\}, \quad (5)$$

где $Z_S^{(t)}$ – множество потенциальных угроз для АС на момент t :

$Z_S^{(t)} = C_{Z_1}^{(t)}(Z_2 \wedge Z_3)$, где $C_{Z_1}^{(t)}(Z_2 \wedge Z_3) = f[I_n(z|S); I_o(z|S)]; C_A B$ – (*оператор C*) дополнение множества *A* множеством *B*;

R_{S_n} – семантическое правило сопоставления нарушителем множества $Z_S^{(t)}$ всех потенциальных на момент t угроз с множеством $\{s_m\}$:

$$\{s_z^{(t)}\} : Z_S^{(t)} \xrightarrow{R_{S_n}} \{s_m\} \sim L_S^{(t)};$$

$H_n^{(t)}$ – текущая неопределенность или мера незнания нарушителем АС с точки зрения возможности выявления ее уязвимости (показатель сложности анализа нарушителем априорной уязвимости АС при значении $fdi^{(t)}$):

$$H_n^{(t)} = f_2(fdi^{(t)}),$$

где $f_2(\dots)$ – некоторая функция;

$fdi^{(t)}$ – коэффициент распространения информации об АС на момент t :

$$fdi^{(t)} \sim q \left(\sum_t \sum_i \Delta I_i^{(t)}(EE_S) \right),$$

где $q(\dots)$ – некоторая функция.

² Траектория угрозы – мысленная линия, абстрагирующая логическую последовательность включения элементов АС в цепочку действий нарушителя, преследующего цель изменения исходного состояния или установленного режима функционирования самой АС или объекта защиты. Траектория угрозы – это модель распространения связанного с угрозой и иницируемого нарушителем возмущения на множестве элементов АС.

¹ Во множество $\{s_z^{(0)}\}$ могут входить как элементы АС, выполняющие защитные функции (технические, аппаратные и программные средства защиты), так и интегрированные с элементами АС элементы объекта защиты, а также элементы АС, не выполняющие защитных функций (технические и программные средства, реализующие различные функции автоматизации).

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Значение показателя эффективности противодействия АС множеству угроз $Z_S^{(t)}$ на момент t может быть представлено в виде

$$W_S^{(t)} \sim P(L_S^{(t)} | \{s_x\}). \quad (6)$$

Тогда $U_S^{(t)}$ показатель устойчивости функций безопасности АС на момент t есть отношение вида

$$U_S^{(t)} = \frac{W_S^{(t)}}{W_S^{(0)}} \sim \frac{P(L_S^{(t)} | \{s_x\})}{P(L_S^{(0)} | \{s_x\})}, 0 \leq U_S^{(t)} \leq 1. \quad (7)$$

Чем меньше значение $U_S^{(t)}$ (т.е. при $t \rightarrow \infty$, $U_S^{(t)} \rightarrow 0$), тем меньше устойчивость во времени функций безопасности АС к изменению $\{s_z^{(0)}\}$ при утечке во ВС информации, «провадирующей» это изменение.

Приведенная схема рассуждений не является строгой в формальном смысле. Ее цель – расстановка акцентов над ключевыми понятиями, на основе которых в дальнейшем возможен переход к формальной постановке проблемы исследований. Продолжая в этом контексте изложение материала, следует акцентировать внимание на следующих общих предположениях, вытекающих из вышесказанного.

Первое. Чем полнее определено множество $\{s_z^{(0)}\}$, тем меньше вероятность его изменения с течением времени, даже при значительных потерях информации. Это следует из того, что реальное множество $\{s_z\}$ всех уязвимых элементов любой АС всегда конечно. Если расчетное множество $\{s_z^{(0)}\}$ совпадает с реальным $\{s_z\}$, что, собственно говоря, и указывает на его полноту, то и «дополняться» ему нечем: все возможные элементы в него уже включены.

Второе. Чем полнее и точнее определено множество $\{s_z^{(0)}\}$, тем больше стойкость функций безопасности. Это предположение исходит из того, что определяемое на множестве $\{s_z^{(0)}\}$ множество $\{s_x\}$ по сути, является расчетной областью прохождения траекторий угроз. Чем она больше, тем к большему числу способов реализации угроз будет восприимчива защита. Необходимо заметить, что речь в данном случае идет не столько об эффективности нейтрализации угрозы, сколько о вероятности попадания этой угрозы в область, где возможна ее нейтрализация. Относительно точности определения множества $\{s_z^{(0)}\}$ необходимо иметь в виду следующее. Расширение $\{s_x\} = f\{s_z^{(0)}\}$ не всегда приводит к увеличению вероятности «перехвата» траектории угрозы. Если во множество $\{s_z^{(0)}\}$ включены «лишние» элементы³, то определяе-

³ То есть элементы, нарушения безопасного состояния которых не являются критическими для безопасного состояния АС.

мое на нем подмножество защищаемых элементов, просто безрезультатно «заберет на себя» часть ресурсов защиты.

Иными словами, неточность и фрагментарность определения множества $\{s_z^{(0)}\}$ лежат в основе существования уязвимостей и потенциальной неустойчивости функций безопасности АС.

Рассмотренную схему рассуждений можно «усовершенствовать», дополнив ее, например, параметрами адаптации, учитывающими динамику структурных изменений в АС, обусловленных введением в систему элементов, позволяющих установить связи с новыми сторонами проявления «агрессивности» ВС. Но насколько целесообразно такое дополнение?

О самомодификации АС речь в данном случае вести нельзя: любые изменения в ней всегда связаны с деятельностью человека. Следовательно, описание процесса введения новых элементов в АС равносильно описанию процесса постоянного «латания дыр» в ее защите, которые являются следствием неконтролируемого изменения $\{s_z^{(0)}\}$ множества ее уязвимых элементов. Не ставя вопрос об эффективности такого рода методов совершенствования систем защиты, в настоящей работе акцент делается на исследовании возможности разработки методов анализа АС на предмет более полного и точного выявления элементов множества $\{s_z^{(0)}\}$.

Выше уже отмечалось, что сложность проведения анализа потенциальной уязвимости АС определяется $H_A^{(t)}$ неопределенностью (энтропией) в момент t ее текущего состояния, характеризуемого величиной $f di^{(t)}$. Чем больше потери информации АС, тем больше пространство ее возможных состояний потенциальной уязвимости⁴, и тем меньше вероятность правильной идентификации текущего из них, а, следовательно, и меньше достоверность определяемого множества $\{s_z^{(0)}\}$. Графически это можно представить в виде, показанном на рисунке 1.

В самом общем случае формальная процедура количественного выражения величины H_A может быть построена на общих положениях комбинаторики и теории информации. Для этого необходимо ввести обозначения: I_S – информация о системе S и I_m – информация об ее элементе s_m . При этом

$$I_S = \bigcup_m I_m \sim IF_S, \text{ где } m = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Предполагается, что на момент $t = 0$ во внешней среде информация I_m может быть либо полностью известной для нарушителя, либо неиз-

⁴ То есть уязвимости, которая может иметь место при потере (утечке во ВС), определяющей ее информации.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

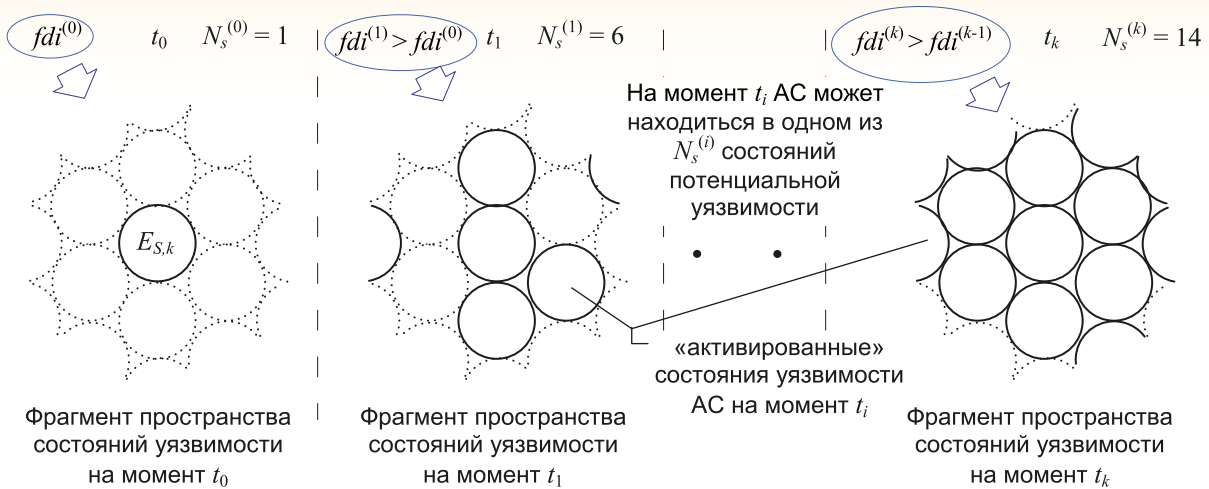


Рис. 1. Графическая интерпретация изменений пространства состояний уязвимости АС в зависимости от потерь информации, определяемых показателем fdi

вестной совсем. Под известностью информации I_m понимается факт наличия ее во ВС, делающий ее доступной для ознакомления с ней любого заинтересованного в этом лица вообще и нарушителя в частности.

Тогда $\forall I_m \exists r_m$ – показатель «известности» информации вида I_m во ВС ($IF(EE_S)$):

$$r_m = \begin{cases} 1, & \text{если } I_m \in IF(EE_S) \\ 0, & \text{если } I_m \notin IF(EE_S) \end{cases} \quad (9)$$

В общем виде можно записать

$$fdi \sim f \left(\bigcup_m (I_m : r_m = 1) \right). \quad (10)$$

Вводится следующая величина:

$$I(S|c_u) = \bigcup_{m=1, A} [I_m : r_m = 1], \quad 1 \leq A \leq N_{fdi}, \quad u = 1, 2, \dots, 2^{N_{fdi}}, \quad (11)$$

где $I(S|c_u)$ – информация об АС, содержащаяся в c_u -ой комбинации ее информационных фрагментов I_m , получивших свое отображение во ВС; N_{fdi} – число элементов, информация о которых получила свое отображение во ВС (т.е. стала доступной для нарушителя):

$$N_{fdi} = \text{card} \{s_m : r_m = 1\}.$$

Для разработчика системы защиты АС различные варианты осведомленности о ней нарушителя определяют множество ее состояний, каждое из которых подлежит анализу на предмет оценки способности АС обеспечивать выполнение требований безопасности в предположении соответствующего этому состоянию варианта утечки информации в объеме $I(S|c_u)$. В связи с этим рассматривается следующее эквивалентное отношение:

$$I(S|c_u) \sim e_u, \quad (12)$$

где e_u – u -ое состояние неопределенности АС, определяемое степенью информированности о ней нарушителя, располагающего сведениями в объеме $I(S|c_u)$:

$$e_u \in E_{fdi} = \{e_u\}_1^{2^{N_{fdi}}}, \quad (13)$$

E_{fdi} – множество состояний неопределенности АС, определяемых текущим значением показателя fdi (или множеством соответствующих значению показателя fdi c_u -комбинаций отображения информации об АС во ВС).

Величина $E_S = \{e_u\}_1^{2^N}$ – фазовое пространство состояний неопределенности АС или множество всех состояний АС при всех возможных вариантах отображения информации об N ее элементах во ВС.

При $fdi = fdi_{max} \rightarrow E_{fdi} = E_S$. Это значит, что в любой момент t АС с равной вероятностью может находиться в одном из 2^N состояний. В этом случае неопределенность H_A или энтропия АС будет определяться формулой:

$$H_A = \text{card} \{e_u\} = \log 2^N. \quad (14)$$

Если $E_{fdi} < E_S$, то число анализируемых состояний системы уменьшается и для H_A будет справедливо выражение:

$$H_A = \log 2^{N-n}. \quad (15)$$

где n – число элементов АС, информация о которых, исходя из оценки fdi не получила своего распространения во ВС.

Ранее уже говорилось о том, что величина H_A определяет сложность анализа априорной уязвимости АС при заданном значении fdi . Суть такого анализа заключается в следующем.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

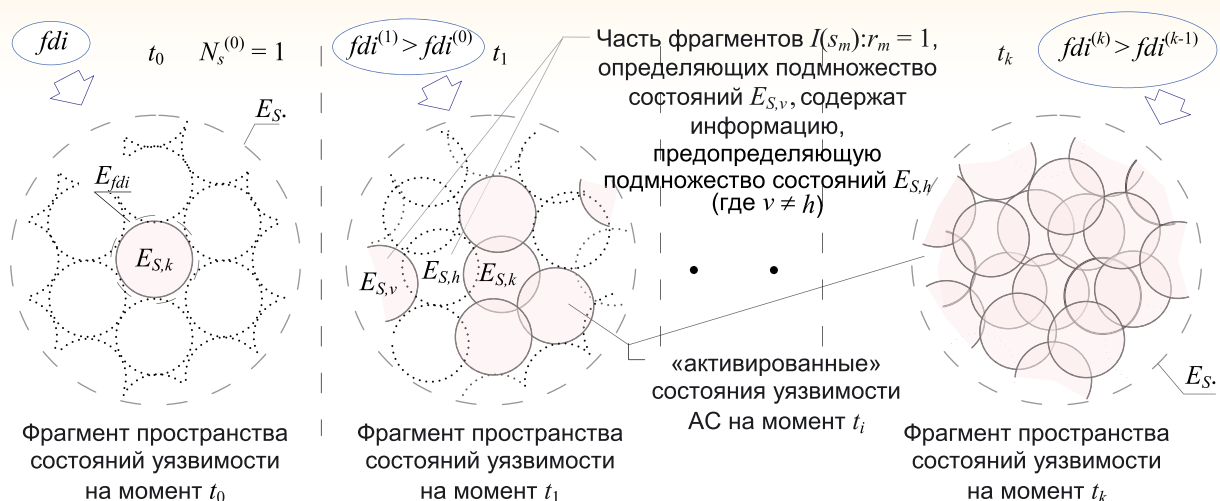


Рис. 2. Схема изменений пространства состояний уязвимости АС в зависимости от потерь информации, определяемых показателем f_{di} , с учетом информационной взаимосвязности ее элементов

Пространство состояний $E_{f_{di}}$ АС разбивается на K непересекающихся множеств (подмножеств) $E_{f_{di,k}}$, с каждым из которых идентифицируется определенный уровень уязвимости АС к действиям нарушителя, основанным на знании сведений в объеме подмножества $E_{f_{di,k}}$. Очевидно, что чем больше $\text{card } E_{f_{di}}$, тем сложнее провести его разбиения на указанные подмножества.

Энтропия АС с точки зрения возможности идентификации ее уязвимости с одним из K уровней определяется выражением:

$$H_{A,K} = - \sum_k^K p_k \log p_k, \quad (16)$$

где p_k – априорная вероятность «попадания» текущего состояния АС в k -й уровень уязвимости:

$$p_k = \frac{\text{card } E_{f_{di,k}}}{\text{card } E_{f_{di}}}. \quad (17)$$

Энтропия $H_{A,K}$ определяет меру упорядоченности знаний разработчика системы защиты АС о степени ее потенциальной уязвимости, которая может иметь место при различных вариантах информированности о ней нарушителя.

Под упорядоченностью знаний понимается степень различимости состояний АС по уровню ее потенциальной уязвимости в случае утечки информации в объеме $I(S|c_u)$. Чем, больше K , тем больше упорядоченность знаний и выше степень различимости состояний системы.

Следует отметить, что реальные АС состоят из $N \gg 10$ элементов. Поэтому число возможных комбинаций c_u для таких систем может быть очень большим и необозримым на предмет возможности проведения по такой схеме анализа уязвимости АС. Особенно это актуально для незащищенных АС, распространение информации о которых практически не контролируется, что

приводит к равенству $E_{f_{di}} = E_S$. Автоматизировать процесс анализа уязвимости невозможно, так как разбиение множества $E_{f_{di}}$ не имеет формальных алгоритмов.

Выход из данной ситуации возможен либо за счет ограничений на декомпозицию АС на отдельные элементы, либо за счет игнорирования тех из них, утечка информации о которых во ВС в принципе не может сказаться на стойкости ее функций безопасности. Такие подходы к решению проблемы «проклятия размерности» множества $E_{f_{di}}$ могли бы иметь место, если бы потерянная информация об одном элементе не содержала информации о других связанных с ним элементах. Проблема как раз и состоит в том, что в действительности элементы АС взаимосвязаны между собой как на функциональном уровне, так и на информационном⁵. Незначительная информация, о, казалось бы, незначительных свойствах одного из элементов АС, может привести к возникновению реальной угрозы нарушения безопасного поведения всей системы в целом.

⁵ В работе [5] говорится о том, что всякая (искусственная или естественная) система, состоящая из взаимодействующих элементов, может рассматриваться как информационная система. Любая часть совокупности взаимодействующих элементов (в частности, и один из элементов) может изучаться с целью извлечения информации о другой части этой совокупности (в частности, о другом отдельном элементе), так как взаимодействие обеспечивает соответствие состояний, т.е. отражение, содержание информации. Элементы, образующие информационную систему, могут иметь совершенно произвольную природу.

Из вышесказанного следует, что среди бесконечного множества свойств, которые присущи любой системе взаимодействующих элементов (объектов), неотъемлемым свойством является их свойство отражать друг друга, содержать информацию друг о друге.

С учетом сделанного замечания рассмотренная ранее схема изменений пространства состояний уязвимости АС в зависимости от потерь информации, определяемых показателем fdi (см. рисунок 1), может быть представлена в несколько ином виде (рисунок 2).

На рисунке 2 рассматривается некоторая АС с фазовым пространством состояний E_S . Разбив E_S на непересекающиеся множества $E_{S,k}$ и вычислив меру p_k каждого из них по формуле (17), можно определить информацию $I(e_n) = H_{A,K}$ (см. (16)), которую дает знание текущего состояния АС с учетом e - использованных при разбиении E_S допущений и ограничений. Утечка информации о системе и информационная взаимосвязанность ее элементов с течением времени приводят к тому, что образ почти всех $E_{S,k}$ имеет непустое пересечение со всеми остальными $E_{S,i}$. Это значит, что, хотя при $t=0$ неопределенность с точностью e отсутствовала, в дальнейшем она возросла. АС увеличила неопределенность своего состояния. В таком случае иногда говорят [3], что система производит информацию. В данном случае АС «производит» информацию о себе во ВС.

Таким образом, утечка во ВС информации об АС, элементы которой информационно взаимосвязаны, эквивалентна производству АС энтропии с точки зрения возможности идентификации ее состояния с одним из K уровней уязвимости. Но, как известно [4], любой процесс производства энтропии «описывает не сохранение «причины» в производимых ею следствиях, а постепенное исчезновение самой причины». Образно говоря, при больших потерях информации причина успешной атаки на АС «размывается» по всему фазовому пространству ее состояний, каждое из которых определяется различной комбинацией отображения информации об элементах множества $\{s_m : r_m = 1\}$ во ВС. При этом любая комбинация отображения во ВС информации о любой совокупности элементов АС может быть интерпретирована как причина произошедшего. Это обстоятельство объясняет низкую эффективность анализа информационных основ причин нарушения безопасности какой-либо АС, подвергшейся атаке. К тому моменту, когда процесс «взлома» системы завершен, даже ставшее очевидным его информационное обеспечение не может быть инвертировано во выявление исходной причины успешной атаки, т.е. исходной информации $DI_i(EE_S)$ об «исходной» уязвимости, послужившей отправной точкой к реализации угрозы безопасности. Чаще всего «натыкаются» на следствие и относительно него осуществляют доработку системы защиты, связанную с расширением или модифи-

кацией множества $\{s_x\}$. Как правило, «исходная» уязвимость и ее информационные предпосылки при этом не выявляются и не устраняются. А вместе с тем, именно такого рода информационные предпосылки определяют содержание компрометирующей АС информации Si .

В случае информационной взаимосвязанности элементов АС однозначно выявить информационные предпосылки для ее уязвимости практически невозможно, так как нарушитель, получая доступ к одному из них, «автоматически» может получить информацию обо всех с ним связанных элементах в том объеме, в котором она содержится в этом элементе.

В этом контексте предлагается рассмотреть гипотетическую АС, с каждого элемента которой можно снять сигнал A_m , характеризующий его состояние в любой момент времени:

$$\left. \begin{matrix} S \rightarrow A_S \\ s_m \rightarrow A_m \end{matrix} \right| \rightarrow A_S = \bigcup_{m \in N} A_m. \quad (18)$$

Возможны два предельных случая.

Случай 1. Предполагается, что исследуемая АС (АС первого типа) представляет собой суммативное множество элементов s_m . Это значит, что никакой из элементов $s_m \in S$ не взаимодействует ни с каким другим элементом и соответственно не содержит о нем ни какой информации.

С учетом (1.18) можно записать:

$$\left(A_S = \bigcup_{m \in N} A_m \right) \bar{\exists} A_S^* = \bigcup_{k \in K} A_k, \quad 1 \leq K < N, \quad (19)$$

т.е. нельзя уменьшить размерность пространства сигналов, не потеряв при этом часть информации. Никакой из сигналов $A_m^{(i)}$ не несет информации о других сигналах. Говоря другими словами, множество A_S случайно, так как нет более короткого описания, чем непосредственное представление A_S .

Случай 2. Исследуемая АС (АС второго типа) представляет собой системное множество элементов s_m . Это значит, что все элементы не только тесно взаимодействуют друг с другом, но содержат полную информацию друг о друге. С учетом замены (18):

$$\left(A_S = \bigcup_{m \in N} A_m \right) \exists b_i \sim A_S, \quad i=1, \quad (20)$$

т.е. совокупность всех сигналов A_S можно описать одним сигналом b_i . Каждый сигнал содержит всю информацию о других сигналах. Это абсолютная организованность или, говоря по другому [1], системность.

Вводится обозначение J – число возможных состояний АС с точки зрения различных вариантов информированности о ней нарушителя (вариант информированности нарушителя эквивалентен определению $I(S|c_u)$, см. (11)).

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

В первом случае $J = 2^N$. Неопределенность H_u или мера незнания нарушителем АС при этом будет определяться формулой:

$$H_u = \log J = \log 2^N = H_u^{(\max)}. \quad (21)$$

Во втором случае $J = 1$, так как любой вариант информированности нарушителя позволяет получить ему полную информацию об АС, даже если он располагает сведениями только об одном из ее элементов. Неопределенность АС H_u в этом случае будет равна неопределенности элемента s_m , информационное поле $I(s_m)$ которого выбрано нарушителем в качестве основы для исследования уязвимости АС:

$$H_u = H(s_m) = H_u^{(\min)}. \quad (22)$$

Из неформальной схемы рассуждений, представленной отношениями (1)-(7) следует, что при $H_u \text{ @ min}$, множество $\{s_z^{(0)}\}$ и $L_s^{(0)} \text{ @ max}$. В свою очередь расширение множества $L_s^{(0)}$ приводит к уменьшению вероятности $P(L_s^{(0)} | \{s_x\})$ и, как следствие, к уменьшению $U_s^{(0)}$ устойчивости во времени функций безопасности АС.

На практике АС, соответствующих системам первого и второго типа, не существует. Но современные информационные технологии все больше и больше «подвигают» АС к практической реализации в них принципа системности и, так называемого в [1], принципа максимальной информированности (ПМИ). То есть происходит смещение акцентов в сторону систем второго типа. Это обстоятельство создает нарушителю «благоприятные условия» для исследования потенциальной уязвимости АС по минимальной выборке ее элементов с незащищенным доступом к их информационным ресурсам.

Отказаться от применения современных информационных технологий в АС невозможно в принципе. В связи с этим возникает противоречие, определяющее содержание, так называемой в настоящей работе, *субпроблемы «системности»*. Формально ее можно представить как

$$\left. \begin{array}{l} \bigcup_{m \in N} s_m \xrightarrow{T_s \sim \left\{ \begin{array}{l} Di \rightarrow Di_{\max} \\ Ass \rightarrow Ass_{\max} \end{array} \right\}} S; \\ \left. \begin{array}{l} Di \rightarrow Di_{\max} \\ Ass \rightarrow Ass_{\max} \end{array} \right\} \sim H_u \rightarrow \min; \\ H_u \rightarrow \min \Big|_{fdi \rightarrow fdi_{\max}} \sim U_s \rightarrow \min \end{array} \right\} U_s(Di^*; Ass^*) \Big|_{fdi \rightarrow fdi_{\max}} \rightarrow \max, \quad (23)$$

где T_s – технология построения АС; Di – показатель информационной зависимости (*Dependence information*) элементов АС; Ass – признак системного множества (*Attribute of system set*); fdi – коэффициент распространения информации (*factor of distribution of the information*) об АС во ВС;

U_s – показатель стойкости функций безопасности АС (см. (7)).

В соответствии с рассмотренной *субпроблемой «системности»* необходимо ввести следующие критерии отбора элементов во множество $\{s_z^{(0)}\}$:

- количество информационных связей с другими элементами $\rightarrow \mathbf{max}$;
- количество информации об АС, содержащейся посредством информационных связей с другими элементами $\rightarrow \mathbf{max}$;
- текущее (или ожидаемое) значение коэффициента распространения информации во ВС $\rightarrow \mathbf{max}$.

Таким образом, с учетом *субпроблемы «системности»* в качестве первых шагов выявления множества уязвимых элементов $\{s_z^{(0)}\}$ необходимо: **первое**, определить вид и степень информационной зависимости элементов АС друг от друга; **второе**, классифицировать элементы по содержащемуся в их информационном поле количеству информации об АС (классификация предполагает учет количества и информативности связей с другими элементами); **третье**, определить для каждого элемента значение fdi с учетом факторов, способствующих появлению и распространению информации о нем во ВС; **четвертое**, провести классификацию элементов по значению fdi .

В качестве следующих шагов можно было бы определить выделение одного подмножества элементов по первым двум критериям и параллельно с ним подмножества элементов по последнему критерию. Пересечение этих подмножеств можно считать искомой выборкой элементов множества $\{s_z^{(0)}\}$, но это будет не верным, так как указанные выше критерии являются необходимыми, но недостаточными для точного и полного его формирования. Одной из причин этого является необходимость учета еще целого ряда обстоятельств, связанных с так называемыми, *субпроблемами «минимально устойчивых элементов»* и «элементов «домино», о которых речь

пойдет в следующих выпусках журнала.

Литература

1. Мёдов Н.Н., Смулов С.В., Соколов С.Ю., Шипилов А.В. Аналитический обзор основных терминов и определений, используемых при защите информации, циркулирующей в автоматизированных системах различного назначения // Известия Института инженерной физики, 2008. №1(7). С. 9-11.

2. Жилин Д.М. Теория систем: опыт построения курса. М.: Едиториал УРСС, 2003. 184 с.

3. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: Едиториал УРСС, 2000. 336 с.

4. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени. Пер. с англ. Ю.А. Данилова. 3-е изд. М.: Едиториал УРСС, 2001. 240 с.

5. Тарасенко Ф.П. Введение в курс теории информации. Томск: Издательство Томского университета, 1968. 240 с.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.052.42

ПОКАЗАТЕЛЬ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА ВЕРИФИКАЦИИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ АНАЛИЗЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ



Леонид Александрович Гулянский

кандидат технических наук, доцент

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)

Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: +7(499)158-58-68

Дмитрий Валерьевич Прянишников

аспирант

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)

Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: +7(499)158-58-68
Email: home1231@rambler.ru

В статье рассмотрены вопросы, связанные качеством программного обеспечения, жизненным циклом и методами верификации. Дана классификация ошибок ПО по уровню их критичности. Введен показатель применимости, используемый для определения оптимального комплекса методов верификации при проверке программного обеспечения. На основании данных, полученных во время экспериментов, проведено сравнение экспертизы и статического метода верификации.

The article discusses issues related to the quality of the software lifecycle and methods of verification. A classification of software errors on their level of criticality. An index of applicability is used to determine the optimum combination of verification methods when checking software. Based on the data obtained during the experiments, a comparison of static examination and verification method.

Ключевые слова: качество программного обеспечения, верификация, жизненный цикл, показатель применимости, результативность методов верификации.

Key words: software quality, verification, life cycle, an indicator of the applicability, effectiveness verification methods.

В современном компьютеризированном мире проблема безопасности программ приобретает первостепенное значение [1, 2]. Наличие уязвимостей в программных ресурсах информационных систем не только допускает реализацию промышленных компьютерных атак и вирусных эпидемий, но и может стать причиной различных непреднамеренных отказов и потери ресурсов [3]. Современные механизмы обнаружения недостатков программного обеспечения (ПО) направлены, как правило, на реализацию отдельных аспектов защиты. Целесообразным является разработка подходов к комплексному применению анализа для повышения качества ПО.

Развитие информационных технологий ведет к увеличению количества программных ошибок, таких как переполнение буфера, ошибки алгоритмов, преобразования и так далее [2, 3]. При

этом количество ошибок на тысячу строк кода варьируется от 5 до 50 ошибок [4]. Даже в тех системах, которые прошли строгий контроль качества, содержатся ошибки (приблизительно 5 ошибок на 1000 строк кода). В программной системе, прошедшей тестирование только на предмет работоспособности функциональных возможностей (что справедливо для большей части коммерческого программного обеспечения), присутствует намного больше ошибок – около 50 ошибок на 1000 строк кода. Большая часть программ как раз попадает в последнюю категорию. Многие поставщики программного обеспечения, предполагая, что выполняют строгий контроль качества, в действительности используют весьма поверхностные методы тестирования [2, 3].

Строгий контроль качества программного обеспечения должен включать в себя не только

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

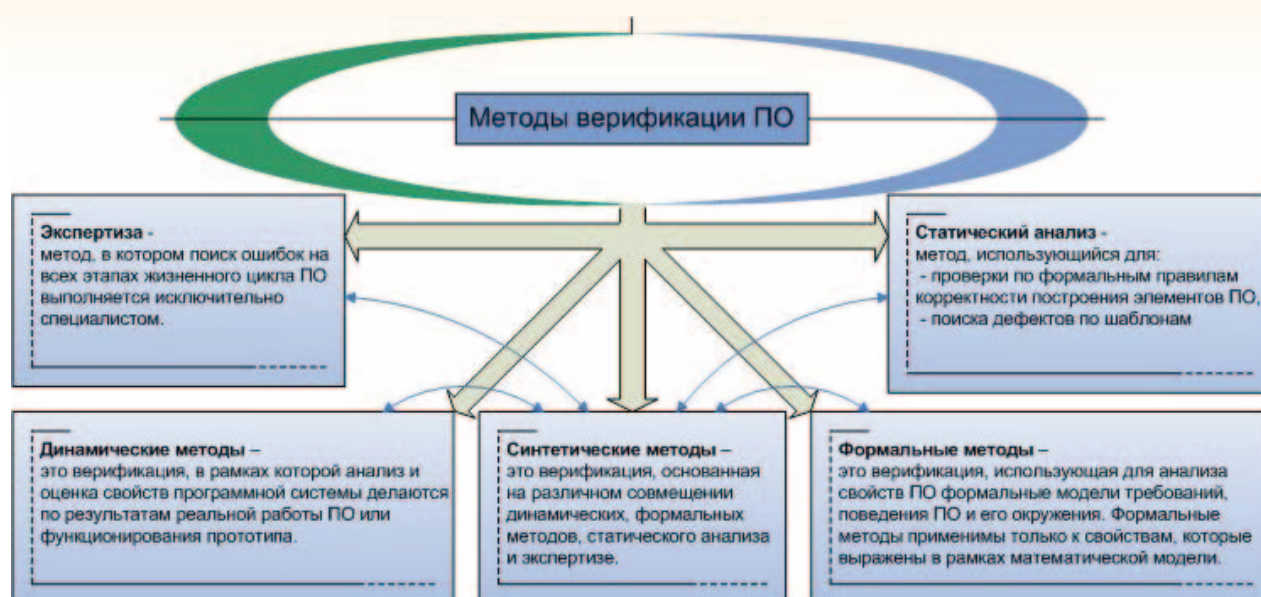


Рис. 1. Схема методов верификации ПО

тестирование возможностей программ, но и тестовое внесение неисправностей, а также анализ ошибок.

Определение качества программного обеспечения, приведенное в стандарте ISO 9126 – «совокупность его (ПО) характеристик, относящихся к возможности удовлетворять высказанные или подразумеваемые потребности всех заинтересованных лиц» [5] – допускает самое различное толкование этих потребностей и, как следствие, допускает большое количество несоответствий. Для повышения качества программного обеспечения создаются специализированные инструменты поиска ошибок¹ – верификаторы.

Существующие методы верификации, представленные на *рисунке 1*, применяются, в большинстве случаев, только на финальной стадии создания, что обусловлено высокой скоростью разработки и внедрения ПО [6, 7]. Это позволяет оперативно вывести ПО на рынок, однако, значительно увеличивает стоимость и трудоемкость исправления ошибок, обнаруживаемых впоследствии.

Наличие ошибок в коде, вызванное неэффективным использованием комплекса методов верификации, требует введения специального показателя, характеризующего целесообразность применения того или иного верификатора на каждом из этапов создания ПО, – *показателя применимости* метода верификации. При этом под *применимостью* метода верификации будем по-

нимать возможность реализации проверки программного продукта данным методом на каждом этапе жизненного цикла ПО с заданными показателями временных и финансовых затрат.

Для введения показателя применимости необходимо учесть, что методы верификации используются на разных стадиях разработки и эксплуатации ПО [8]. Поэтому дальнейшее исследование проведем на примере каскадной модели жизненного цикла (ЖЦ) ПО (*рисунк 2*), к этапам которого в рамках большинства исследований применяются известные методы верификации (см. *рисунк 1*).

Для анализа программного кода необходимо предварительно классифицировать ошибки по уровню их критичности, так как некоторые ошибки могут приводить к отказу всей системы, а другие носят лишь рекомендательный характер (например, для улучшения «читаемости» кода). Используем известную классификацию [2] с некоторыми введенными нами изменениями:

1. Causes crash («Разрушительные») – ошибки, которые могут повлиять на работу всей системы.

2. Critical («Критические») – ошибки, которые могут привести к «зависанию» или «падению» самой программы, не затрагивая операционной системы в целом.

3. Functional («Значимые», обычно их называют «Функциональными») – ошибки, не относящиеся к критическим, возникшие из-за несоответствия между демонстрируемыми и ожидаемыми (заявленными в документации) функциональными характеристиками ПО.

4. Minor («Малозначимые») – ошибки, не влияющие на работу ПО и достоверность отобра-

¹ Ошибками в ПО являются все возможные различия между демонстрируемыми характеристиками его качества и сформулированными требованиями.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

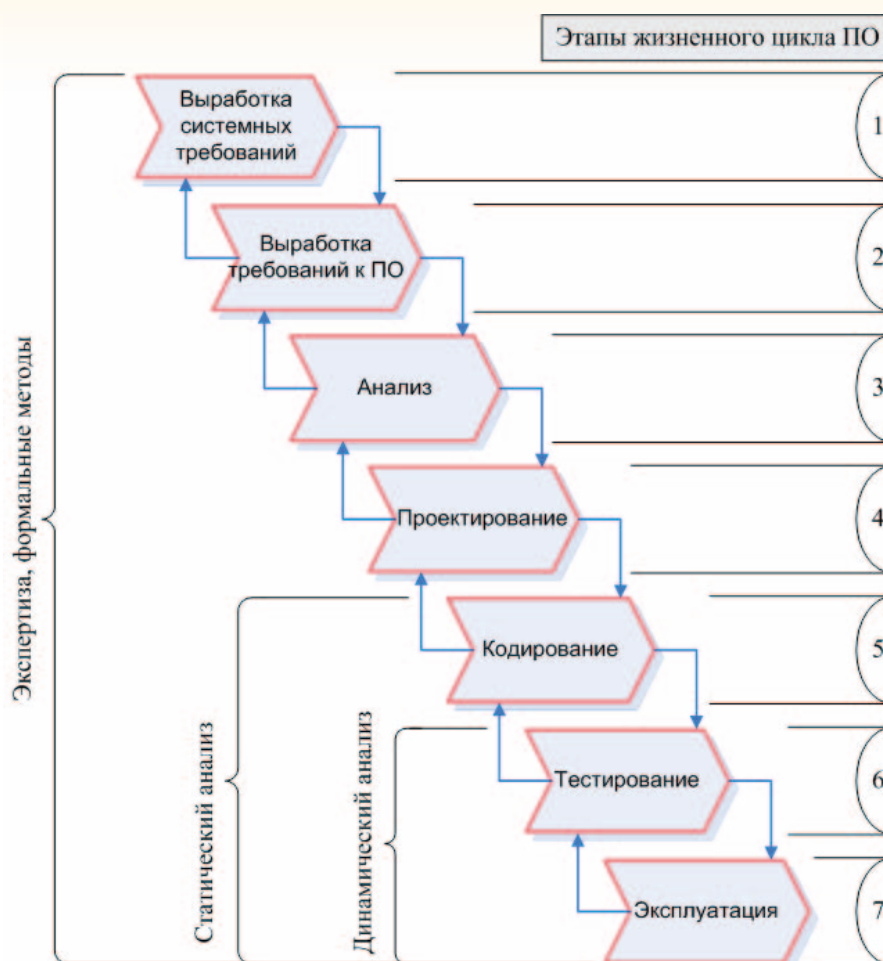


Рис. 2. Этапы ЖЦ и верификация ПО

жаемой информации, но приводящие к ухудшению качества программы в части удобства использования, «читаемости» кода и т.п.

Следует учесть, что ошибки 1–3 критичности влияют не только на функционирование исследуемого программного обеспечения, но и на систему в целом, поэтому дальнейший анализ будем проводить только по этим ошибкам (назовем этот класс ошибок – «Недопустимые»).

Введем *показатель применимости* (S) метода верификации – интегральный показатель, численно характеризующий целесообразность использования данного метода с точки зрения его результативности, возможности применения на каждом из этапов ЖЦ ПО, длительности процесса верификации и его экономической эффективности:

$$S = P \cdot K_i \cdot K_l \cdot K_s$$

где P – результативность верификации данным методом; K_i – коэффициент целесообразности; K_l – коэффициент длительности верификации данным методом; K_s – коэффициент экономической эффективности.

При этом, $\frac{p_i}{p_{cm}}$ –

результативность верификации данным методом, где p_i – количество найденных ошибок i -й критичности данным методом верификации на 1000 строк кода. Согласно приведенной выше классификации значение $i \in [1, 4]$;

n – количество строк кода, проверенных данным методом; p_{cm} – среднестатистический параметр, характеризующий количество типовых ошибок в ПО данного вида на 1000 строк кода.

H_i – введенный авторами коэффициент целесообразности, характеризующий возможность использования рассматриваемого метода верификации² на нескольких этапах, количество которых $I_{эм} = [1, 7]$, где H_i – показатель возможности применения метода верификации на данном этапе. Значение выбирается из *таблицы 1* ($H_i = 0$, если метод не-

2 Например, планирование применения динамического анализа на этапе «Проектирование» приводит к дополнительным расходам на оплату труда экспертов при «нулевом» результате верификации.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Таблица 1
Значение этапного коэффициента

Значение i	Метод	1	2	3	4	5	6	7
Значение H_i	Экспертиза	1	1	1	1	1	1	1
	Статический анализ	0	0	0	0	1	1	1
	Динамический анализ	0	0	0	0	0	1	1
	Формальные методы	1	1	1	1	1	1	1

целесообразно применять на данном этапе, в обратном случае – $H_i=1$);

$I_{ст}$ – количество этапов ЖЦ ПО, в котором метод применен (для каскадной модели на рисунке 2 значение $i \in [1, 7]$).



коэффициент длительности верификации данным методом,

где t_m – время верификации ПО данным методом, затраченное ЭВМ; t_s – время верификации ПО данным методом, затраченное экспертом; $t_{об}$ – время, затраченное на обслуживание и настройку оборудования при верификации данным методом; $t_{доп}$ – допустимое время, разрешенное на проведение верификации (например, установленное техническим заданием).



коэффициент экономической эффективности,

где $s_{инс}$ – стоимость инструментов верификации; $s_{экс}$ – оплата труда экспертов, выполняющих анализ ПО; $s_{об}$ – стоимость оборудования, включаю-

щая настройку и обслуживание, для проведения верификации; $s_{доп}$ – допустимая стоимость верификации ПО.

Следует учесть, что увеличение количества экспертов, закупка новых верификаторов и оборудования снизит время верификации ПО, но при этом увеличит расходы.

С целью оценки предложенного подхода по использованию показателя применимости были проведены эксперименты по верификации программного обеспечения с открытым исходным кодом. Объектом исследования стали 43 программы (наиболее известные из которых «Python», «MySQL», «Zip», «CMake», «GraphViz»). Для экспериментов выбраны методы статического анализа и экспертизы из-за их наиболее широкого применения в экспертных организациях. В качестве автоматизированного инструмента применен отечественный статический верификатор PVS-Studio, позволяющий выявлять различные ошибки программного кода, написанного на языке C/C++/C++0x [9]. Отметим, что экспертиза программ с открытым исходным кодом выполнена специалистами с опытом рабо-

Таблица 2
Результаты статического анализа

№	Тип ошибок	Основные разновидности ошибок	Кол-во ошибок
1	Ошибки работы с памятью	Переполнение буфера.	46
2	Ошибки алгоритма	Некорректное (или ошибочное) использование круглых скобочек и т.п.	37
3	Ошибки преобразования	Преобразование целочисленной константы в указатель.	49
4	Ошибки работы с виртуальными функциями	Отсутствие виртуального деструктора.	24
5	Ошибки вывода	Использование некорректного формата строки.	254
6	Избыточность	Использование нескольких функций с идентичными телами. Повторное присвоение значения переменной без её использования.	207
7	Ошибки условий	Идентичные условия в одной проверке. Идентичные условия после различных операторов выбора. Условие всегда верно/неверно.	118
Итого:			735

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

ты по верификации ПО более 5 лет. Результатом проведения экспертизы стало нахождение 125 ошибок, а статическим методом, как показано в таблице 2, выявлено 735 ошибок.

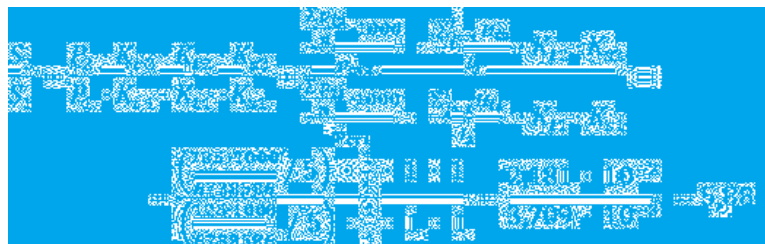
В качестве исходных данных приняты следующие: среднестатистическое количество типовых ошибок в ПО $p_{cm} = p_{cm1} = p_{cm2} = 5$ ошибок на 1000 строк кода, общий объем проверенного кода $n = n_1 = n_2 = 6738586$ строк, верификация проводилась на этапе «Эксплуатация»

$$\left(\frac{t_{обс1}}{t_{обс2}} = \frac{t_{м2}}{t_{м1}} \right),$$

коэффициент экономической эффективности $K_s = K_{s1} = K_{s2} = 1$, допустимое время верификации $t_{дон1} = t_{дон2} = 400$ часов, а время затраченное на статический анализ $t_{м1} = 16$ часов, $t_{с1} = 1$ час, $t_{обс1} = 0,5$ часа и экспертизу $t_{м2} = 0$ часов, $t_{с2} = 384$ часа, $t_{обс2} = 0$ часов.

Основываясь на приведенных данных экспериментов, проведем сравнение по показателю применимости экспертизы (S_1) и статического метода верификации (S_2) на этапе «Эксплуатация». С учетом таблицы 2 получим следующее значение результата сравнения показателей применимости S_1 (экспертизы) и S_2 (статического метода):

Из этого результата следует, что статический



метод верификации в 5,88 раз эффективнее экспертизы на этапе «Эксплуатация». Однако, при этом, множества найденных ошибок этими методами пересекаются лишь частично (см. рисунок 3).

Из этого следует, что совместное применение экспертизы и статического анализа на этапе «Эксплуатация» является обоснованным, т.к. найденные этими методами классы ошибок различны. Так, экспертиза, в отличие от статического верификатора, неэффективна для анализа программного кода, однако незаменима для анализа ПО на соответствие документации.

Комплексное применение методов верификации для нахождения различных классов ошибок позволяет использовать верификаторы с максимальной эффективностью. При этом показатель применимости позволяет определить наиболее целесообразное сочетание методов верификации для каждого этапа с заданной результатив-

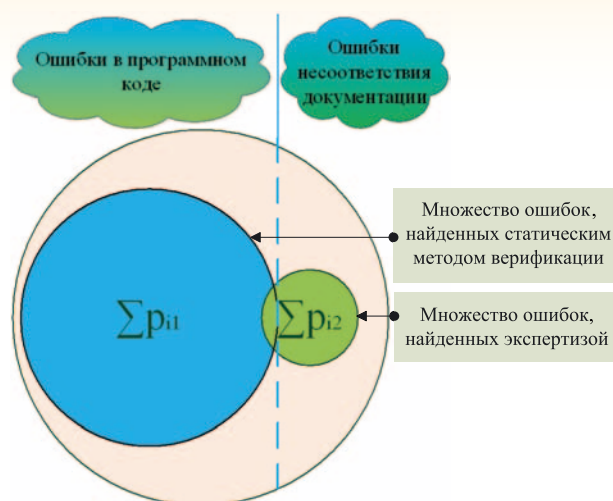


Рис. 3. Ошибки, найденные экспертизой и статическим методом

ностью для уменьшения длительности анализа и финансовых затрат.

Следует так же отметить, что все ошибки, выявленные статическим верификатором, допущены на этапе «Кодирование», а ошибки, обнаруженные экспертизой, – на этапах «Проектирование» и «Тестирование». Отсюда следует необходимость выявления ошибок на ранних этапах, поскольку при этом расходы на их обнаружение и устранение минимальны. Если же ошибки, допущенные во время кодирования, начнут выявлять только после ввода ПО в эксплуатацию, то расходы на их устранение возрастут минимум в 3 раза.

Литература

1. Джексон Д. Программы проверяют программы // В мире науки, 10 октября 2006. С. 53-57.
2. Шальто А.А., Красс А.С. Отчет о патентных исследованиях №2007.08.31-01 от 31 августа 2007 г. по теме: «Разработка технологии верификации управляющих программ со сложным поведением, построенные на основе автоматного подхода». 2007 с. 38.
3. Аджиев В. Мифы о безопасном ПО: уроки знаменитых катастроф. Интернет-ресурс: www.osp.ru/os/1998/06/179592/
4. Программное обеспечение – источник всех проблем. Интернет-ресурс: www.williamspublishing.com/PDF/5-8459-0785-3/part1.pdf
5. ISO/IEC 9126-1:2001. Software engineering – Software product quality – Part 1: Quality model.
6. Кулямин В.В. Методы верификации программного обеспечения. М.: Институт Системного Программирования РАН, 2008. 111 с.
7. Ицыксон В.М. Промышленные технологии проектирования ПО. КСипТ, 2010. с. 51.
8. Орлик С. Введение в программную инженерию и управление жизненным циклом ПО. Интернет-ресурс: http://www.sorlik.ru/4-software_lifecycle_models.pdf
9. PVS-Studio. Статический анализатор кода для C/C++/C++11. Интернет-ресурс: <http://www.viva64.com/ru/pvs-studio>

УДК 519.8

ПРОЦЕДУРЫ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Анатолий Александрович Котов

доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)36-21-54

Сергей Юрьевич Дмитриев

ведущий инженер
ОАО Серпуховский завод «Металлист»
Адрес: 142200, Московская обл.,
Серпухов г., ул. Луначарского, д. 32
Тел.: +7(4967)78-22-05

На основании использования положений теории векторной оптимизации и метода последовательных уступок проводится сравнительная оценка и выбор оптимального варианта системы поддержки принятия управленческих решений, исходя из учета ее важности по совокупности показателей свойств.

Based on the use of the theory vector optimization and the method successive concessions conducted a comparative evaluation and choice of optimal system, by taking into account its importance the total properties indicators.

Ключевые слова: ранжирование, важность, выбор, оптимальный вариант системы.

Key words: ranking importance choice, the optimal variant of the system.

Исходя из анализа результатов проведенных исследований в организациях и учреждениях России можно заключить, что отсутствуют практические разработки по сравнительной оценке и выбору оптимального варианта системы поддержки принятия управленческих решений (СППУР) при проектировании военной техники (ВТ) на основе использования векторной оптимизации показателей ее основных свойств [1-7]. Решение такой задачи в общем случае представляет собой весьма большие трудности, так как сравнительный анализ и синтез СППУР в структурном, технологическом и других отношениях, требует к себе многопланового системного подхода. В связи с этим описание и оценивание должны вестись по целому ряду свойств и показателей, каждый из которых отражал бы отдельные аспекты функционирования СППУР.

Но это, в свою очередь, в значительной степени затрудняет формализацию показателей и критериев для решения задачи сравнительной оценки, ранжирования и выбора наилучшего варианта СППУР. В общем случае ранжирование вариантов СППУР тесно связано с понятием важности, которую необходимо рассматри-

вать исходя из их роли и значения в масштабе всех вариантов рассматриваемой системы. Тогда показатель важности оценивается тем эффектом, который достигается при «изъятии» рассматриваемого варианта системы из этого масштаба.

Как правило, показатель важности варианта системы СППУР является функцией многих аргументов. К сожалению, в настоящее время такие показатели не имеют строгого аналитического описания из-за неполноты знаний, разнородности свойств и исходной информации, не взаимосвязанности между собой и других [1]. С практической точки зрения необходимо иметь оценки важности вариантов СППУР, полученные путем учета ее различных свойств, а именно: оперативности подготовки данных, их надежности, защищенности, управляемости, достоверности, обновляемости, восстанавливаемости, точности, устойчивости, стоимости и других. Отсюда возникает множественность показателей и, связанная с этим необходимость многопоказательного подхода при попытках оценить важность того или иного варианта СППУР и построить их ранжированную последовательность. При этом, естественно, под более важным вари-

антом СППУР следует понимать такой, «выбор» которого приводит к наилучшему результату по совокупности показателей, чем «выбор» других вариантов.

Известно, что в условиях неопределенности исходной информации большой теоретический и практический интерес представляют вопросы формализации и использования для решения рассматриваемых задач качественной информации о важности показателей, то есть сведений типа «один показатель важнее другого» или же «оба показателя равноценны». Вполне понятно, что такая информация о важности показателей является более достоверной и доступной лицу принимающему решение, чем количественная информация в форме коэффициентов важности, которые назначаются, как правило, экспертным путем [2, 3]. Поэтому полученные с помощью качественной информации выводы по решаемой задаче должны быть более достоверными, хотя, в ряде случаев, результаты моделирования могут оказаться менее точными. На наш взгляд, именно такое положение имеет место при оценке важности вариантов СППУР по совокупности показателей свойств, так как не имеется достаточных оснований для получения количественных значений коэффициентов важности показателей свойств.

Исходя из вышеизложенного, для решения рассматриваемой задачи был выбран метод последовательных уступок, относящийся к итеративным методам решения многокритериальных задач [2], практические процедуры применения которого уточнены и дополнены в соответствии с рассматриваемыми условиями, ограничениями и допущениями.

Тогда задачу ранжирования вариантов СППУР по важности с учетом совокупности свойств и показателей этих свойств можно сформулировать следующим образом:

- пусть имеется $1, 2, \dots, m$ вариантов СППУР и каждый из них описывается $1, 2, \dots, n$ показателями определенных свойств;

- все n показателей ранжированы по важности с учетом качественных соображений, например, последовательность $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ означает, что показатель P_1 важнее, чем P_2 , а показатель P_2 важнее, чем P_3 и т.д.

Требуется отранжировать все m вариантов СППУР по важности, понимая под этим следующее:

- на первом месте ранжированной последовательности вариантов СППУР должен находиться вариант, например, с индексом один, при использовании которого достигается наибольший эффект с учетом всех n показателей;

- на втором месте ранжированной последовательности вариантов СППУР должен стоять вариант, например, с индексом два, при применении которого достигается эффект, меньший чем при использовании варианта номер один и больший, чем при использовании последующих вариантов с учетом всех n показателей.

Аналогичным образом проводится дальнейшая расстановка «оставшихся» $m-2$ вариантов рассматриваемой системы по важности в их ранжированной последовательности.

В качестве исходной информации для решения рассматриваемой задачи используется матрица $\|P_{ij}\|$, где $(i = \overline{1, m})$ и $(j = \overline{1, n})$. Так как, в большинстве случаев, исходные данные являются неоднородными и выражаются в разных единицах измерения, то они должны быть преобразованы в относительные величины, например, путем деления текущих значений показателей на их максимальные (наибольшие) значения.

Алгоритм решения сформулированной выше задачи на основе применения метода последовательных уступок состоит в следующем [6, 7]. Будем рассматривать решение задачи по шагам. При этом шаги будут отличаться друг от друга количеством вариантов СППУР, не попавших в заданную уступку на определенном показателе.

Тогда на первом шаге реализуются следующие процедуры:

найти $\Theta_1 = \sup_{i \in V_1} P_{i1}$, где $I \in V_1$;

найти $\Theta_2 = \sup_{i \in V_2} P_{i2}$, где $I - I_1 \in V_2$

при $P_1(V) \geq \Theta_1 - \Delta_1$, $\Delta_1 = \alpha_1 \cdot \Theta_1$, $0 < \alpha_1 < 1$;

найти $\Theta_3 = \sup_{i \in V_3} P_{i3}$, где $I - I_j \in V_3$

при $P_j(V) \geq \Theta_j - \Delta_j$, $\Delta_j = \alpha_j \cdot \Theta_j$,
 $0 < \alpha_j < 1$, $j = 1, 2$;

найти $\Theta_n = \sup_{i \in V_n} P_{in}$, где $I - I_1 - I_2 - \dots - I_{n-1} \in V_n$

при $P_j(V) \geq \Theta_j - \Delta_j$, $\Delta_j = \alpha_j \cdot \Theta_j$,
 $0 < \alpha_j < 1$, $j = 1, n-1$,

где Δ, α – абсолютная и относительная уступки по показателям свойств системы соответственно.

При этом множество V_1 включает I вариантов СППУР, множество V_2 включает $I - I_1$ вариантов данной системы, множество V_3 включает $I - I_1 - I_2$ вариантов системы и т.д. V_n включает, как правило, один вариант системы. Такой вариант является наилучшим, исходя из всех рассмотренных показателей, и при условии, что может быть вы-

Таблица 1
Матрица исходных данных
для сравнительной оценки и выбора оптимального варианта СППУР

Номер варианта СППУР	Свойства					
	Оперативность подготовки данных	Обновляемость данных	Надежность данных	Защищенность данных	Восстанавливаемость данных	Стоимость системы
	Показатели свойств					
	Коэффициент оперативности	Вероятность обновления	Вероятность безотказного функционирования	Коэффициент защищенности	Вероятность восстановления	Средняя стоимость системы
	Обозначения и значения показателей свойств					
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	C
1	0,92	0,64	0,93	0,73	0,84	-0,92
2	0,96	0,60	0,95	0,71	0,82	-0,90
3	0,98	0,58	0,89	0,68	0,81	-1,00
4	0,95	0,56	0,91	0,69	0,86	-0,98
5	0,97	0,60	0,92	0,74	0,87	-0,96
6	0,94	0,57	0,90	0,70	0,88	-0,91

бран только один вариант системы. На втором шаге реализуется аналогичная схема, только в данном случае рассматривается в исходном варианте $m-1$ вариантов системы. На третьем шаге рассматривается $m-k$ таких вариантов, где k – количество вариантов системы, распределенных по важности на первом и втором шагах и т.д.

В частном случае при реализации n -ой процедуры в заданную уступку могут попасть несколько вариантов системы, тогда предпочтение отдается тому варианту, у которого показатель P_1 (самый важный) имеет большее значение, а если значения P_1 равны, то тому варианту, у которого показатель P_2 имеет большее значение и т.д. Возможно также прекращение решения частных задач на i -ом шаге, не доходя до решения n -ой частной задачи ввиду того, что выбор оптимального варианта СППУР выполняется на j -ом показателе, причем $j < n$. В этом случае $n-j$ показателей «не работают» и необходимо определиться с величиной уступки D_j , т.е. ее уменьшить. Кроме того, прежде чем выполнить второй шаг, необходимо (может быть многократно) вернуться к подмножествам вариантов системы $V_1 - V_2, V_1 - V_2 - V_3$ и т.д. и распределить «осевшие» варианты $I_1 - I_2, I_1 - I_2 - I_3$ и т.д. на показателях P_2, P_3, \dots, P_n и не удовлетворивших условию $K_j(V)^3 q_j - D_j$, т.е. не попавших в заданные уступки. Распределение «осевших» вариантов систе-

мы необходимо начинать на самом последнем в ранжированном ряду показателе, затем на предпоследнем показателе и т.д. до показателя P_2 .

Для подтверждения теоретических рассуждений и работоспособности алгоритма решения задачи рассмотрим иллюстративный пример сравнительной оценки и выбора оптимального варианта СППУР (таблица 1).

Предположим, что имеется шесть вариантов системы, каждый из которых характеризуется совокупностью одинаковых показателей свойств. Причем показатели свойств отранжированы по важности на основе экспертного подхода, то есть $\{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6\}$, и, как правило, используются их средние значения. Исходная информация о значениях показателей свойств системы может быть получена на основе обработки статистических материалов, аналитическим и статистическим моделированием процесса ее функционирования в различных условиях. Величина относительной «уступки» по показателям свойств может изменяться в пределах $0 < a < 1$, однако предпочтительнее ее значения до 0,3, иначе произойдет потеря работоспособности используемого метода.

В таблице показатели свойств представлены как безразмерные, кроме шестого показателя, для которого была применена процедура деления текущих значений на максимальное

значение в столбце матрицы. И, кроме того, чтобы не изменять заложенную в алгоритме процедуру максимизации, все значения шестого показателя (стоимости варианта СППУР) представлены со знаком минус (можно было в этом случае использовать процедуру минимизации).

Следовательно, реализация процедуры максимизации по пяти показателям и минимизации по шестому показателю (стоимости) приводят к наилучшему результату, т.е. к определению оптимального варианта системы и построению их ранжированной последовательности. Следует отметить, что если введены определенные ограничения по показателям свойств, то в этом случае не рассматриваются варианты системы, которые не удовлетворяют наложенным ограничениям хотя бы по одному показателю свойства.

Практическая процедура итеративного решения примера данной задачи состоит из нескольких шагов.

На первом шаге:

- определяется наибольшее (максимальное) значение первого показателя – $P_1 = 0,98$ для варианта № 3 (см. таблицу 1);

- назначается относительная величина «уступки» по первому показателю – $a=0,05$, т.е. 5%;

- определяется абсолютная величина «уступки» по первому показателю – $D=a \times P_1 = 0,05 \times 0,98 = 0,049$;

- вычисляется разность $R = P_1 - D = 0,98 - 0,049 = 0,931$;

- проверяется условие: если значение первого показателя i -го варианта больше или равно $0,931$, то он будет рассматриваться на втором показателе; если значение первого показателя меньше $0,931$, то вариант остается на прежнем месте; в данном случае на втором показателе будут рассматриваться варианты под номерами 2,3,4,5,6 и не рассматриваться – вариант под номером 1, так как его значение меньше R (см. таблицу 1).

На последующих шагах проводятся аналогичные первому шагу логические и математические операции.

На втором шаге: $P_2=0,60$; $a=0,05$; $D=0,03$; $R=0,57$; тогда варианты под номерами 2,3,5,6 будут рассматриваться на третьем показателе, так как значения их показателей больше R , и не будет рассматриваться вариант под номером 4, так как значение его показателя меньше R .

На третьем шаге: $P_3=0,95$; $a=0,05$; $D=0,0475$; $R=0,9025$ тогда варианты под номерами 2 и 5 будут рассматриваться на четвертом показателе, а варианты под номерами 3 и 6 не будут рассма-

триваться, т.к. значения их показателей меньше R .

На четвертом шаге: $P_4=0,74$; $a=0,05$; $D=0,037$; $R=0,703$; варианты под номерами 2 и 5 будут рассматриваться на пятом показателе, так как значения их показателей больше R .

На пятом шаге: $P_5=0,87$; $a=0,05$; $D=0,0435$; $R=0,8265$; тогда варианты под номерами 2 и 5 будут рассматриваться на шестом показателе, так как значения их показателей больше R .

На шестом шаге: $C=-0,90$; $a=0,05$; $D=0,045$; $R=-0,945$; только вариант под номером 2 удовлетворяет поставленным требованиям и, следовательно, является наилучшим из всех рассматриваемых вариантов системы по совокупности показателей, и которому должно быть отдано предпочтение при выборе для разработки или применения системы (см. таблицу 1).

Полученные результаты позволили сформировать ранжированную последовательность вариантов системы, которые представлены в ней по номерам: 2,5,6,3,4,1. При этом для расстановки по соответствующим местам в ранжированном ряду вариантов под номерами 3 и 6, «осевших» на третьем показателе, пришлось заново повторить вышеизложенную процедуру сравнительной оценки.

В связи с тем, что в общем случае величина «уступки» и важность показателей, определяемая их последовательностью $\{P_i\}$, где $(i=\overline{1,n})$, назначаются на основе экспертного подхода, то для снижения уровня субъективности можно провести оценивание устойчивости получаемых ранжированных последовательностей вариантов системы при варьировании величины «уступки» в определенных пределах $(0 < a < 1)$ и изменении важности показателей, т.е. вместо последовательности $\{P_1, P_2, P_3, \dots, P_n\}$ использовать другие последовательности: $\{P_2, P_3, P_4, \dots, P_n\}$ или $\{P_3, P_4, P_5, \dots, P_n\}$ и т.д., исходя при этом из сущности решаемой задачи.

На основе вышеизложенного, разработана машинная программа, позволяющая транжировать варианты СППУР по совокупности показателей их свойств, оценить их устойчивость и учесть закономерности изменения вариантов системы в ранжированном ряду при варьировании исходных данных.

Таким образом, полученные результаты позволяют провести ранжирование различных вариантов однотипных систем и выбрать оптимальные из них по совокупности показателей. Их можно использовать при сравнительной оценке и анализе вариантов различных технических систем, сформированных на основе

других методологических и методических подходов, для повышения достоверности обоснования их потенциальной эффективности применения при управлении проектированием военной техники.

Литература

1. Айзерман М.А., Алексеров Ф.Г. Выбор вариантов: основы теории. М.: Наука, 1990. 316 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Дрофа, 2004. 208 с.
3. Воробьев С.Н., Уткин В.Б. Теория обоснования военно-технических решений. М.: РВСН, 2003. 468 с.
4. Подиновский В.В. Введение в теорию важности критериев. М.: Физматлит, 2007. 64 с.
5. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. М.: Мир, 1990. 206 с.
6. Котов А.А., Рыженков А.А. Методические особен-

ности оценивания важности и ранжирования вариантов сложной технической системы на основе применения метода последовательных уступок // Известия Института инженерной физики, 2007. №3(5). С. 12-14.

7. Котов А.А., Тарасов И.В., Кузнецов К.М. Сравнительная оценка и выбор оптимального варианта системы ракетного вооружения // Стратегическая инженерная академия, 2014. №1(66). С. 39-42.

8. Котов А.А., Рыженков В.А. Моделирование процесса формирования базы данных в условиях старения и обновления части исходной информации о состоянии систем различного назначения // Известия Института инженерной физики, 2008. №2(8). С. 34-37.

9. Котов А.А., Никитин И.А. Методический подход к формированию и выбору рациональной логической структуры экспертно-информационной системы управления развитием вооружения // Известия Института инженерной физики, 2013. №3(29). С. 49-53.



ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ РАБОЧЕГО КОЛЕСА НА ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ*

Виктор Ефимович Аксёнов

доктор технических наук, профессор

профессор кафедры
филиал ВА РВСН имени Петра Великого
(г. Серпухов)

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

ул. Бригадная, д. 17

Тел.: +7(4967)35-23-92, 78-96-09

Виктор Евгеньевич Петров

научный сотрудник

МОУ «ИИФ»

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

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

В статье с использованием методов вычислительной гидродинамики определяется влияние отклонений основных размеров рабочего колеса, таких как толщина лопатки, ширина межлопаточного канала, величина выходного угла лопатки на напорно-расходную характеристику и кпд центробежного насоса.

This paper aims on analysis of centrifugal pump performance curve (pump discharge head and pump efficiency) sensitivity to geometrical parameters deviations from main values using computational fluid dynamic methods. Such geometrical parameters as impeller blade thickness, impeller channel width, blade outlet angle were analyzed.

Ключевые слова: центробежный насос, рабочее колесо, напорно-расходная характеристика, вычислительная гидродинамика, CFD.

Key words: centrifugal pump, impeller, pump performance curve, computational fluid dynamics, CFD.

Насосные агрегаты являются одним из наиболее распространенных продуктов машиностроения и встречаются во всех без исключения отраслях народного хозяйства. Современный курс развития промышленности, направленный на повышение эффективности и снижение материальных затрат на производствах [1] в свою очередь предъявляет новые требования к конструкциям насосных агрегатов, их производительности, энергоэффективности, материалоемкости и технологичности. Однако, даже учитывая современную глубину понимания процессов, происходящих в проточной части насосов, это все еще является достаточно сложной задачей, обусловленной значительным количеством конструктивных элементов проточной части, оказывающих влияние на гидродинамические процессы, а также невозможностью их отдельного изучения, вне проточной части, ввиду существенности их взаимного влияния [2]. В этой связи широкое распространение при проектировании и оптимизации конструкций насосных агрегатов получает использование методов вычислительной гидродинамики или CFD (Com-

putational Fluid Dynamic), которые постепенно становятся стандартом для насосостроительной промышленности. Доказательством этого является значительное количество научных статей, посвященных тематике насосов, опубликованных в последние годы [3-7].

Основными технико-экономическими свойствами насоса, отражающими его эффективность, являются его напорно-расходная характеристика, показывающая величину развиваемого напора в зависимости от количества перекачиваемой жидкости – расхода, и также зависящая от расхода величина к.п.д. Для каждой конкретной величины расхода к.п.д. определяется как:

$$\eta = \frac{N_{\text{пол}}}{N}, \quad (1)$$

где η – к.п.д.;

N – мощность, подведенная к валу (Вт);

$N_{\text{пол}}$ – полезная мощность насоса (Вт).

Полезная мощность в ватах определяется как произведение величины развиваемого напора на соответствующий этому напору расход жидкости

$$N_{\text{пол}} = HQ, \quad (2)$$

где H – развиваемый напор (Па);

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №12-06-00243а.

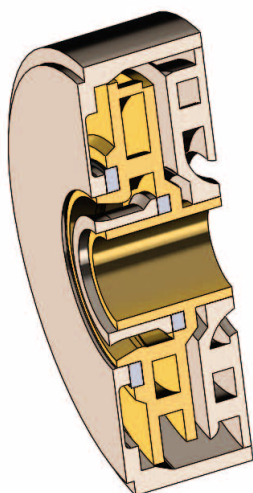


Рис. 1. Ступень центробежного насоса ЭЦНД5А-35

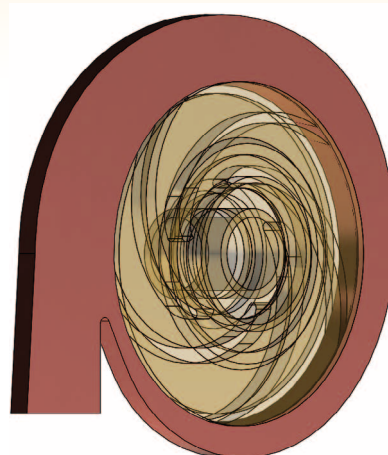


Рис. 2. Центробежный насос со спиральным отводом

Q – расход перекачиваемой жидкости ($\text{м}^3/\text{с}$).
Мощность, подведенная к валу, вычисляется согласно формуле:

$$N = M2\pi n, \quad (3)$$

где M – крутящий момент на валу насоса (Нм);
 n – скорость вращения (об/с).

Окончательное определение приведенных выше параметров проводится на заводских стендах натуральных испытаний и вносится в паспорт изделия. Однако значения этих величин даже для конкретной проектной конструкции могут варьироваться в некоторых пределах, исходя из допусков на основные размеры проточной части рабочего колеса и направляющего аппарата. Ввиду того, что увеличение точности изготовления элементов конструкции может в значительной степени влиять на итоговую стоимость изделия, необходимо определить степень влияния неопределенностей итоговых размеров проточной части на ее характеристики и на этой основе рекомендовать повышение или понижение требований к точности отдельных размеров, что позволит, сохраняя эффективность конструкции, снизить затраты на ее производство.

Проведение таких исследований, используя данные натуральных экспериментов, не является целесообразным. Это связано с тем, что требования к точности размеров экспериментальных образцов будут значительно выше требований к точности размеров базовой конструкции для обеспечения их дифференциации. Значительным будет и количество требуемых экспериментальных образцов для варьирования абсолютных величин интересующих размеров и их взаимных комбинаций. Методы численного моделирования характеристик насосного агре-

гата при достаточной глубине пространственной дискретизации расчетной области позволяют выполнять анализ, задаваясь абсолютными величинами геометрических размеров, а также варьировать конкретный размер или группу размеров в пределах поля допуска. Это позволяет оценить непосредственный вклад возможного отклонения размера и сформулировать оптимизированные требования к точности обработки элементов конструкции.

Значительное количество варьируемых параметров и их взаимные комбинации, а также необходимость выполнения расчетов каждого варианта конструкции для нескольких значений расхода перекачиваемой жидкости, требует наличия значительных вычислительных мощностей. В частности, для учета влияния 4 размеров и 4 вариантов для каждого размера и 10 значений расходов потребуется провести $4^4 \cdot 10 = 2560$ расчетов, на каждый из которых затрачивается по несколько часов машинного времени.

Согласно статистике можно использовать допущение, что вариация абсолютной величины размера соответствует нормальному закону распределения Гаусса и для сокращения количества требуемых расчетов можно использовать различные статистические методы анализа, такие как метод Монте-Карло [8], метод Латинского гиперкуба [9], метод полиномиального хаоса [10]. Однако до окончательного выбора варьируемых размеров следует выполнить предварительное расчетное исследование, позволяющее оценить значительность влияния того или иного размера на основные характеристики насоса.

В качестве базовой модели исследования была выбрана ступень погружного центробеж-

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

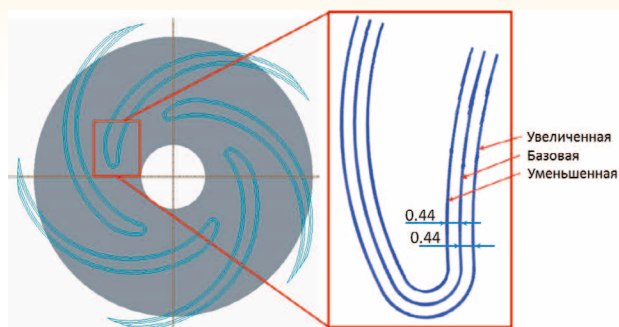


Рис. 3. Толщина лопатки

ного насоса ЭЦНД5А-35 [11] (рисунки 1). Предыдущий анализ данной конструкции [12] с использованием методологии CFD показал хорошую согласованность экспериментальных и расчетных значений напора и к.п.д. Ввиду того, что направляющий аппарат для насосов такого типа проектируется исходя из конструкции рабочего колеса, то его вклад в величину напора, развиваемого ступенью, может варьироваться в зависимости от размеров лопаток рабочего колеса. Для предотвращения возникновения такого рода погрешности лопаточный направляющий аппарат был заменен на упрощенный спиральный отвод (рисунки 2).

К определяющим размерам рабочего колеса, используемым для инженерной оценки его характеристик, согласно струйной теории Эйлера, относятся диаметры входа и выхода, диа-

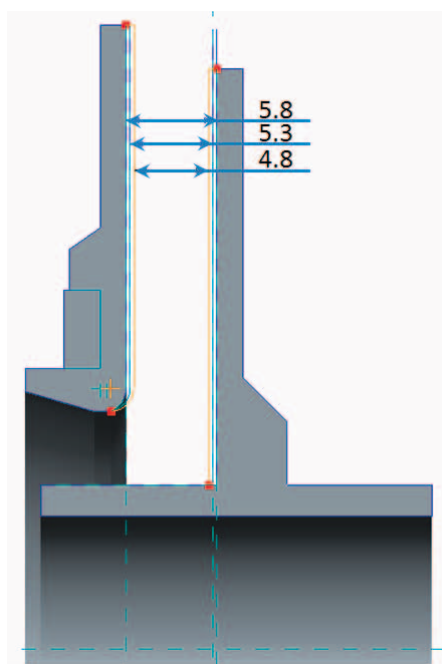


Рис. 4. Ширина канала

метр втулки, ширина канала, количество лопастей, лопаточные углы, толщина лопатки и др. В текущем исследовании, помимо базовой конструкции, в которой рабочее колесо оставалось идентичным ЭЦНД5А-35, расчеты были выполнены для уменьшенной и увеличенной толщин лопатки (рисунки 3), уменьшенной и увеличенной ширины канала (рисунки 4) и уменьшенного и увеличенного выходного угла (рисунки 5).

В качестве перекачиваемой жидкости использовалась вода при следующих параметрах:

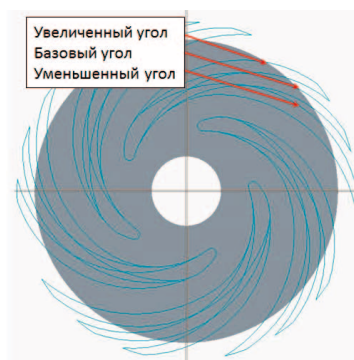


Рис. 5. Расчетная сетка

плотность 1000 кг/м^3 , динамическая вязкость $0.001 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Расчетная сетка изображена на рисунке 6. Общее количество расчетных элементов составило ~ 200 тысяч многогранных ячеек.

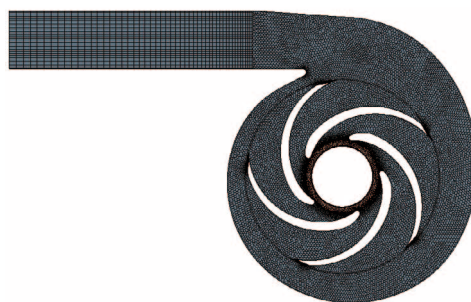


Рис. 6. Выходной угол

Выходная граница расчетной области удлинена на 100 мм путем экструзии поверхностной сетки приходящийся на выход спирального отвода. Такая модификация позволяет избежать появления обратных токов вблизи выходного граничного условия, связанных с образованием зон рециркуляции особенно характерных для работы при малых расходах. Согласно множеству исследований [13, 14] для анализа интегральных характеристик центробежных насосных агрегатов достаточным является использование двухпараметрических моделей турбулент-

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

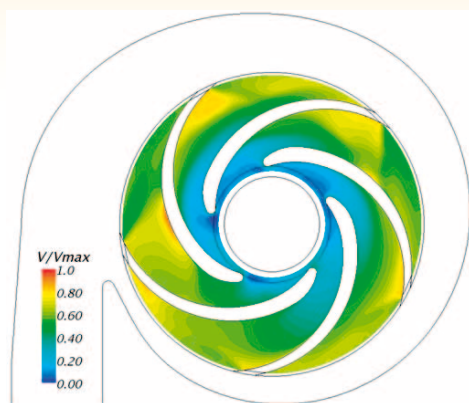


Рис. 7. Поле скоростей (скалярная форма)

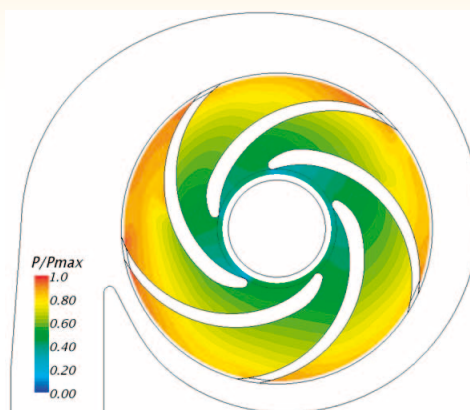
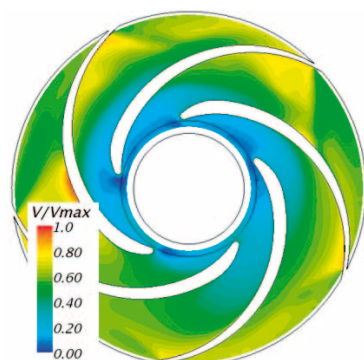
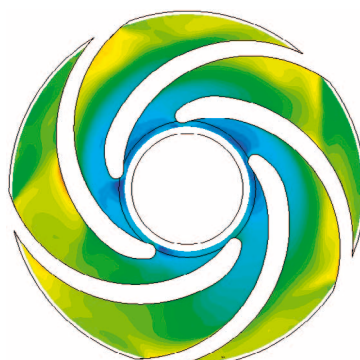


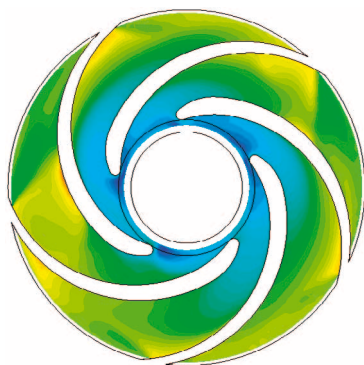
Рис. 8. Поле скоростей (векторная форма)



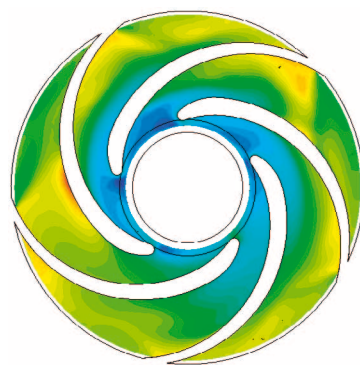
(а) Уменьшенная ширина лопатки



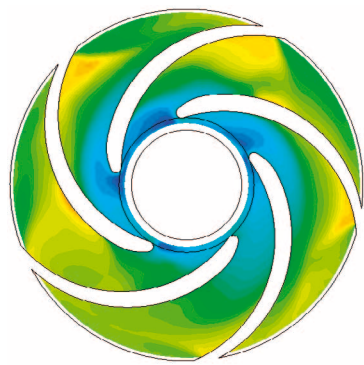
(б) Увеличенная ширина лопатки



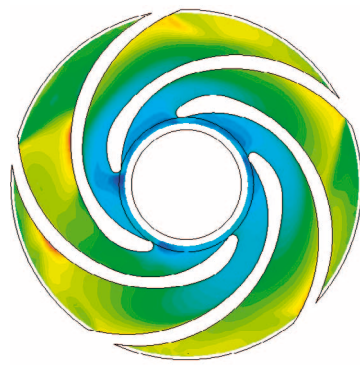
(в) Зауженный канал



(г) Расширенный канал



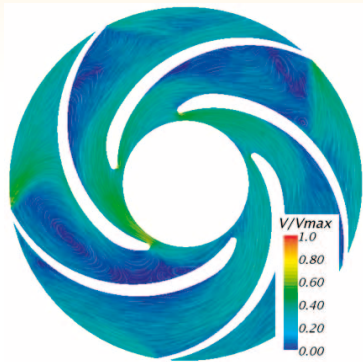
(д) Увеличенный выходной угол лопатки



(е) Уменьшенный выходной угол лопатки

Рис. 9. Скалярное поле скорости в срединном сечении рабочего колеса

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ



(а) Уменьшенная ширина лопатки



(б) Увеличенная ширина лопатки



(в) Зауженный канал



(г) Расширенный канал



(д) Увеличенный выходной угол лопатки



(е) Уменьшенный выходной угол лопатки

Рис. 10. Векторное поле скорости в срединном сечении рабочего колеса

ности, основанных на гипотезе Буссинеска [15], согласно которой тензор реинольдсовых напряжений можно определить как произведение турбулентной вязкости на составляющие тензора осредненных скоростей деформации:

$$\tau_{ij} = 2\mu_t S_{ij}^* - \rho k \delta_{ij} \quad (4)$$

где τ_{ij} – тензор реинольдсовых напряжений;
 μ_t – турбулентная вязкость;
 S_{ij}^* – тензор осредненных скоростей деформаций;
 ρ – плотность жидкости;
 k – кинетическая энергия турбулентности;
 δ_{ij} – тензор Кронекера.

В этой связи для адекватного моделирования турбулентных эффектов в качестве основной была выбрана двухпараметрическая realizable k-ε двухслойная модель [16]. Для уточнения влияния модели турбулентности была выполнена серия расчетов с использованием модели напряжений Рейнольдса в постановке SSG[17], отличия в значениях напора и крутящего момента составили ~0.8% и ~4% соответственно.

Поля скоростей и давлений перекачиваемой жидкости для базовой конструкции насоса при проектной величине расхода, составляющей 35м³/сут., представлено на рисунке 7 и рисунке 8 соответственно. Где некоторая асимметрич-

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

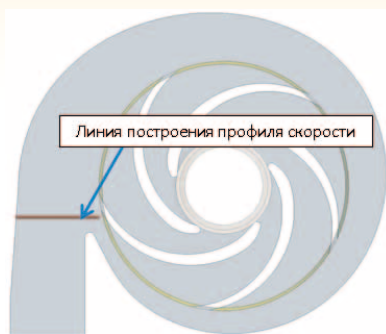


Рис. 11. Линия перехода в диффузорный участок



Рис. 12. Линия выхода из рабочего колеса

ность распределений модулей скорости обусловлена использованием спирального отвода, а не равномерный прирост давления на выходе из межлопаточного канала, что может быть связано с недостаточной затесненностью межлопаточного канала на выходе из рабочего колеса.

Для качественной оценки картины течения в рабочих колесах с модифицированными размерами (рисунки 3-5) на рисунке 9 представлены скалярные поля скоростей для каждого варианта конструкции при величине расхода, составляющей $35\text{ м}^3/\text{сут}$. Для большей наглядности вихревой структуры потока на рисунке 10 представлено то же сечение рабочего колеса, однако, трехмерные векторные поля скоростей визуализированы с использованием метода локального интегрального сглаживания (linear integral convolution) [18]. Такой способ позволяет, в том числе идентифицировать зоны значительного перекрытия полезного сечения межлопаточных каналов вихревыми структурами. Например, на

рисунке 10 (г) очевидно существенное увеличение числа вихрей в одном из межлопаточных каналов, которое можно объяснить невозможностью формирования крупного вихря из-за значительной затесненности канала.

Количественно оценить влияния выбранных размеров можно на основании локальных профилей скоростей, построенных на линии перехода спирального отвода в диффузорный участок (рисунок 11) и на выходе из рабочего колеса (рисунок 12). На основании рисунка 13 можно заключить об общей схожести профилей скоростей на линии перехода спирального отвода в диффузорный участок, однако можно отметить более низкие значения величин скорости для расширенного канала, связанные с его большим проходным сечением и обратный эффект для зауженного канала. Несколько повышенную скорость потока вблизи рабочего колеса можно наблюдать для модели с увеличенной величиной выходного угла лопатки.

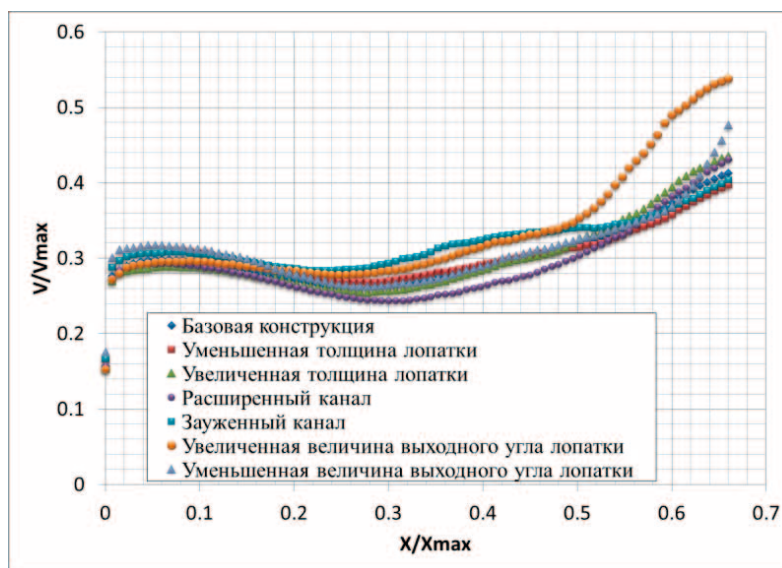


Рис. 13. Профиль скорости на линии перехода в диффузорный участок

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

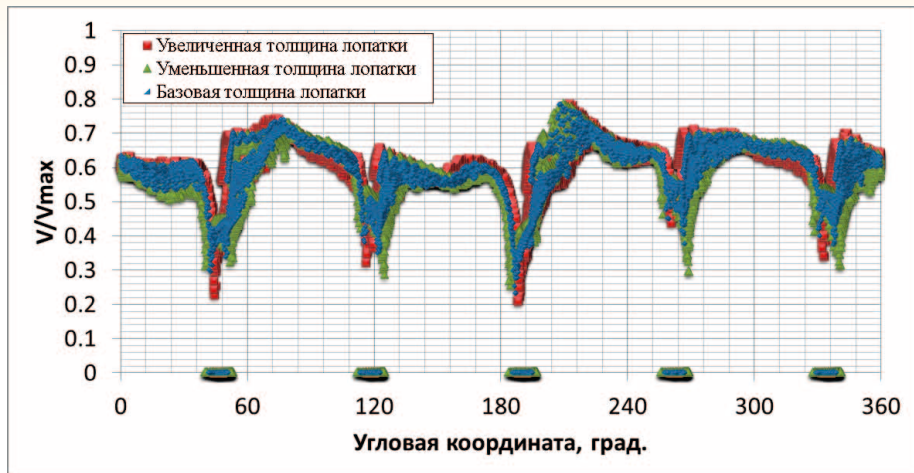


Рис. 14. Профиль скорости на выходе из рабочего колеса (различные значения толщины лопатки)

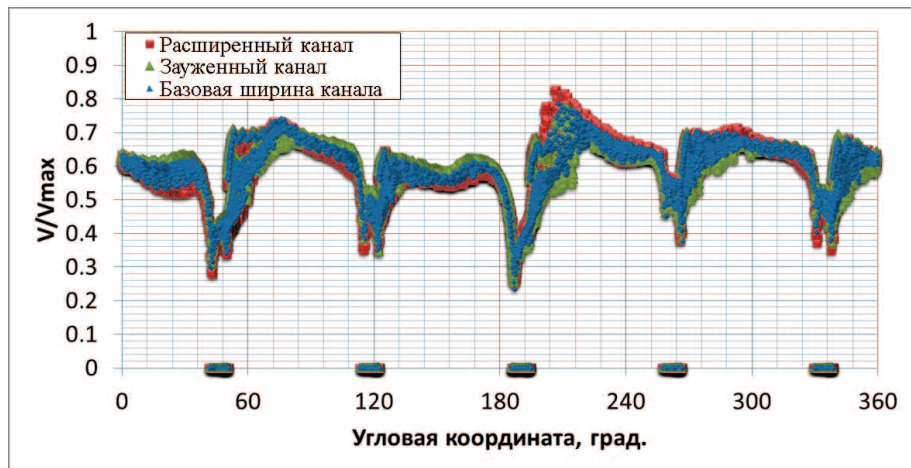


Рис. 15. Профиль скорости на выходе из рабочего колеса (различные значения ширины канала)

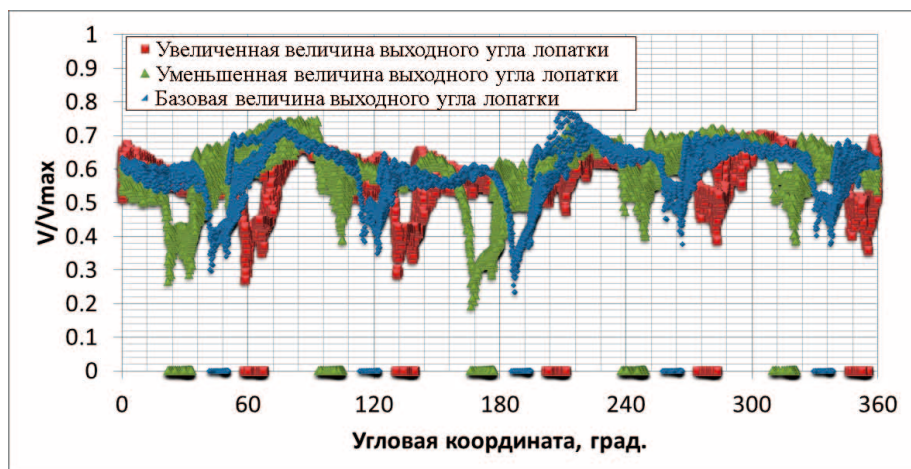


Рис. 16. Профиль скорости на выходе из рабочего колеса (различные значения выходного угла лопатки)

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Таблица 1

Напорные характеристики для различных вариантов конструкции

Вариант конструкции	Расход перекачиваемой жидкости, м ³ /сут.									
	10	20	30	35	40	50	60	70	80	90
№1, м.вд.ст.	9.84	9.79	9.49	9.41	9.24	8.62	7.46	6.16	4.67	2.81
№2, м.вд.ст.	9.91	9.80	9.47	9.40	9.24	8.57	7.37	6.04	4.56	2.82
№3, м.вд.ст.	9.71	9.71	9.50	9.40	9.25	8.61	7.54	6.18	4.58	2.86
№4, м.вд.ст.	9.67	9.53	9.31	9.17	8.89	7.86	6.51	5.08	3.26	1.03
№5, м.вд.ст.	9.90	9.92	9.69	9.58	9.46	9.05	8.27	7.13	5.82	4.04
№6, м.вд.ст.	9.36	9.45	9.22	9.13	8.95	8.44	7.52	6.47	5.07	3.70
№7, м.вд.ст.	10.44	10.15	9.84	9.76	9.46	8.57	7.32	5.84	4.15	2.31

Профили скоростей на выходе из рабочего колеса представлены на *рисунках 14-16*. На *рисунке 14* можно заметить незначительное изменение затесненности межлопаточного канала, отраженное в увеличении или уменьшении ширины секторов с ненулевой скоростью и в повышении или понижении скорости потока относительно базовой конструкции. Похожее заключение можно сделать и из *рисунка 15*, однако в этом случае ширина секторов не меняется, так как азимутальная ширина каналов не меняется.

Из *рисунка 16* видно значительное рассогласование угловых секторов, приходящихся на межлопаточные каналы, очевидность которого объясняется положением выходных кромок лопаток (см. *рисунок 5*), также можно отметить некоторое различие характеров профилей, а именно их немонотонность в случаях с увеличенным или уменьшенным углом.

Численные значения напоров и к.п.д., развиваемых насосными агрегатами различных конструкций, сведены соответственно в *таблицы 1* и *2*.

В *таблице 1* обозначены варианты конструкции: №1 – базовая конструкция; №2 – уменьшенная толщина лопатки; №3 – увеличенная толщина лопатки; №4 – расширенный канал; №5 – зауженный канал; №6 – увеличенная вели-

чина выходного угла лопатки; №7 – уменьшенная величина выходного угла лопатки.

В *таблице 2* обозначены варианты конструкции: №1 – базовая конструкция, №2 – уменьшенная толщина лопатки, №3 – увеличенная толщина лопатки, №4 – расширенный канал, №5 – зауженный канал, №6 – увеличенная величина выходного угла лопатки, №7 – уменьшенная величина выходного угла лопатки.

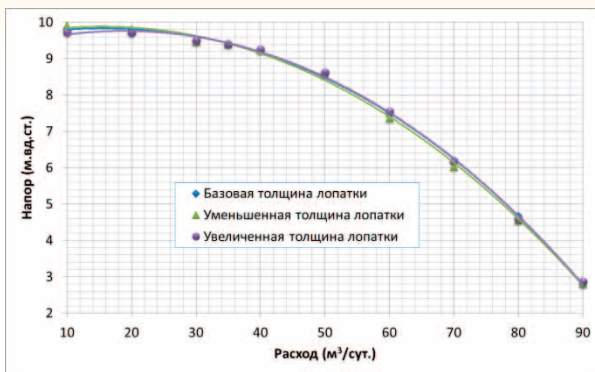
Графическое отображение напорных характеристик для различных конструкций, а также величины к.п.д. представлены на *рисунках 17-19*. Для случаев с измененной толщиной лопатки (*рисунок 17*) можно отметить близость значения расчетных напоров во всем диапазоне расходов. В то же время к.п.д. для конструкции с увеличенной толщиной лопатки имеет несколько более высокие значения, особенно при малых расходах, что может служить подтверждением ранее приведенной гипотезы недостаточной затесненности межлопаточного канала на выходе, которое в свою очередь приводит к чрезмерному вихреобразованию. При увеличении ширины канала можно отметить некоторое смещение максимального к.п.д. в сторону больших расходов (*рисунок 18*), а также некоторый прирост напора. Данные изменения характеристики, по всей видимости, вызваны меньшими потерями

Таблица 2

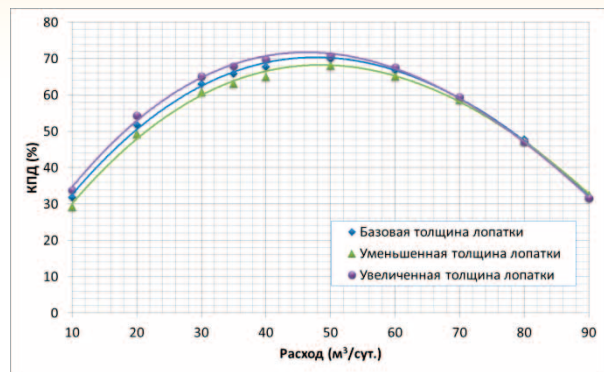
К.П.Д для различных вариантов конструкции

Вариант конструкции	Расход перекачиваемой жидкости, м ³ /сут.									
	10	20	30	35	40	50	60	70	80	90
№1, %.	31.9	51.8	63.0	65.9	67.8	70.0	66.8	59.4	47.8	31.8
№2, %.	29.3	49.3	60.9	63.2	65.1	68.1	65.2	58.7	47.4	32.5
№3, %.	33.9	54.4	65.1	68.0	69.8	70.8	67.7	59.5	47.1	31.7
№4, %.	34.4	55.1	64.3	66.7	68.4	67.8	61.7	50.7	35.0	12.3
№5, %.	30.1	49.4	62.0	65.2	67.4	70.3	69.6	65.5	57.3	44.2
№6, %.	32.6	52.2	64.4	66.2	68.7	69.8	65.9	59.5	49.8	37.3
№7, %.	30.5	49.6	61.1	64.0	66.7	68.7	66.2	57.7	44.9	25.7

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

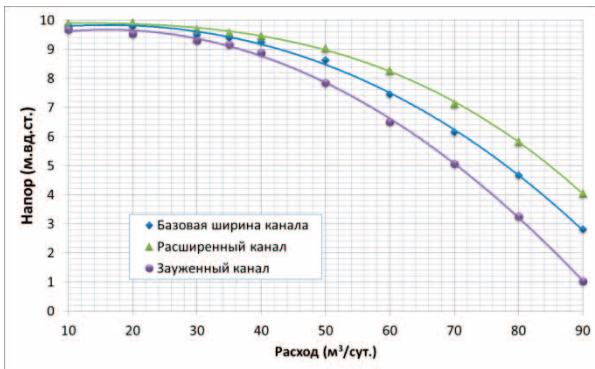


(а) Напорная характеристика

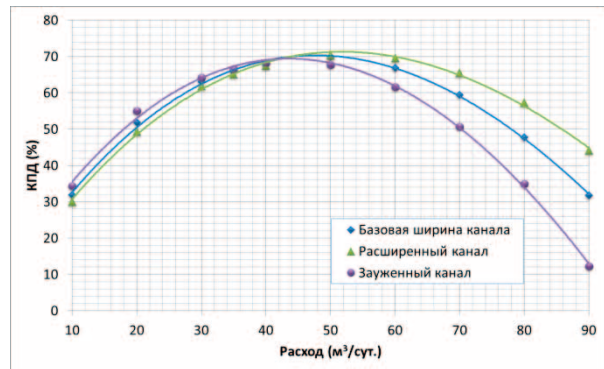


(б) к.п.д.

Рис. 17. Напорная характеристика и к.п.д. конструкции с измененной толщиной лопатки

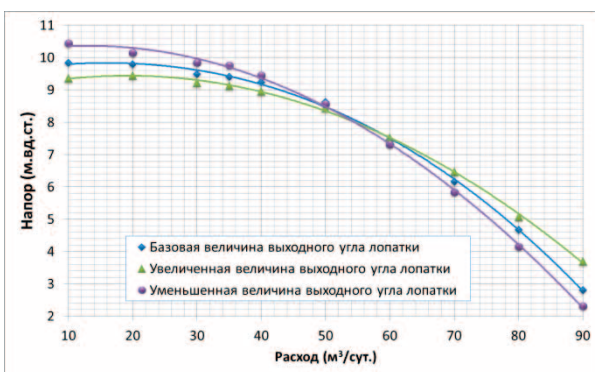


(а) Напорная характеристика

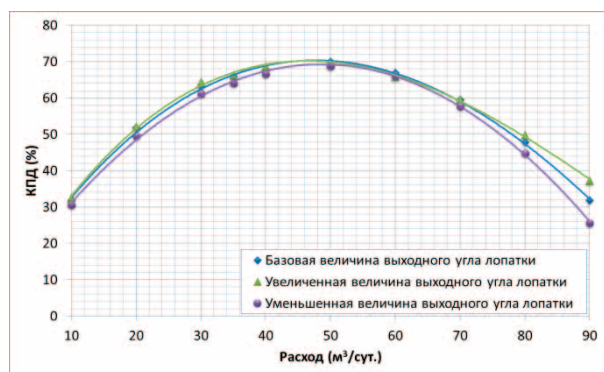


(б) к.п.д.

Рис. 18. Напорная характеристика и к.п.д. конструкции с измененной шириной канала



(а) Напорная характеристика



(б) к.п.д.

Рис. 19. Напорная характеристика и к.п.д. конструкции с измененной величиной выходного угла лопатки

на трение ввиду большей площади проходного сечения рабочего колеса. Однако такая конструкция может приводить к увеличению общего размера насоса в случае многоступенчатой конструкции или к меньшей износостойкости в абразивных средах, в связи с утонением дисков рабочего колеса. При изменениях выходного угла лопатки к.п.д. практически не меняется, за исключением предельно больших расходов, в то время как величина напора несколько возрастает при малых расходах в случае уменьшенного выходного угла лопатки.

Заключение

Проведенное исследование 7 вариантов конструкции центробежных насосов подтвердило существенность влияния варьируемых размеров на интегральные характеристики агрегата. Расчеты показали, что отклонения размеров даже на доли миллиметров (0.5 мм) может приводить к существенным изменениям характеристик. В зависимости от варьируемого размера изменения в характеристиках могут происходить во всем диапазоне расходов, в том числе вблизи точки номинального расхода, равного 35 м³/сут. В этой связи для формулирования обоснованных требований к точности изготовления элементов насоса очевидна целесообразность выполнения углубленного исследования с целью определения влияния отклонений не только отдельных размеров, но и их взаимных комбинаций. Прямой расчет всех возможных комбинаций даже для четырех размеров является весьма ресурсоемкой задачей, так как требует значительных вычислительных и временных ресурсов, однако использование статистических методов для формирования репрезентативной комбинаций размеров может позволить существенно уменьшить требуемое число расчетов.

Литература

1. Экономика предприятия / Под ред. В.Я. Горфинкеля 6-е издание, перераб. и доп. М.: ЮНИТИ - ДАНА, 2012.
2. Петров В.Е. Методическое и алгоритмическое обеспечение системного анализа гидродинамических процессов и прогнозирования рабочих характеристик промышленных погружных центробежных насосов.: Дис. ... канд. тех. наук: 05.13.01 . М., 2011.
3. R. Spence, J. Amaral-Teixeira, Investigation into pressure pulsations in a centrifugal pump using numerical methods supported by industrial tests, *Computers & Fluids*, Volume 37, Issue 6, July 2008, Pages 690-704, ISSN 0045-7930.
4. John S. Anagnostopoulos, A fast numerical method for flow analysis and blade design in centrifugal pump impellers, *Computers & Fluids*, Volume 38, Issue 2, February 2009, Pages 284-289, ISSN 0045-7930.
5. B. Jafarzadeh, A. Hajari, M.M. Alishahi, M.H. Akbari, The flow simulation of a low-specific-speed high-speed centrifugal pump, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 35, Issue 1, January 2011, Pages 242-249, ISSN 0307-904X
6. Yu Zhang, Sanbo Hu, Jinglai Wu, Yunqing Zhang, Liping Chen, Multi-objective optimization of double suction centrifugal pump using Kriging metamodels, *Advances in Engineering Software*, Volume 74, August 2014, Pages 16-26, ISSN 0965-9978
7. Shahram Derakhshan, Maryam Pourmahdavi, Ehsan Abdollahnejad, Amin Reihani, Ashkan Ojaghi, Numerical shape optimization of a centrifugal pump impeller using artificial bee colony algorithm, *Computers & Fluids*, Volume 81, 20 July 2013, Pages 145-151, ISSN 0045-7930.
8. G. Anderson, "Error propagation by the Monte Carlo method in geochemical calculations", *Geochim. Cosmochim. Ac.*, vol. 40, pp. 1533-1538, 1976.
9. A. Olsson, G. Sandberg, O. Dahlblom, "On Latin hypercube sampling for structural reliability analysis", *Struct. Safety*, vol. 25, pp. 47-68, 2003.
10. H. Najm, "Uncertainty Quantification and Polynomial Chaos Techniques in Computational Fluid Dynamics", *Annu. Rev. Fluid. Mech.* Vol 41, pp. 35-52, 2009.
11. ТУ 3665-004-00217780-98 - Электроцентробежный двухпорный насос 5А-габарита в модульном исполнении без промежуточных подшипников, производительностью 35 м³/сут., напором 1350 м.
12. Петров В.Е. Расчетная модель гидродинамических процессов работы погружного центробежного насоса // *Известия Института инженерной физики*, 2011, № 2 (20). С. 20-27.
13. H.L. Liu, M. M. Liu, L. Dong, Y. Ren, H. Du, «Effects of computational grids and turbulence models on numerical simulation of centrifugal pump with CFD», *Earth and Environmental Science*, Volume 15, Issue 6, 2012, pp. 062005.
14. Li Xian-Hua; Zhang Shu-jia; Zhu Bao-lin; Hu Qing-bo, «The study of the k-ε turbulence model for numerical simulation of centrifugal pump,» *Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design*, 2006. CAIDCD '06. 7th International Conference on , vol., no., pp.1,5, 17-19 Nov. 2006.
15. Boussinesq J. Theorie de l'Ecoulement Tourbillant // *Mem. Presentes par Divers Savants Acad. Sci. Inst. Fr.* 1877. V. 23. P. 46-50.
16. T.-H. Shih, W. W. Liou, A. Shabbir, and J. Zhu. A New k-epsilon Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows - Model Development and Validation. *Computers Fluids*, 24(3):227-238, 1995.
17. Speziale, C.G., Sarkar, S., Gatski, T.B. (1991), «Modeling the Pressure-Strain Correlation of Turbulence: an Invariant Dynamical Systems Approach», *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 227, pp. 245-272.
18. L.K. Forssell and S.D. Cohen. Using line integral convolution for flow visualization: Curvilinear grids, variable-speed animation, and unsteady flows. *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*, 1(2):133-141, 1995.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ НЕЛИНЕЙНЫХ СЛЕДЯЩИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ВЛИЯНИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ И СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Юрий Сергеевич Пушкарёв

аспирант

МОУ «ИИФ»

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

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967) 38-15-78

E-mail: calgon350@yandex.ru

Произведено исследование влияния гармонических и случайных воздействий на точность нелинейной следящей автоматической системы как аналитически, так и путем цифрового моделирования в среде визуального программирования «Simulink». Показано влияние уровня ограничения в нелинейной следящей системе управления (НССУ) на величину ошибок управления в зависимости от характера возмущения.

The research on the influence of harmonic and random influences on the accuracy of nonlinear automatic tracking system analytically, as well as by digital simulation in the visual programming environment «Simulink». Shows the influence of the level of constraints in nonlinear tracking control system on the magnitude of the error control depending on the nature of the disturbance.

Ключевые слова: нелинейная следящая система управления, нелинейный элемент, передаточная функция, задающее воздействие, математическое ожидание, среднеквадратическая ошибка управления.

Keywords: nonlinear tracking control system, a nonlinear element, the transfer function describing the impact, mathematical expectation, mean square error control.

Введение

Часто на практике при разработке следящих автоматических систем управления возникает задача анализа точности данных систем как при влиянии гармонических возмущений, так и при влиянии случайных воздействий. К таким задачам относятся, например, задачи стабилизации платформ, установленных на морских судах, подверженных гармонической качке, которая приводит к нарушению работы аппаратуры, установленной на указанных платформах. Кроме того, возникает задача анализа точности нелинейных следящих систем управления (НССУ) при действии ветровых нагрузок на антенны вышеуказанных систем [1, 2, 4]. Цель статьи – исследование влияния гармонических

и случайных воздействий на точность нелинейной следящей автоматической системы управления.

Математическая модель ошибок управления нелинейной ССУ при гармонических возмущениях и ее исследование

Структурная схема нелинейной следящей системы управления с внешними воздействиями приведена на *рисунке 1*.

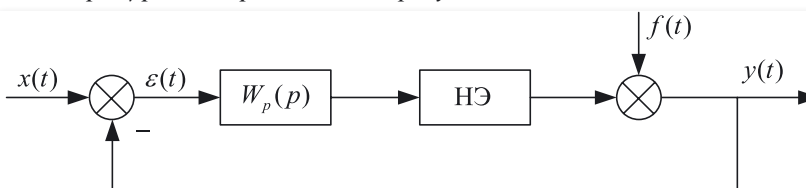


Рис. 1. Структурная схема нелинейной следящей системы управления с внешними воздействиями

ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

На *рисунке 1* введены следующие обозначения:

НЭ – нелинейный элемент (например, нелинейность типа «ограничение»); $W_p(p)$ – передаточная функция (ПФ) разомкнутой следящей системы управления; $x(t)$ – задающее воздействие; $y(t)$ – управляемый процесс; $\varepsilon(t)$ – ошибка управления, равная разности между задающим воздействием и управляемым процессом; $f(t)$ – возмущение, равное $f(t) = A \sin \omega t$; A и ω – амплитуда и частота гармонического возмущения соответственно.

Из структурной схемы следует, что ошибка управления

$$\varepsilon(t) = W_{ex}^{(i)}(p)x(t) + W_{ef}^{(i)}(p)f(t), \quad f(t) = A \sin \omega t, \quad i = 1, 2, \dots \quad (1)$$

где символ i характеризует оператор ошибки как от задающего воздействия, так и возмущения, обусловленный наличием нелинейного элемента.

Известно, что п.ф. ошибки от задающего воздействия

$$W_{ex}^{(i)}(p) = \frac{1}{1 + W_p^{(i)}(p)}, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (2)$$

а оператор ошибки от возмущения

$$W_{ef}^{(i)}(p) = -\frac{1}{1 + W_p^{(i)}(p)}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (3)$$

Часто на практике следящие автоматические системы управления в разомкнутом состоянии (например, электроприводы управления антенн) описываются передаточной функцией

$$W_p^{(i)}(p) = \frac{K(\beta_i)}{p(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)}, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

где $K(\beta_i)$ – коэффициент усиления K , который является функцией параметров β_i нелинейного элемента; T_1 и T_2 – постоянные времени.

Следует заметить, что для п.ф. (4) ошибки по положению и по скорости от задающего воздействия определяются следующим образом

$$\varepsilon_{0\delta} = 0, \quad \varepsilon_{vx} = \frac{\mathcal{G}_x}{K(\beta_i)}, \quad (5)$$

где \mathcal{G}_x – скорость изменения задающего воздействия.

Учитывая, что операторы ошибок от задающего воздействия и от возмущения (выражения (2), (3)), отмечаются только знаком, имеем следующие ошибки по положению, скорости и высшим производным от возмущения

$$\varepsilon_{0f} = 0, \quad \varepsilon_{vf} = \frac{d}{dt} \frac{(A \sin \omega t)}{K}, \quad \varepsilon_{wf} = \frac{d^2}{dt^2} \frac{(A \sin \omega t)}{K} \dots \quad (6)$$

Из анализа выражения (6) следует, что сколько раз гармонику не дифференцируй получается снова гармоника. Поэтому для исключения ошибок от возмущения необходимо повышать порядок астатизма, что приводит к нарушению устойчивости, что неприемлемо. Другой подход заключается в анализе влияния гармонических возмущений на точность ССУ с целью уменьшения этих ошибок [5].

Составим схему моделирования нелинейной астатической следящей системы при линейном задающем и гармоническом возмущающем воздействиях при нелинейности типа «ограничение» с учетом выражения (4). Схема моделирования в среде визуального программирования «Simulink» приведена на *рисунке 2*. Здесь нелинейная ССУ реализована с помощью следующих блоков: Transfer Fun 1, Transfer Fun 5, Integrator 1, Saturation (нелинейность типа «ограничение»). Линейное задающее воздействие имитировалось блоком Ramp, а сама ошибка управления снималась с блока вычитания. Помимо линейного задающего воздействия, подавалось также гармоническое возмущение с помощью блока Sine Wave [3].

При моделировании параметры нелинейной ССУ задавались следующими: $K = 1 \dots 5 \text{ с}^{-1}$; $T_1 = 0,2 \text{ с}$; $T_2 = 1 \text{ с}$. При этом нелинейность типа

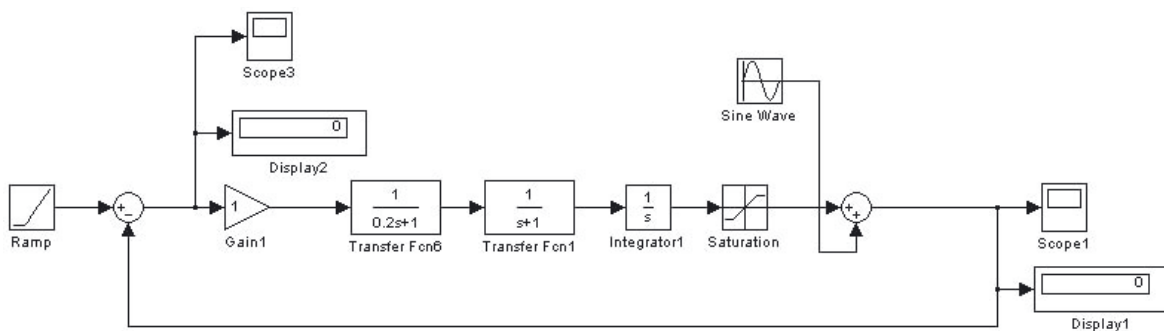


Рис. 2. Схема моделирования нелинейной астатической следящей системы при линейном задающем и гармоническом возмущающих воздействиях

Таблица 1
При нелинейности типа «ограничение» $\pm 0,5$

K	Гармоническое возмущение			
	A = 1 $\omega = 0,2$	A = 1 $\omega = 0,5$	A = 1 $\omega = 2$	A = 1 $\omega = 5$
1	$\frac{0,85}{2,58}$	$\frac{0,85}{2,5}$	$\frac{0,85}{2,45}$	$\frac{0,85}{2,4}$
2	$\frac{0,75}{2,4}$	$\frac{0,75}{2,51}$	$\frac{0,75}{2,35}$	$\frac{0,75}{2,3}$
5	$\frac{0,65}{2,2}$	$\frac{0,65}{2,4}$	$\frac{0,65}{2}$	$\frac{0,65}{1,5}$

«ограничение» изменялась в следующих пределах: $\pm 0,5$ и ± 1 . Задающее воздействие изменялось по линейному закону ($x(t) = 0,5t$), амплитуда гармонического возмущения принималась равной единице ($A = 1$), а его частота ω изменялась следующим образом: 0,2; 0,5; 2; 5. Результаты исследований ошибок управления $\varepsilon(t)$ при величине «ограничения» $\pm 0,5$ и ± 1 с учетом гармонического возмущения и при их отсутствии сведены в *таблицах 1 и 2* соответственно. При этом в числителе ставится значение ошибки $\varepsilon(t)$ без возмущения, а в знаменателе – при их наличии.

Из анализа *таблиц 1 и 2* видно, что:

- значение ошибки управления нелинейной ССУ в отсутствии гармонических возмущений меньше, чем при их воздействии (так, например, при ограничении $\pm 0,5$ значение ошибки с учетом возмущения в 2,5-4 раза больше, чем без возмущения, а при ограничении ± 1 значение ошибки с учетом данного возмущения в 1,4-2,5 раза больше, чем без возмущения);

- при уменьшении величины ограничения ошибка от задающего воздействия меньше, примерно в 1,7...3 раза в зависимости от коэффициента усиления;

- с увеличением частоты гармонического воз-

мущения ошибка управления уменьшается, что объясняется выходом частоты гармоника за полосу пропускания системы.

Математическая модель ошибок нелинейной ССУ при случайных возмущениях и ее исследование

Будем полагать, что случайное возмущение

$$f(t) = \dot{f}(t), \quad (7)$$

где $\dot{f}(t)$ – центрированная составляющая возмущения.

В этом случае ошибка управления

$$\varepsilon(t) = m_\varepsilon(t) + \varepsilon_f(t), \quad (8)$$

где $m_\varepsilon(t)$ – МОЖ ошибки управления, равное скоростной ошибке;

$\varepsilon_f(t)$ – ее центрированная составляющая, обусловленная влиянием случайного возмущения $f(t)$.

Если МОЖ возмущения отсутствует, то

$$\varepsilon_f(t) = W_{\varepsilon f}^{(i)}(p) \dot{f}(t), \quad i = 1, 2, \dots, \quad (9)$$

$$D_{\varepsilon f}(t) = M[\varepsilon_f(t)]^2, \quad \sigma_{\varepsilon f}(t) = \sqrt{D_{\varepsilon f}}, \quad (10)$$

где $D_{\varepsilon f}(t)$ – дисперсия ошибки от возмущения; M – знак МОЖ;

$\sigma_{\varepsilon f}(t)$ – среднеквадратическое отклонение

Таблица 2
При нелинейности типа «ограничение» ± 1

K	Гармоническое возмущение			
	A = 1 $\omega = 0,2$	A = 1 $\omega = 0,5$	A = 1 $\omega = 2$	A = 1 $\omega = 5$
1	$\frac{0,5}{0,7}$	$\frac{0,5}{1}$	$\frac{0,5}{1,05}$	$\frac{0,5}{0,8}$
2	$\frac{0,25}{0,35}$	$\frac{0,25}{0,7}$	$\frac{0,25}{1,9}$	$\frac{0,25}{1,5}$
5	$\frac{0,1}{0,22}$	$\frac{0,1}{0,435}$	$\frac{0,1}{0,25}$	$\frac{0,1}{1,55}$

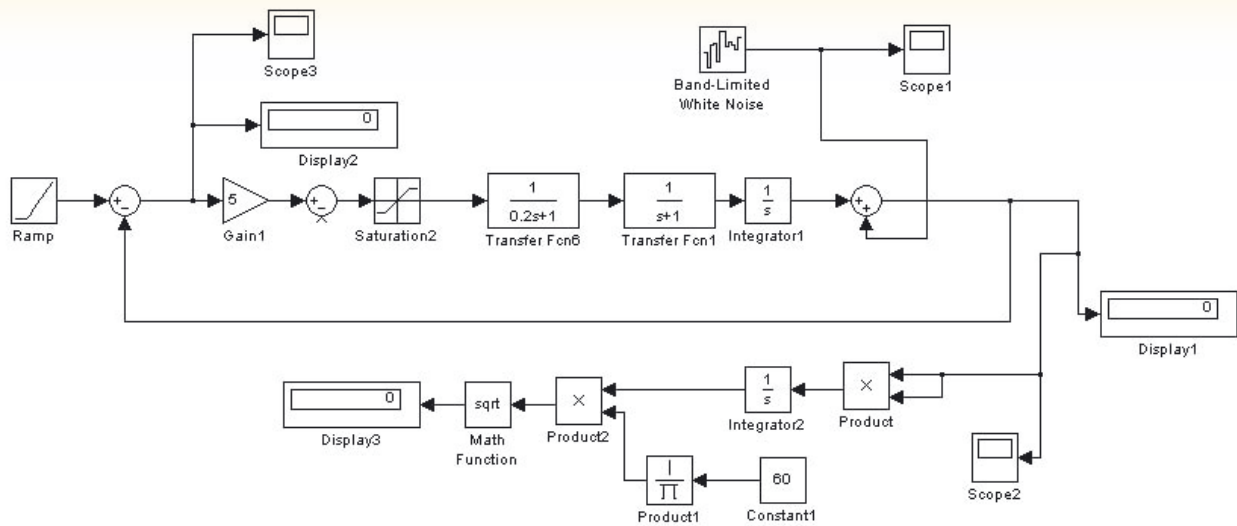


Рис. 3. Схема моделирования нелинейной астатической следящей системы при наличии случайного воздействия на выходе

(СКО). Для оценки точности нелинейной ССУ при случайных возмущениях было произведено моделирование схемы *рис. 1* в программной среде «Simulink», с учетом выражения (4). Схема моделирования данной системы приведена на *рисунке 3* [3].

Случайное возмущение имитировалось блоком White noise, а ограничение составляло $\pm 0,5 \dots \pm 1$. Измерение дисперсии ошибки от случайного возмущения производилось экспериментально с помощью специальной схемы, изображенной под схемой ССУ (возведение в квадрат ошибки от возмущения, затем ее интегрирование, деление на время решения и извлечение квадратного корня). При этом линейное задающее воздействие изменялось по линейному закону ($x = 0,5t$) и реализовано с помощью блока Ramp. Результаты исследований точности нелинейной САУ при изменении «ограничения» с $(\pm 0,5)$ на (± 1) сведены в *таблицу 3* и *4* соответственно. Здесь m_ε – МОЖ ошибки от полезного задающего воздействия (линейное задающее воздействие); $\sigma_{\varepsilon f}$ – СКО от возмущения; $\sigma_{\Sigma\varepsilon}$ – суммарная СКО, определяемая по выражению

$$\sigma_{\Sigma\varepsilon} = \sqrt{m_\varepsilon^2 + \sigma_{\varepsilon f}^2}. \quad (11)$$

Из анализа *таблиц 3* и *4* следует:

Таблица 3

При нелинейности типа «ограничение» $\pm 0,5$

K	m_ε	$\sigma_{\varepsilon f}$	$\sigma_{\Sigma\varepsilon}$
1	0,86	0,52	1,01
2	0,72	0,54	0,9
3	0,68	0,548	0,87
5	0,65	0,58	0,85

Литература

1. Крохин В.В. Информационно-управляющие космические радиолнии. М.: НИИЭИР, 1993. 228 с.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления // Под ред. К.А. Пупкова. М.: МГТУ им. И.Э. Баумана, 2000. 735 с.
3. Дьяконов В.П. Matlab 6.5 SPI/7.0, Simulink 5/6 в математике и моделировании. М.: Самон-Пресс, 2005. 575 с.
4. Чаки Ф. Современная теория управления. Нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Пер. с англ. // Под ред. Н.С. Райбмана. М.: Мир, 1975. 390 с.
5. Сергеева Н.А. Исследование точности угломерных систем автоматического слежения за низкоорбитальным космическим аппаратом // Известия Института инженерной физики, 2011. №3(21). С. 24-27.

Таблица 4

При нелинейности типа «ограничение» ± 1

K	m_ε	$\sigma_{\varepsilon f}$	$\sigma_{\Sigma\varepsilon}$
1	0,5	0,548	0,742
2	0,25	0,569	0,62
3	0,17	0,582	0,61
5	0,1	0,578	0,57

УДК 004.3

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ГАРАНТИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Ильфат Винирович Хабибуллин

главный эксперт отдела

Восьмого управления ГШ ВС РФ

Тел.: +7(495)696-30-90

В статье представлен подход к оценке обеспечения информационной безопасности автоматизированных информационных систем военного назначения на основе математического моделирования и использования сценариев виртуальных угроз, позволяющих оценивать риски для реальных условий эксплуатации систем.

The article presents an approach to the assessment of information security of automated information systems for military purposes on the basis of mathematical modeling and scripting virtual threats, allowing you to assess the risks to the real operating conditions of the systems.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система военного назначения, оценка гарантий оперативного распознавания опасных ситуаций, оценка гарантий сохранения доступности и целостности информации.

Key words: automated information system for military purposes, the evaluations of the operational recognition of dangerous situations, assessment of guarantees to preserve the availability and integrity of information.

Решению вопросов обеспечения информационной безопасности автоматизированных информационных систем военного назначения (АИС ВН) в процессе сертификационных испытаний уделяется особое внимание. От этого зависит риск потенциального снижения качества функционирования систем, который повышается вследствие невозможности проведения полного объема натурных испытаний. Причем объективная недостижимость полного объема испытаний связана с бесконечным множеством возможных сценариев развития событий при эксплуатации систем, многообразием исходной информации, подлежащей оперативной обработке в реальном времени, и вариативным множеством функций программного обеспечения (ПО), реализующего эту обработку и подлежащего соответствующим проверкам на испытаниях.

В данной области используются такие стандарты, как ГОСТ Р 50922-1996 «Защита информации. Основные термины и определения», ГОСТ Р 50739-95 «Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного до-

ступа. Общие технические требования», ГОСТ Р 51188-98 «Защита информации. Испытания программных средств на наличие компьютерных вирусов. Типовое руководство», ГОСТ Р 51583-2000 «Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения», ГОСТ Р 51624-2000 «Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Общие требования», РД Гостехкомиссии России «Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации» – 1992, РД Гостехкомиссии России «Средства вычислительной техники. Межсетевые экраны» – 1997 и другие. Степень реализации целей систем зависит от совокупности объективных и субъективных факторов, воздействующих на перерабатываемую информацию. Классификация данных факторов – по ГОСТ Р 51275 «Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения».

ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

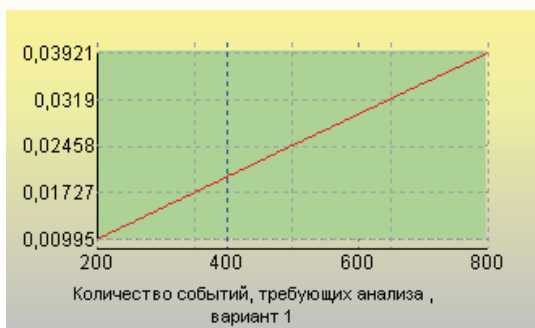


Рис. 1. Зависимость риска нераспознавания потенциально опасных событий от характеристики «количество событий, требующих анализа»



Рис. 2. Зависимость риска нераспознавания потенциально опасных событий от характеристики «доля потенциально опасных событий»

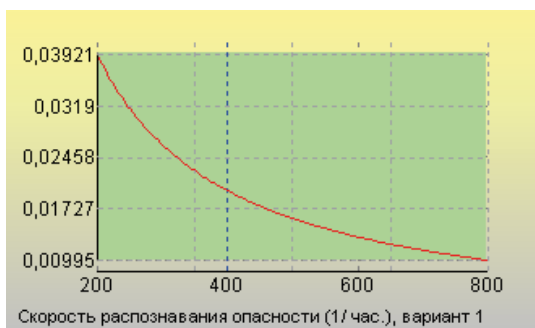


Рис. 3. Зависимость риска нераспознавания потенциально опасных событий от характеристики «скорость распознавания опасности»



Рис. 4. Зависимость риска нераспознавания потенциально опасных событий от характеристики «допустимое время на распознавание»

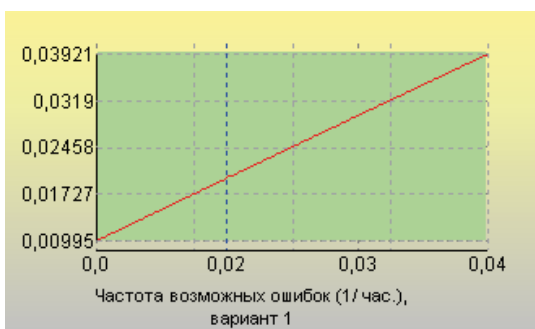


Рис. 5. Зависимость риска нераспознавания потенциально опасных событий от характеристики «частота возможных ошибок»

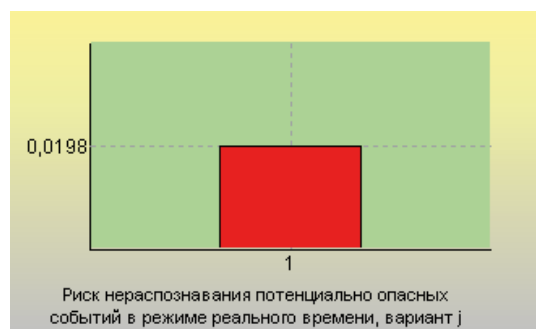


Рис. 6. Риск нераспознавания потенциально опасных событий в режиме реального времени

С 2004 года действует международный стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий». Собственно, как и любой другой, этот стандарт должен использоваться в полном соответствии с проводимой технической политикой, нацеленной на обеспечение качества системы при ограничениях на выделяемые затраты. Общие критерии полезны в качестве руководства как при создании средств и систем с функциями безопасности, так и при приобретении коммерческих продуктов и систем с такими функциями. К таким объектам

оценки, например, относятся операционные системы, вычислительные сети, распределенные системы и приложения.

Оценка гарантий оперативного распознавания опасных ситуаций производится с использованием программного средства для количественной оценки гарантий информационной безопасности АИС ВН, реализующего модель оценки гарантий оперативного распознавания опасных ситуаций.

В качестве исходных данных используются:

- характеристика событий потенциальной опасности: ● количество событий, требующих анализа (V);

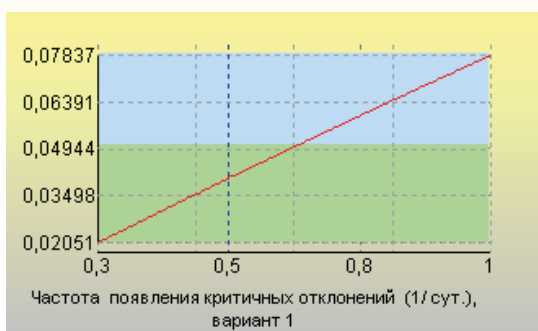


Рис. 7. Зависимость риска пропуска критических отклонений в обеспечении доступности и целостности от характеристики «частота появления критических отклонений»



Рис. 8. Зависимость риска пропуска критических отклонений в обеспечении доступности и целостности от характеристики «длительность системного контроля»

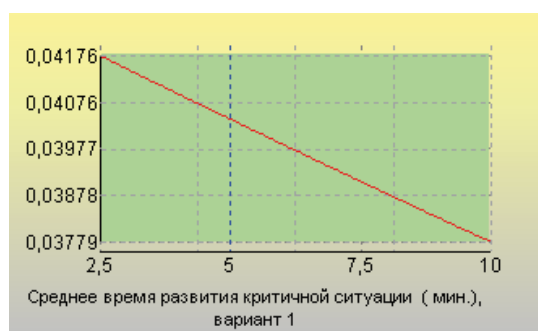


Рис. 9. Зависимость риска пропуска критических отклонений в обеспечении доступности и целостности от характеристики «среднее время развития критической ситуации»

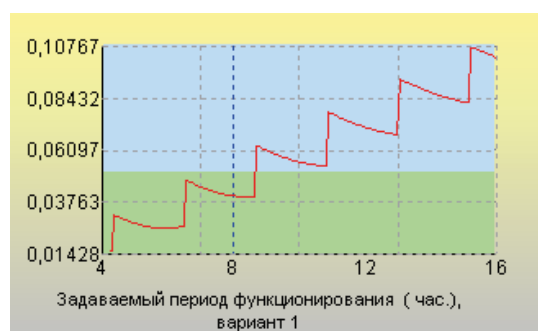


Рис. 10. Зависимость риска пропуска критических отклонений в обеспечении доступности и целостности от характеристики «задаваемый период функционирования»

- доля потенциально опасных событий (μ);
- характеристика применяемых технологий для распознавания опасных событий:
 - скорость распознавания опасности (v);
 - частота возможных ошибок, влияющих на конечный результат интерпретации (n);
- временные ограничения:
 - допустимое время на распознавание ($T_{\text{зад}}$).

Пример 1.

Положим, что проверяется АИС со следующими возможными характеристиками:

– в программном обеспечении содержится около 400 потенциально функциональных событий (V), требующих анализа. Из них приблизительно 40 событий ($\mu \approx 10\%$) могут привести к нарушению целостности, доступности и конфиденциальности информации, т.е. являются потенциально опасными событиями (ПОС). Скорость распознавания опасности примерно равна 400 событиям в час (v), частота возможных ошибок 1 раз в 50 часов (n), а допустимое время на распознавание равно 8 часам ($T_{\text{зад}}$).

В ходе вычислений были получены следующие зависимости риска нераспознавания потенциально опасных событий в режиме реального времени (см. рисунки 1-5).

Линейно возрастающая зависимость риска нераспознавания потенциально опасных событий от количества событий, требующих анализа, приведена на графике на *рисунке 1*.

Анализ данных, приведенных на *рисунке 2*, показал незначительное увеличение риска нераспознавания потенциально опасных событий от их доли в общем количестве событий, требующих анализа.

График, приведенный на *рисунке 3*, показывает наличие монотонно убывающей зависимости риска нераспознавания потенциально опасных событий от скорости распознавания опасности.

Как следует из графика, приведенного на *рисунке 4*, изменение допустимого времени на распознавание не влияет на величину риска нераспознавания потенциально опасных событий.

Из графика *рисунка 5* видно линейное возрастание зависимости риска нераспознавания потенциально опасных событий от частоты возможных ошибок.

В результате оценки гарантий оперативного распознавания опасных ситуаций установлено, что риск нераспознавания потенциально опасных ситуаций равен примерно 0,0198, что является приемлемым для заказчика (*рисунок 6*).



Рис. 11. Зависимость риска пропуска критических отклонений в обеспечении доступности и целостности от характеристики «время между моментами системного контроля»

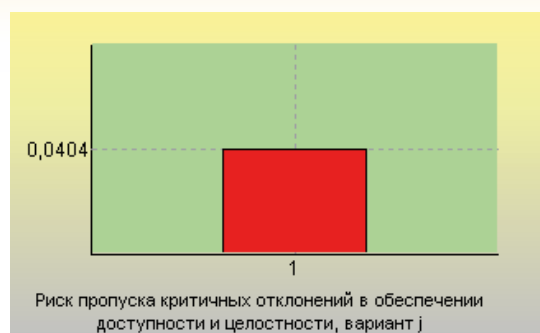


Рис. 12. Зависимость риска пропуска критических отклонений в обеспечении доступности и целостности

Оценка гарантий сохранения доступности и целостности информации производится с использованием программного средства для количественной оценки гарантий информационной безопасности АИС ВН, реализующего модель оценки гарантий сохранения доступности и целостности информации.

В качестве исходных данных используются:

- характеристика событий потенциальной опасности: • частота появления критических отклонений (n); • среднее время развития критической ситуации (β);

- характеристика применяемых технологий для распознавания опасных событий: • периодичность системного контроля ($T_{\text{пер}}$); • длительность системного контроля ($T_{\text{кон}}$); • среднее время наработки на ошибку ($T_{\text{нар}}$);

- временные ограничения: • период функционирования ($T_{\text{зад}}$).

Пример 2.

Положим, что проверяется АИС со следующими возможными характеристиками:

- частота появления критических отклонений приблизительно 1 раз в 2 суток (n), среднее время развития критической ситуации 5 минут (β). Системный контроль проводится 1 раз в 2 часа ($T_{\text{пер}}$) с длительностью 10 минут ($T_{\text{кон}}$), наработка на ошибку равна 2 часа ($T_{\text{нар}}$), а задаваемый период функционирования составляет 8 часов ($T_{\text{зад}}$).

В результате вычислений были получены следующие зависимости риска пропуска критических отклонений в обеспечении доступности и целостности (см. рисунки 7-11).

Рисунки 7-9 отображают монотонное возрастание и, соответственно, уменьшение расчетных рисков при изменении частоты появления критических отклонений и среднего времени развития критической ситуации.

Рисунки 10 и 11 отображают скачкообразные зависимости риска пропуска критических отклонений в обеспечении доступности и целостности

от полных периодов между диагностиками внутри задаваемого периода функционирования.

В результате оценки гарантий сохранения доступности и целостности информации установлено, что риск пропуска критических отклонений в обеспечении доступности и целостности равен 0,0404, что является приемлемым для заказчика (рисунки 12).

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что оценка гарантий обеспечения информационной безопасности АИС ВН возможна на основе математического моделирования и использования сценариев виртуальных угроз, позволяющих оценивать риски для реальных условий эксплуатации систем.

Литература

1. Костогрызов А.И., Липаев В.В. Сертификация качества функционирования автоматизированных информационных систем М.: Изд.-во «Вооружение. Политика. Конверсия», 1996.
2. Костогрызов А.И., Степанов П.В. Инновационное управление качеством и рисками в жизненном цикле систем. М.: Изд.-во ВПК, 2008.
3. Безкоровайный М.М., Бонарюк И.З., Жидков И.В., Костогрызов А.И., Стулов И.В. Инструментально-моделирующий комплекс КОК – эффективное средство заказчика, разработчика и пользователя для оценки качества функционирования информационных систем // Современные информационные технологии в управлении и образовании – новые возможности и перспективы использования: Сборник научных трудов. ФГУП НИИ «ВОСХОД», МИРЭА. М., 2001.
4. Федорев О.Н., Грибков В.В. Модели и методы разработки безопасного программного обеспечения. Монография. М., 2009.
5. Методическое руководство по оценке качества функционирования информационных систем. М.: Изд.-во 3 ЦНИИ МО РФ, 2003.
6. Кадушкин И.В., Федорев О.Н., Хабибуллин И.В. Оценка эффективности применения программно-инструментального средства контроля процессов по АС. Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Информационная безопасность. Таганрог: Изд.-во ТРГУ, 2006.
7. Мукминов В.А., Воинов Ю.В., Тихонов Р.И., Хабибуллин И.В. Методика проведения технических экспертиз и испытаний автоматизированных систем в условиях моделирования информационных воздействий // Известия Института инженерной физики, 2011. №1(19). С. 8-12.

УДК 621.398

ИССЛЕДОВАНИЯ ЧИСЛОВЫХ И АЛГЕБРАИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ РАВНОВЕСНЫХ КЛАССОВ

Виталий Евгеньевич Ананьев

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

Михаил Сергеевич Закатин

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

Сергей Иванович Закатин

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

Сергей Сергеевич Закатин

кандидат технических наук,
старший преподаватель
филиал ВА РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142202, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17

В статье рассмотрены числовые и алгебраические свойства равновесных классов.
In article numerical and algebraic properties of equilibrium classes are considered.

Ключевые слова: равновесный код, поле, вес Хемминга, расстояние Хемминга.
Key words: equilibrium code, field, Hamming's weight, Hamming's distance.

В общем случае для передачи сообщений над первичным алфавитом $\mathcal{A}(q)$ мощностью q в системе передачи данных формируется код $X_c(q)$ над конечным числовым полем F_p^n размерностью n с характеристикой p .

Будем называть *кодообразующим полем* (КОП) конечное поле $X = F_p^n$, элементы которого используются для формирования кода и ставятся во взаимнооднозначное соответствие элементам первичного алфавита:

$$X_c(q): \mathcal{A}(q) \rightarrow F_p^n \quad (1)$$

где q – мощность первичного алфавита;

F_p^n – кодообразующее поле;

n – размерность (разрядность) кодообразующего поля;

$\mathcal{A}(q)$ – первичный алфавит;

$X_c(q)$ – код, подмножество элементов кодообразующего поля, используемых в целях кодирования передаваемых данных над алфавитом $\mathcal{A}(q)$.

В наших исследованиях КОП $X = F_2^n$ имеет характеристику $p=2$ и обладает линейными свойствами относительно числовых значений его элементов:

$$zX_{i+1} = zX_i + 1. \quad (2)$$

Числовое значение элемента КОП определяется из соотношения:

$$zX_i = x_{i,1} \cdot 2^0 + x_{i,2} 2^1 + \dots + x_{i,\mu} 2^{\mu-1} + \dots + x_{i,n} 2^{n-1}, \mu = \overline{1, n}, x_{i,\mu} \in \{0; 1\}. \quad (3)$$

где zX_i – числовое значение i -того элемента поля; $x_{i,\mu}$ – значение μ -того разряда (бита) i -того элемента поля, принимает значение над вторичном алфавитом {«1»; «0»} – при символьном представлении или {1; 0} – при числовом представлении элементов поля;

$N_x = 2^n$ – порядок поля, число его элементов.

При использовании такого КОП для формирования блоковых разделимых (n, k) кодов избыточность r помехоустойчивого кода обычно определяют как разность $r=n-k$, где n – разрядность кода k – число информационных разрядов – минимально-потребная разрядность кода для кодирования символов первичного алфавита мощностью q в алфавитно-цифровых преоб-

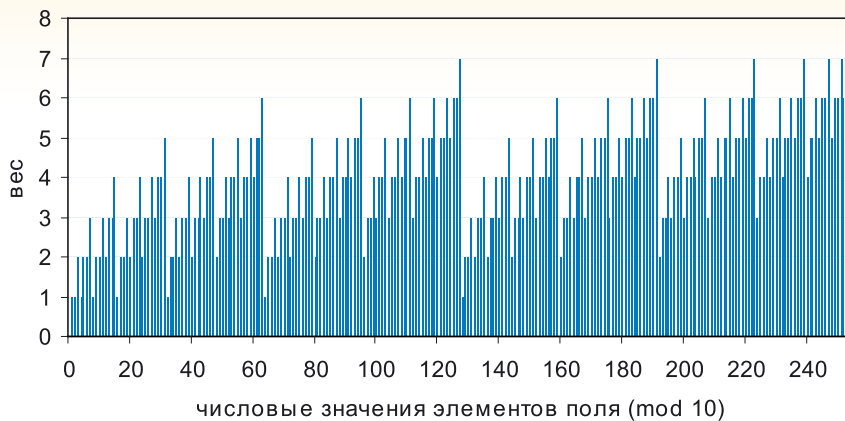


Рис. 1. Весовой спектр элементов кодообразующего поля $X = F_2^8$

разователях, которая должна иметь значение¹ $k = \lfloor \log_2 q \rfloor$.

В теории кодирования используются также блочные неразделимые коды, к которым, в частности, относятся равновесные коды (РВК)².

В качестве числовой характеристики каждого элемента X_i кодообразующего поля используют вес Хемминга (ВХ), который определяется из соотношения:

$$w_i = w(X_i) = \sum_{\mu=0}^n x_{i,\mu}. \quad (4)$$

Для КОП $X = F_2^8$ упорядоченного по числовым значениям его элементов³ весовой спектр $w(X)$ представлен в виде диаграммы на рисунке 1.

На диаграмме (рисунк 1) не трудно заметить, что спектральные линии с равными весами соответствуют элементам, которые образуют ци-

клические группы, т.е. группы элементов, значения которых кратны 2^μ , где μ – положительное целое. Это свойство кодообразующих полей используют при конструировании циклических кодов.

Для КОП $X = F_2^8$ упорядоченного по значениям веса элементов на рисунке 2 функция веса $w(X)$ имеет ступенчатый характер.

Это свидетельствует, что операция упорядочивания КОП по весу его элементов аналогична известной в теории множеств операции разбиения [1, 2] на $n+1$ непересекающихся подмножеств элементов – равновесных классов $X(w)$, $w \in \{0; 1; \dots; n\}$, так, что

$$X = \bigcup_{w=0}^n X(n, w), \quad (5)$$

где X – кодообразующее поле размерностью n ; $X(n, w)$ – класс (множество) элементов с весом равным w кодообразующего поля размерностью n .

Числовые значения zX_i в этом случае позволяют, при необходимости, упорядочить элементы внутри класса.

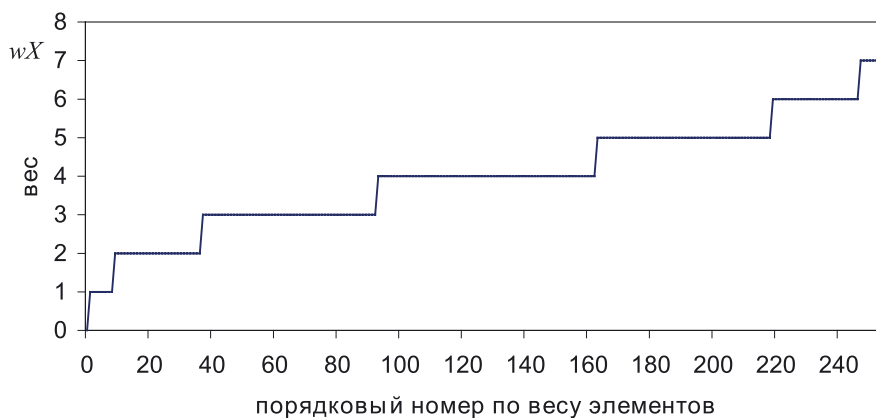


Рис. 2. Равновесные классы кодообразующего поля F_2^8

¹ Здесь и далее $\lfloor \arg \rfloor$ – большая целая часть аргумента ($k \geq \arg$; $\lceil \arg \rceil$ – меньшая целая часть аргумента ($k \leq \arg$)).

² В теории кодирования «равновесные коды» часто называют «коды с постоянным весом».

³ Здесь и далее в примерах принимается размерность КОП (разрядность кода) $n=8$.

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Равновесный класс (РК) с весом w_c , который используют для формирования равновесных кодов (РВК) будем называть *кодообразующим равновесным классом* (КОРК) $X(n, w_c)$. РВК – подмножество КОРК мощностью равной мощности q первичного алфавита будем обозначать $X(q, n, w_c)$.

Значение ВХ позволяет определить ряд числовых параметров РК.

Так как для i -того элемента КОП характеристики 2 ВХ равен числу n_{1_i} символов «1», то число символов «0» определится из соотношения:

$$n_{0_i} = n - n_{1_i}, \quad n_{1_i} = w_i, \quad (6)$$

где n – размерность КОП; число символов в i -том элементе;

n_{1_i} – число символов «1» в i -том элементе;

n_{0_i} – число символов «0» в i -том элементе;

w_i – ВХ i -того элемента.

Отсюда для i -того элемента КОП можно ввести в рассмотрение числовые параметры, имеющие вероятностную меру и смысл статистических параметров:

$$p_{1_i} = m_{1_i} = \frac{n_{1_i}}{n} = \frac{w_i}{n}, \quad (7)$$

где p_{1_i} – вероятность того, что в любом разряде i -того элемента появится символ «1»; доля символов «1» в i -том элементе;

m_{1_i} – математическое ожидание символа «1» в i -том элементе;

n – размерность КОП; число символов в i -том элементе;

n_{1_i} – число символов «1» в i -том элементе;

w_i – ВХ i -того элемента.

$$p_{0_i} = m_{0_i} = \frac{n - n_{1_i}}{n} = \frac{n - w_i}{n} = \frac{n_{0_i}}{n} = 1 - p_{1_i}, \quad (8)$$

где p_{0_i} – вероятность того, что в любом разряде i -того элемента появится символ «0»;

m_{0_i} – математическое ожидание символа «0» в i -том элементе;

n – размерность КОП; число символов в i -том элементе;

n_{1_i} – число символов «1» в i -том элементе;

n_{0_i} – число символов «0» в i -том элементе;

w_i – ВХ i -того элемента.

В качестве информационной характеристики РК используем *энтропию*:

$$H_i = H(w_i) = - \sum_{\mu=1}^n p(x_{i,\mu}) \log_2 p(x_{i,\mu}) = \\ = w_i \cdot p_{1_i} \log_2 p_{1_i} + (n - w_i) \cdot p_{0_i} \log_2 p_{0_i} \quad (9)$$

Мощность РК $X(n, w)$, – количество элементов в классе, определяется числом сочетаний из n разрядов элемента по w символов «1» в нем:

$$N_{X(n,w)} = \# X(n, w) = C_n^w = \frac{n!}{w!(n-w)!} \quad (10)$$

Утверждение 1. Максимальная мощность кодообразующего равновесного класса достигается при оптимальном значении ВХ $w_{opt} = n/2$ в случае четной размерности кодообразующего поля и $w_{opt} = \lceil n/2 \rceil$ или $w_{opt} = \lfloor n/2 \rfloor$ в случае нечетной размерности КОП.

Распределение мощности РК кодообразующих полей характеристики 2 по их весам, полученное по выражению (10) представлено в *таблице 1*.

Анализ таблицы позволяет выявить следующие свойства РК.

При четном значении размерности КОП наибольшую мощность (выделено жирным

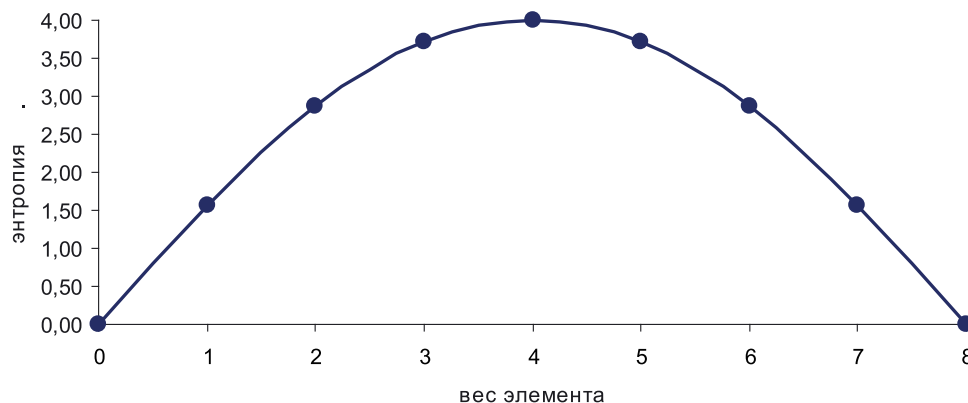


Рис. 3. Характер изменения энтропии вдоль кодообразующего поля F_2^8 , упорядоченного по весу элементов

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Таблица 1
Мощность равновесных классов
кодообразующих полей различной размерности

Вес элементов класса W	Размерность поля n					
	8	12	15	16	24	32
0	1	1	1	1	1	1
1	8	12	15	16	24	32
2	28	66	105	120	276	496
3	56	220	455	560	2024	4960
4	70	495	1365	1820	10626	35960
5	56	792	3003	4368	42504	201376
6	28	924	5005	8008	134596	906192
7	8	792	6435	11440	346104	3365856
8	1	495	6435	12870	735471	10518300
9		220	5005	11440	1307504	28048800
10		66	3003	8008	1961256	64512240
11		12	1365	4368	2496144	129024480
12		1	455	1820	2704156	225792840
13			105	560	2496144	347373600
14			15	120	1961256	471435600
15			1	16	1307504	565722720
16				1	735471	601080390
17					346104	565722720
18					134596	471435600
19					42504	347373600
20					10626	225792840
21					2024	129024480
22					276	64512240
23					24	28048800
24					1	10518300
25						3365856
26						906192
27						201376
28						35960
29						4960
30						496
31						32
32						1

шрифтом) имеет РК, элементы которого имеют равное количество нулей и единиц (50/50%) – $X(n, w = n/2)$. В тоже время, на примере КОП размерности $n=15$ в таблице 1 показано, что при нечетном значении n четкого максимума мощности РК не существует. Имеет место два наибольших ее значения при $w = \lceil n/2 \rceil$ и при $w = \lfloor n/2 \rfloor$.

Кроме того, элементы РК с этими весовыми характеристиками имеют и лучшие информационные свойства. Это наглядно видно на диаграмме рисунка 3, построенной по результатам расчета энтропии по выражению (9) для элементов кодообразующего поля $F(\binom{n}{w})$.

Из диаграмм рисунка 3 следует известный факт, что элементы с количеством нулей и единиц 50/50% имеют **максимальную энтропию** (9). Следовательно, каждый информационный разряд (бит) каждого элемента из этого весового класса несёт максимально возможное количество информации для данного кодообразующего поля.

На диаграмме рисунка 4 показана зависимость мощности РК с весом $w = n/2$ от размерности КОП.

Из анализа таблицы 1 и рисунков 3-4 следует, что РК с равным числом символов «1» и «0»

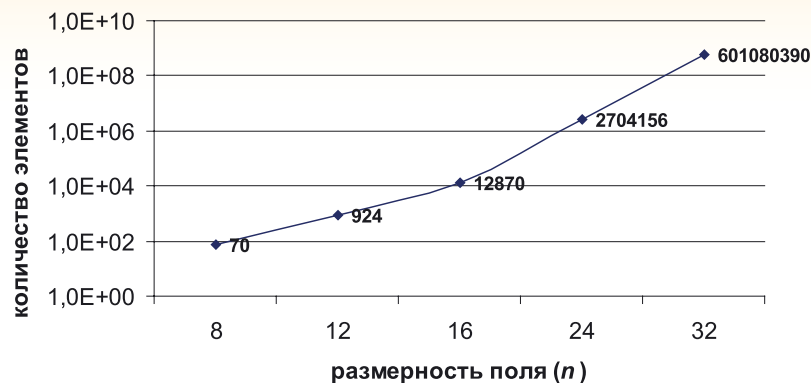


Рис. 4. Мощность равновесных классов «50/50%»

обладают свойствами позволяющими обеспечить требуемую избыточность при формировании РВК для маломощных первичных алфавитов, а, следовательно, априори, и высокую помехоустойчивость. Вышеизложенное подтверждает справедливость утверждения 1 и позволяет сформулировать следующий эмпирический факт.

Эмпирический факт 1. Оптимальное значение размерности РВК целесообразно выбирать из множества четных чисел $n_{\text{опт}} = \{2i\}$, $i=1,2,3,\dots$, а для формирования равновесного кода максимальной мощности целесообразно использовать КОРК с оптимальным значением ВХ его элементов $w_c = w_{\text{сопт}} = n/2$.

Утверждение 2. Мощность N_{X_s} множества X_s образованного прямым произведением двух равновесных классов с ВХ w_1 и w_2 равна произведению мощностей этих классов:

$$N_{X_s} = N_{X(n,w_1)} \cdot N_{X(n,w_2)}. \quad (11)$$

Справедливость утверждения основана на свойстве прямого произведения множеств [1, 2].

Если $X_i \in X(n,w_1)$ и $X_j \in X(n,w_2)$, то под результатом прямого произведения понимают множество $X(n,w_1) \times X(n,w_2)$ размерностью $N_{X(n,w_1)} \times N_{X(n,w_2)}$ состоящее из всех пар и только тех упорядоченных пар, первая компонента которых принадлежит множеству $X(n,w_1)$, а вторая – множеству $X(n,w_2)$:

$$\begin{aligned} X(n,w_1) \times X(n,w_2) = \\ = \{ \{X_i, X_j\} \mid X_i \in X(n,w_1), X_j \in X(n,w_2) \}. \end{aligned} \quad (12)$$

$i=1, N_{X(n,w_1)}; j=1, N_{X(n,w_2)}$

Очевидно, если $w_1 = w_2 = w_c$, т.е. имеет место прямое произведение КОРК самого на себя:

$$\begin{aligned} X(n,w_c) \times X(n,w_c) = X^2(n,w_c) = \\ = \{ \{X_i, X_j\} \mid X_i \in X(n,w_c), X_j \in X(n,w_c) \} \end{aligned} \quad (13)$$

$i, j=1, N_{X(n,w)}$

и, следовательно, мощность такого множества:

$$N_{X(n,w_c) \times X(n,w_c)} = N_{X(n,w_c)}^2. \quad (14)$$

Алгебраические свойства РК проявляются при выполнении операции поразрядного сложения и умножения (по модулю два) каждой пары элементов из множества, образованного прямым произведением (12), (13).

Утверждение 3. При поразрядном сложении над КОП (сложение по модулю два) i -того элемента из РК ($X_i \in X(n,w_1)$) с ВХ w_1 и j -того элемента из РК ($X_j \in X(n,w_2)$) с ВХ w_2 образуется элемент X_s , принадлежащий одному из РК ($X_s \in X(n,w_s)$) с весом w_s , значение которого принадлежит множеству:

$$w_s = \{ |w_1 - w_2|, \dots; \left\{ \begin{array}{l} w_1 + w_2 \text{ если } w_1 + w_2 \leq n \\ w_1 + w_2 - n \text{ если } w_1 + w_2 > n \end{array} \right\} \}. \quad (15)$$

Действительно из⁴

$$X_s = X_i \oplus X_j = \{ x_{i\mu} \oplus x_{j\mu} \}_{\mu=1, n} \quad (16)$$

следует

$$w_s = \sum_{\mu=1}^n x_{i\mu} \oplus x_{j\mu} = \sum_{\mu=1}^n |x_{i\mu} - x_{j\mu}|. \quad (17)$$

Очевидно, что значение w_s – расстояние Хемминга (РХ) между двумя элементами КОП (точками в n мерном пространстве) служит мерой несовпадения их разрядов.

Рассмотрим две ситуации.

Ситуация 1. Элемент X_i , содержит символ «1» в первых разрядах с индексами $\mu=1, w_1$, а элемент X_j – в разрядах с индексами $\mu=1, w_2$.

Очевидно, что в разрядах с индексами $\mu=1, \min(w_1, w_2)$ значения $x_{i\mu} = x_{j\mu} = 1$ и при сложении по модулю два (16) в этих разрядах элемента X_s образуется значение «0». Поэтому значения «1» в элементе X_s образуются только в разрядах с индексом $\mu = \min(w_1, w_2) + 1, \max(w_1, w_2)$ и, следова-

⁴ Здесь и далее символ \oplus означает сложение по модулю 2.

тельно, для элемента X_s минимальное значение ВХ:

$$\begin{aligned} \min w_s &= \sum_{\mu=\min(w_1, w_2)}^{\max(w_1, w_2)} x_{i\mu} \oplus x_{j\mu} = \\ &= \max(w_1, w_2) - \min(w_1, w_2) = |w_1 - w_2|. \end{aligned} \quad (18)$$

Ситуация 2. Элемент X_i , содержит символ «1» в первых разрядах с индексами $\mu_i = \overline{1, w_1}$, а элемент X_j – в последних разрядах с индексами $\mu_j = \overline{n-w_2, n}$. Если $n-w_2 \leq w_1$ то в результате поразрядного сложения (16) в элементе X_s в разрядах с индексами $\mu = \overline{n-w_2, w_1}$ образуется значение «0». В этом случае максимальное значение веса элемента X_s :

$$\begin{aligned} \max w_s &= \sum_{\mu=1}^{n-w_2} x_{i\mu} \oplus x_{j\mu} + \\ &+ \sum_{\mu=w_1}^n x_{i\mu} \oplus x_{j\mu} = w_1 + w_2 - n. \end{aligned} \quad (19)$$

Если $n-w_2 > w_1$ то максимальное значение веса элемента X_s :

$$\max w_s = w_2 + w_1. \quad (20)$$

Из выражений (18) – (20) следует – утверждение 3 справедливо, при этом имеет место следующий эмпирический факт.

Эмпирический факт 2. В результате поразрядного сложения множества пар элементов образованных прямым произведением КОРК $X(n, w)$ самого на себя, образуются элементы, у которых ВХ принимает значение на **множестве четных чисел**:

$$w_s = \{0; 2; \dots; \left. \begin{cases} 2w_c & \text{если } 2w_c < n \\ 2w_c - n & \text{если } 2w_c \geq n \end{cases} \right\}, \quad (21)$$

причем, $w_s = 0$ при сложении равных элементов.

Утверждение 4. При поразрядном умножении над КОП (умножении по модулю два) i -того элемента из класса $(X_i \in X(n, w_1))$ с ВХ w_1 и j -того элемента из класса $(X_j \in X(n, w_2))$ с ВХ w_2 образуется элемент $X_s \in X(n, w_s)$, принадлежащий одному из равновесных классов с весом w_s , значение которого принадлежит множеству:

$$w_s = \left\{ \begin{cases} 0 & \text{если } w_1 + w_2 < n \\ |w_1 - w_2| & \text{если } w_1 + w_2 \geq n \end{cases}; \dots; \min(w_1, w_2) \right\}. \quad (22)$$

Действительно, из⁵

$$X_s = X_i \otimes X_j = \{x_{i\mu} \otimes x_{j\mu}\}_{\mu=1, n} \quad (23)$$

следует

$$\begin{aligned} w_s &= d_2(X_i, X_j) = \\ &= \sum_{\mu=1}^n x_{i\mu} \otimes x_{j\mu} \bmod 2 = \sum_{\mu=1}^n x_{i\mu} \wedge x_{j\mu}. \end{aligned} \quad (24)$$

Очевидно, что значение w_s – расстояние между двумя элементами КОП (точками в n мерном пространстве) служит мерой их поразрядного совпадения.

Рассмотрим две крайние ситуации.

Ситуация 1. Элемент X_i , содержит символ «1» в первых разрядах с индексами $\mu_i = \overline{1, w_1}$, а элемент X_j – в разрядах с индексами $\mu_j = \overline{1, w_2}$. Очевидно, что в разрядах с индексами $\mu = \overline{1, \min(w_1, w_2)}$ значения $x_{i\mu} = x_{j\mu} = 1$ и при поразрядном умножении (24) в этих разрядах элемента X_s образуют «1» и, следовательно, для элемента X_s максимальное значение ВХ:

$$\max w_s = \sum_{\mu=1}^{\min(w_1, w_2)} x_{i\mu} \otimes x_{j\mu} = \min(w_1, w_2). \quad (25)$$

Ситуация 2. Элемент X_i , содержит символ «1» в первых разрядах с индексами $\mu_i = \overline{1, w_1}$, а элемент X_j – в последних разрядах с индексами $\mu_j = \overline{n-w_2, n}$. Если $n-w_2 \leq w_1$ то в элементе X_s в результате поразрядного умножения (24) в разрядах с индексами $\mu = \overline{n-w_2, w_1}$ образуется значение «1». В этом случае минимальное значение веса элемента X_s :

$$\min w_s = \sum_{\mu=n-w_2}^{w_1} x_{i\mu} \otimes x_{j\mu} = n - (w_2 + w_1). \quad (26)$$

Если $n-w_2 > w_1$, то минимальное значение веса элемента $\min w_s = 0$ и с учетом выражений (25) – (26) следует – утверждение 4 справедливо.

Эмпирический факт 3. Для множества пар элементов образованных прямым произведением КОРК $X(n, w_c)$ самого на себя в результате их поразрядного умножения образуются элементы, у которых ВХ принимает значение из множества $\{0; 1; \dots; w_c\}$, причем $w_s = w_n$ при перемножении равных элементов.

Проведенные в настоящей статье исследования числовых характеристик и алгебраических свойств равновесных классов над кодообразующими полями с характеристикой равной двум позволили выявить ряд специальных свойств этих классов, которые могут быть использованы при разработке методов передачи данных с использованием равновесных кодов.

Литература

1. Коршунов, Ю.М. Математические основы кибернетики. М: Энергоатомиздат, 1987. 496 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М: Наука, 1977. 832 с.

⁵ Здесь и далее символ \otimes означает произведение по модулю 2.

УДК 621.395

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРОИЧНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ СООБЩЕНИЙ

Анатолий Владимирович Зеленевский

кандидат технических наук

ведущий специалист

ЗАО «Фирма НТЦ КАМИ»

Адрес: 125480, Москва,

ул. Героев Панфиловцев, д. 10

Тел.: +7(4967)35-12-31

Владимир Владимирович Зеленевский

доктор технических наук, профессор

профессор кафедры

филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)

Адрес: 142210, Московская обл.,

г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17

Тел.: +7(4967)35-12-31

В статье доказано, что троичное статистическое кодирование первичных сообщений позволяет уменьшить ширину частотного спектра сигнала вторичного кода.

The article proved that triple statistic coding of primary messages permits to decrease the width of frequency spectrum signal of the second code.

Ключевые слова: статистическое кодирование, коды Хаффмана, коэффициенты эффективности и статистического сжатия, основание кода, кодовое дерево.

Key words: statistic coding, Hoffman's codes, factors of efficiency and statistic compression, code basis, code tree.

Исследование не двоичных систем и алгоритмов кодирования передаваемой информации показывает их высокую эффективность не только по коррекции ошибок, но и по занимаемой полосе частот канала передачи [2, 3, 4].

Известные статистические коды Шеннона-Фано, Хаффмана используют двоичные символы [1]. Оценим параметры троичного статистического кодирования первичных сообщений:

- коэффициент относительной эффективности

$$K_{\text{ЭФ}} = \frac{H}{n_{\text{СР}}}, \quad (1)$$

где H – средняя энтропия источника на символ сообщения, равная

$$H = -\sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i \quad (2)$$

при условии, что источник сообщений выдает в канал передачи последовательность неравновесных и взаимонезависимых символов $\{A_i\}$, $i = 1, \dots, N$; N – объем алфавита источника; P_i – вероятность появления i -го символа на выходе источника;

- $n_{\text{СР}}$ – средняя длина кода во вторичном алфавите, равная

$$n_{\text{СР}} = (\log_2 q) \sum_{i=1}^N P_i n_i \quad (3)$$

q – основание кода (для двоичного кода $q=2$); n_i – длина кода вторичного алфавита, которым кодируется i -й символ первичного кода сообщения;

- коэффициент статистического сжатия

$$K_{\text{С.С.}} = \frac{H_{\text{max}}}{n_{\text{СР}}}, \quad (4)$$

где H_{max} – максимальная энтропия источника, равная

$$H_{\text{max}} = \log_2 N. \quad (5)$$

Так как коэффициент $K_{\text{С.С.}}$ определяет ширину частотного спектра сигнала статистического кодера, то, изменяя основание кодирования, можно оценить изменение ширины спектра и спектральную эффективность статистического кодирования.

Пусть источник сообщений генерирует последовательность символов $\{A_i\}$ с вероятностями P_i (таблица 1).

На первом этапе исследования для вторичного статистического кодирования первичных символов сообщения будем использовать двоичный неравномерный код Хаффмана, кодовое дерево которого представлено на рисунке 1.

На рисунке 1 обозначены дополнительные символы $\{A_{ij}\}$ и их вероятности (в скобках), которые определяются суммой вероятностей входящих символов.

Верхние ветви кодового дерева соответствуют единичным символам (1), а нижние – нулевым символам (0) вторичного кода

Штриховой линией показан вторичный двоичный код первичного символа $A_3 \leftrightarrow 011$, то есть чтение кода осуществляется с последнего дополнительного символа $A_{1-12} (P_{1-12} = 1,0)$ по направлению к A_i символу. Вторичное кодирование

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Таблица 1

Символы сообщения A_i и их вероятности P_i , $N=12$

A_i	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}
P_i	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,1	0,06	0,045	0,035	0,03	0,02	0,01

Замечание 1. Суммарная вероятность $\sum_{i=1}^{N=12} P_i = 1$.

ние и его параметры представлены в таблице 2.

Для проверки на префиксность составленного кода выберем случайную последовательность символов на передачу:

$$A_3 A_5 A_7 A_6 A_1 A_8 A_{12} A_9, \quad (6)$$

и запишем соответствующую ей последовательность двоичных символов вторичного алфавита без разделительных знаков:

$$011001101100011110100000010011. \quad (7)$$

Используя таблицу 2 вторичного кода, выполним декодирование:

1) так как $n_{max} = 5$, то слева выберем пять символов 01100, которых в таблице нет;

2) уменьшим n_{max} на один разряд и полученную последовательность попытаемся отыскать в таблице – ее нет;

3) уменьшим n_{max} на два разряда, последовательность 011 имеется в таблице, ей соответствует символ A_3 . Так как кодовых комбинаций с $n=2$ в таблице нет, то на третьем этапе мы получили правильное решение – первым принят символ A_3 ;

4) теперь анализируем новую последовательность с $n_{max} = 5$, это последовательность 00110. Выполнив действия 2) и 3) получим последовательность 001, которая соответствует символу A_5 ;

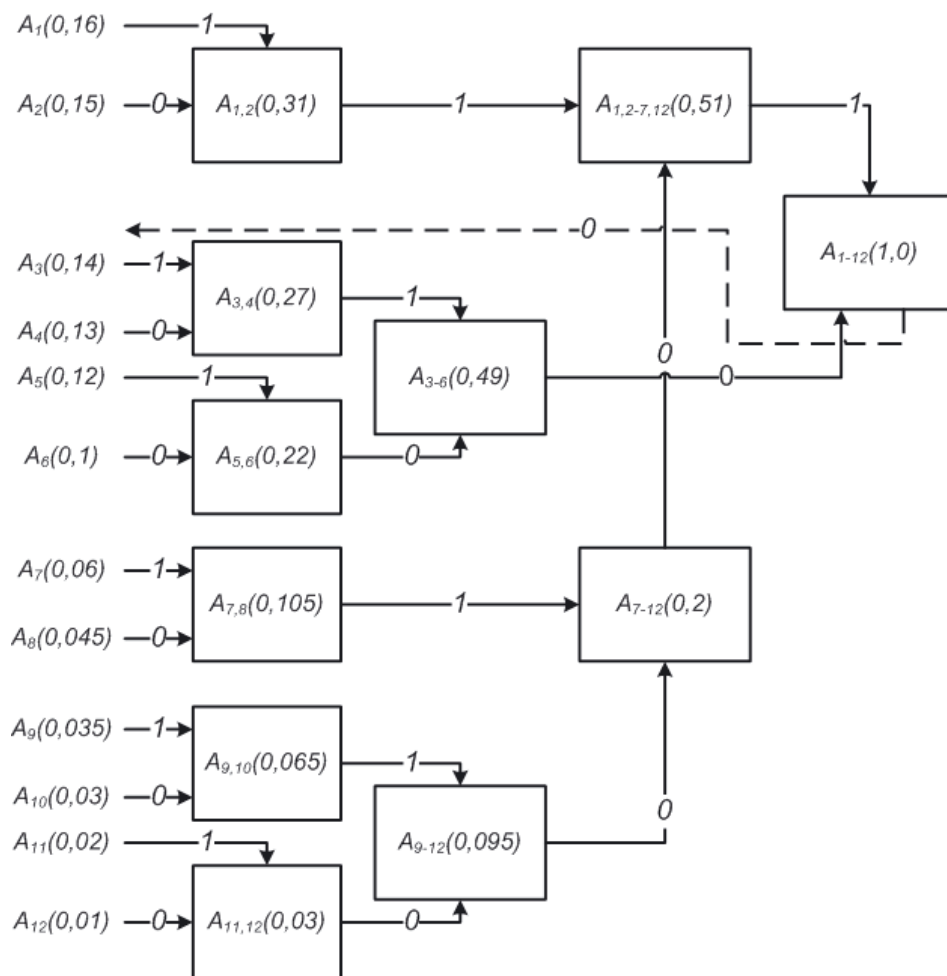


Рис. 1. Кодовое дерево кода Хаффмана

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

5) далее анализируем последовательность 10110 с $n_{max}=5$, однако такой кодовой комбинации в таблице нет. Уменьшим ее длину на один разряд, получим 1011, что соответствует символу A_7 . Продолжая проверку, уменьшим длину

последовательности на один разряд и получим 101. Однако кодовая комбинация 101 в таблице отсутствует. Делаем вывод – принят символ A_7 .

Таким образом, выполняя п.п. 1) – 5) на всей длине последовательности (7), убеждаемся, что при ее декодировании однозначно получаем последовательность переданных символов (6). Это значит, что составленный вторичный код удовлетворяет свойству префиксности и для разделения принятых символов при декодировании не требуется дополнительные синхронизирующие вставки, то есть осуществляется самосинхронизация по кодовым комбинациям.

Оценим параметры такого вторичного кода:

- средняя энтропия источника $H=3,2578$ бит/символ;
- средняя длина кодовой комбинации во вторичном алфавите $n_{cp}=3,295$ двоичных символов;
- коэффициент относительной эффективности $K_{эф}=0,9887$;
- коэффициент статистического сжатия $K_{с.с.}=1,0546$.

На втором этапе исследования для статистического кодирования первичных символов сообщения будем использовать троичный неравномерный код $\{0;1;-1\}$, кодовое дерево которого представлено на *рисунке 2*.

Вторичное кодирование троичным неравномерным кодом и его параметры представлены в *таблице 3*.

Для проверки на префиксность составленно-

Таблица 2
Вторичное кодирование кодом Хаффмана

A_i	P_i	Кодовая комбинация	n_i (число знаков в кодовой комбинации)	$P_i n_i$
A_1	0,16	1 1 1	3	0,48
A_2	0,15	1 1 0	3	0,45
A_3	0,14	0 1 1	3	0,42
A_4	0,13	0 1 0	3	0,39
A_5	0,12	0 0 1	3	0,36
A_6	0,1	0 0 0	3	0,3
A_7	0,06	1 0 1 1	4	0,24
A_8	0,045	1 0 1 0	4	0,18
A_9	0,035	1 0 0 1 1	5	0,175
A_{10}	0,03	1 0 0 1 0	5	0,15
A_{11}	0,02	1 0 0 0 1	5	0,1
A_{12}	0,01	0 0 0 0 0	5	0,05

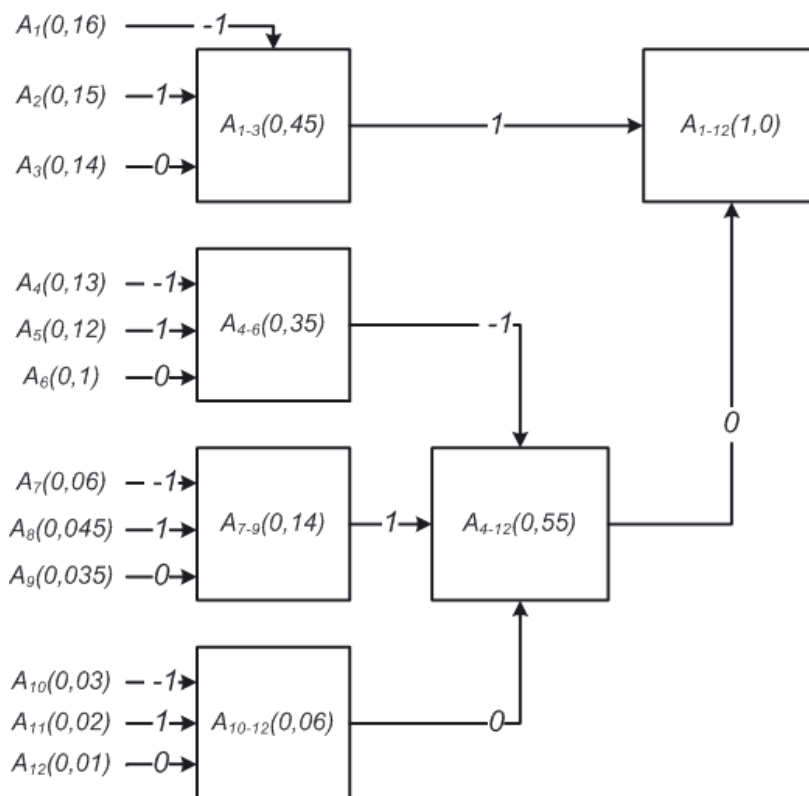


Рис. 2. Кодовое дерево троичного кода

го кода выберем случайную последовательность символов на передачу:

$$A_1 A_2 A_4 A_6 A_8 A_7 A_3 A_{12}, \quad (8)$$

и запишем соответствующую ей последовательность троичных символов вторичного алфавита:

$$1 - 1 1 1 0 - 1 - 1 0 - 1 0 0 1 1 0 1 - 1 1 0 0 0 0. \quad (9)$$

Используя таблицу 3, выполним декодирование:

1) так как $n_{max}=3$, то слева выберем три символа 1 -1 1, в таблице такой последовательности нет; 2) уменьшим $n_{max}=3$ на один разряд и полученную последовательность 1 -1 найдем в таблице. Результат декодирования $\{1 -1\} \leftrightarrow A_1$; 3) теперь анализируем новую последовательность 110 с $n_{max}=3$ и обнаруживаем, что ее в таблице нет. Уменьшим длину последовательности на один разряд и делаем вывод – принятая последовательность 11 соответствует символу A_2 ; 4) далее берем последовательность 0-1-1 и убеждаемся, что ей соответствует символ A_4 .

Выполним п.п. 1) – 4) и убедимся, что при декодировании последовательности (9) получается последовательность переданных символов (8). Следовательно, составленный троичный код удовлетворяет свойству префиксности.

Оценим параметры троичного кода:

- средняя энтропия источника $H=3,2578$ бит/символ осталась прежней;
- средняя длина троичной кодовой комбинации во вторичном алфавите $n_{cp}=2,55$ троичных символов, важной особенностью которых является возможность передавать их двоичными полярными сигналами ($q=2$) с возвратом к нулю [5];
- коэффициент относительной эффективности $K_{эф}=1,277$, что больше, чем для двоичного кода Хаффмана;
- коэффициент статистического сжатия $K_{с.с.}=1,362$, что больше, чем для двоичного кода Хаффмана.

Оценим ширину частотного спектра ΔF_C сигналов исследованных статистических неравномерных кодов.

Так как длительность кодовых символов в обоих случаях остается неизменной, то значение ΔF_C можно определить по выражению [5]:

$$\Delta F_C = \frac{R_{и}}{K_{с.с.}},$$

где $R_{и}$ – производительность источника сообщений.

Будем считать, что $R_{и}=\text{const}$. Тогда для двоичного кода Хаффмана получим $\Delta F_C^{(X)} = 0,947R_{и}$, а для троичного сигнала $\Delta F_C^{(T)} = 0,731R_{и}$.

Выводы

1. Троичное статистическое кодирование первичных сообщений – эффективный метод уменьшения ширины частотного спектра передаваемого вторичного кода (ширина спектра

Таблица 3

Вторичное кодирование троичным кодом

A_i	P_i	Кодовая комбинация	n_i (число знаков в кодовой комбинации)	$P_i n_i$
A_1	0,16	1 -1	2	0,32
A_2	0,15	1 1	2	0,3
A_3	0,14	1 0	2	0,28
A_4	0,13	0 -1 -1	3	0,39
A_5	0,12	0 -1 1	3	0,36
A_6	0,1	0 -1 0	3	0,3
A_7	0,06	0 1 -1	3	0,18
A_8	0,045	0 1 1	3	0,135
A_9	0,035	0 1 0	3	0,105
A_{10}	0,03	0 0 -1	3	0,09
A_{11}	0,02	0 0 1	3	0,06
A_{12}	0,01	0 0 0	3	0,03

уменьшилась в 1,295 раза по отношению к двоичному коду Хаффмана).

2. Статистическое кодирование первичных сообщений снижает помехоустойчивость систем передачи, поэтому для обеспечения требуемой достоверности приема сообщений необходимо дополнительно использовать каналное (корректирующее) кодирование данных, которое вызывает расширение спектра передаваемого сигнала.

3. Применение оптимальных статистических и корректирующих кодов позволяет добиться максимально возможной скорости передачи данных при ограниченной полосе пропускания канала передачи и обеспечить заданную достоверность приема данных.

Литература

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд., испр. Пер. с англ. М.: Изд. Дом «Вильямс», 2003. 1104 с.
2. Павлов П.А. Обнаружение и коррекция байтовых ошибок в устройствах хранения и передачи данных телекоммуникационных систем // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С. 51-56.
3. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Шмырин Е.В. Имитационное моделирование оптимальных недвоичных декодеров // Известия Института инженерной физики, 2014. №2(32). С. 33-38.
4. Гусев А.В. Метод помехоустойчивого кодирования информации каналов передачи данных телеизмерительных информационных систем с исправлением ошибок в двух байтах информации // Известия Института инженерной физики, 2014. №2(32). С. 46-51.
5. Гакин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 432 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

УДК 378:004(045)

МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И СТУДЕНТОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Анатолий Васильевич Золотарюк

кандидат технических наук, доцент

профессор кафедры «Информационные технологии»
ФГОБУ ВПО «Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации»
Адрес: 125993, Москва, Ленинградский пр-т, д. 49
Тел.: +7(499)277-21-37 E-mail: AZolotaryuk@fa.ru

Татьяна Леонидовна Фомичева

кандидат экономических наук, доцент

доцент кафедры «Информационные технологии»
ФГОБУ ВПО «Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации»
Адрес: 125993, Москва, Ленинградский пр-т, д. 49
Тел.: +7(499)277-21-37 E-mail: TFomicheva@fa.ru

Анна Иосифовна Кижнер

кандидат экономических наук, доцент

доцент кафедры «Информационные технологии»
ФГОБУ ВПО «Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации»
Адрес: 125993, Москва, Ленинградский пр-т, д. 49
Тел.: +7(499)277-21-37 E-mail: AKijner@fa.ru

В настоящее время для реализации удаленного (дистанционного) обучения и контроля предлагается применение облачных технологий, суть которых заключается в предоставлении пользователям удаленного доступа услуг через сеть Интернет. В статье говорится о тестировании, как одном из основных методов контроля при дистанционной форме обучения. Рассматриваются требования к системам тестирования, работающим в облачных средах. Обращается внимание на самоконтроль, как одну из форм контроля при обучении, предлагаются разные технологии обработки результатов тестирования.

At present to implement remote (distance) training and monitoring are offered use of cloud technologies, the essence of which is to provide users with remote access services via the Internet. The article talks about testing, as one of the main methods of control of the distance form of training. Requirements to the testing systems operating in the cloud. Attention is drawn to the self-control as one of the forms of control when learning are different technologies of processing of the test results.

Ключевые слова: реформирование системы образования, проблемы образовательного процесса, дистанционное обучение, контроль и самоконтроль обучения, тестирование, облачные среды и технологии, эффективность применения облачных технологий в образовании.

Key words: education reform, the problems of the educational process, distance education, control and self-control training, testing, cloud environments and technology, the effectiveness of cloud technologies in education.

Современные специалисты, работающие в областях экономики, должны обладать знаниями экономических законов, закономерностей, владеть методами, позволяющими управлять производством, проводить экономический анализ, вести бухгалтерский учет, заниматься менеджментом, контролем и аудитом, а также уметь использовать средства, предоставленные современными информационными технологиями в практической деятельности. Все это предьявля-

ет высокие требования к уровню знаний специалистов и обуславливает необходимость постоянного систематического повышения и подтверждения квалификации, усвоения новых программ в связи с неустойчивой и меняющейся экономической ситуацией, а также обновляющейся информацией в сфере законодательства.

Развитие средств коммуникаций, способов сбора хранения и передачи информации, т.е. всего того, что принято называть новыми ин-

формационными технологиями, привело к возможности поиска и создания новых форм и методов обучения, основанных на новейших достижениях информационно-коммуникационных технологий, например, реализации и совершенствования дистанционного обучения (ДО).

Под ДО понимается способ организации процесса обучения, основанный на использовании современных информационных и телекоммуникационных технологий, позволяющих осуществлять обучение на расстоянии без непосредственного контакта между преподавателем и учащимся [1].

В учебном процессе посредником между учащимся и учебным материалом является преподаватель. В ДО работа преподавателя (тьютора) имеет специфические особенности. Это прежде всего связано с тем фактом, что ДО осуществляется с использованием средств коммуникаций, а работа с каждым обучающимся индивидуальна за счет дистанционного удаления обучающегося от преподавателя. В настоящее время к наиболее доступным средствам коммуникации между преподавателем и учащимся следует отнести Интернет-технологии.

Работа тьютора осуществляется в специальной программной среде, которая должна быть интегрирована в Интернет.

Программная среда является оболочкой, которая по мере необходимости и готовности соответствующих материалов должна:

- наполняться учебно-методическими материалами в электронной форме;
- содержать систему удаленного компьютерного тестирования знаний учащихся;
- содержать средства общения с учащимися в режиме он-лайн (форумы, чаты и пр.);
- администрировать учебный процесс слушателей;
- строить отчеты по различным критериям.

Дистанционная форма обучения и контроля в настоящее время широко используется в различных странах мира. Дистанционное образование позволяет учиться в университете, в том числе зарубежном, не покидая работы и страны. Кроме того, субъект может изучать курс в удобное для него время, выбирая определенный темп обучения и используя материалы для обучения, предоставленные в электронном виде. Обучаемый также имеет возможность подбора индивидуального графика контроля правильности усвоения материала с помощью интерактивных тестов. Такая форма обучения эффективна также и для повышения квалификации и самообразования.

Получить образование, используя техноло-

гии Интернета, могут работники, желающие приобрести новые знания, повысить квалификацию, получить второе высшее образование, лица, специфика работы которых или имеющиеся медицинские ограничения не позволяют учиться в ритме действующих образовательных технологий и др.

В настоящее время для дистанционного обучения и обеспечения контроля над знаниями удаленных пользователей предлагается использовать материалы и автоматизированные системы, работающие на принципах облачных технологий [2, 3]. Это означает, что материалы, необходимые для ДО будут храниться в сети Интернет.

Здесь следует, конечно же, сказать о достоинствах и недостатках применения облачных технологий в ДО.

Преимущества облачных технологий [4, 5]

1. Пользователь платит только за то, что использует.
2. Облачные технологии позволяют экономить на приобретении, поддержке, модернизации ПО и оборудования.
3. Техническое обслуживание, обновление ПО производит провайдер услуг.
4. Работать можно из любой точки на планете, где есть доступ в сеть Интернет.

Недостатки облачных технологий

1. Пользователь не является владельцем и не имеет доступа к внутренней облачной инфраструктуре. Сохранность пользовательских данных сильно зависит от компании провайдера.
2. Недостаток, актуальный для российских пользователей: для получения качественных услуг пользователю необходимо иметь надежный и быстрый доступ в сеть Интернет.
3. Не все данные можно доверить провайдеру в Интернет не только для хранения, но даже для обработки.
4. Не каждое приложение позволяет сохранить, например, на флэшку промежуточные этапы обработки информации, а также конечный результат работы, а ведь онлайн-результаты удобны не всегда.
5. Есть риск, что провайдер онлайн-сервисов однажды не сделает резервную копию данных, и они будут утеряны в результате крушения сервера.
6. Доверяя свои данные онлайн-сервису, вы теряете над ними контроль и ограничиваете свою свободу (пользователь будет не в состоянии изменить какую-то часть своей информации, она будет храниться в условиях, не подвластных ему).

При дистанционном обучении тестирование становится основной, если не единственной,

формой контроля [6, 7, 8, 9]. Тестирующие системы, в том числе работающие в облаке, должны удовлетворять определенным требованиям:

1) открытости для наполнения знаниями из любой предметной области;

2) возможности корректировки имеющейся базы знаний;

3) возможности настройки на различные методики оценки знаний;

4) применения при любой форме контроля: аттестации, зачете, экзамене, а также в качестве тренажера для осуществления самоконтроля;

5) хранения информации о лицах, проходящих тестирование;

6) возможности импортировать тесты, созданные в других системах;

7) иметь стандартную структуру формы для ввода тестовых заданий с любым содержанием действий:

- выбора одного ответа,
- выбора нескольких ответов,
- установления соответствия,
- ранжирования,
- установления правильной последовательности,
- заполнения пропусков, завершения фраз, предложений,
- вычисления ответа,
- вычисления/выбора ответа.

Кроме того, подобные системы должны быть снабжены развитой справочной системой, помогающей пользователю сориентироваться в действиях на любом этапе работы.

Пользователями этих систем будут две категории лиц.

Во-первых, лица, наполняющие базу знаний тестами, настраивающие систему на метод оценки, устанавливающие параметры, в соответствии с которыми будет проходить процесс тестирования – тьютеры. Доступ к этой информации должен предоставляться только по определенному паролю.

Во-вторых, лица, проходящие тестирование дистанционно. Причем процедура тестирования должна делиться на два блока; контроль и самоконтроль.

В блоке контроля выполняется основная функция процедуры тестирования – оценка знаний испытуемого. Знания оцениваются исходя из параметров настройки, заданных тьютером и применяемого метода оценки. До перехода к процедуре тестирования испытуемый должен иметь возможность просмотреть параметры настройки, сделанные заранее: сколько ему будет задано вопросов, сколько времени отведено на вопрос, какой процент правильных ответов

для получения той или иной оценки. Результаты, полученные в блоке контроля, являются основанием для выставления оценки испытуемому за данную тему.

Важное место среди методов проведения контроля занимает самоконтроль [10]. В толковом словаре С.И. Ожегова он определяется как контроль над своими действиями, поступками. По сравнению с другими методами контроля самоконтроль обладает тем достоинством, что ему подчиняются добровольно. К примеру, при использовании метода самоконтроля в процессе обучения, оно становится последовательным, упорядоченным, исключается возможность цейтнота. От учащегося требуется только желание и наличие свободного времени. С другой стороны, самоконтроль, не имея юридической основы, может выполняться без строгого соблюдения правил, а потому иметь субъективный характер.

Оценка при самоконтроле выполняет чисто психологическую функцию, так как сравнение знаний происходит со своими же знаниями, но предыдущими. Самоконтроль знаний, благодаря Интернет-технологиям, широко распространение получил в дистанционном образовании за счет включения быстрой обратной связи и возможности корректировки подачи учебного материала, что повышает эффективность образовательного процесса [11, 12].

В случае самоконтроля испытуемый должен получить доступ ко всему набору тестовых заданий и комментариям, заранее введенным на этапе формирования тестов. Комментарии могут иметь произвольный текст, например, обоснование правильного ответа, определения, ссылки на учебную литературу, формулы и т.п. Этот блок в основном выступает в качестве обучающего.

Во время прохождения тестирования испытуемый должен иметь возможность видеть всю статистическую информацию на момент ответа: на какой вопрос по счету он отвечает, сколько было дано ответов верных, сколько осталось времени для прохождения тестирования. Учитывая психологическое состояние человека, проходящего тестирование, этот сервис является позитивным фактором, помогающим обеспечить некоторую комфортность за счет снижения неопределенности положения, исключая неожиданность в случае нехватки времени на ответ или при получении неадекватной, с точки зрения испытуемого, оценки.

После прохождения сеанса тестирования итоги должны сохраняться с указанием личных данных участника, даты и времени проведения,

номера темы, по которой прошло тестирование, оценки, выставленной компьютером и режима тестирования – контроль или самоконтроль. Информация должна сохраняться до ее уничтожения. Из этого следует, что можно просмотреть все результаты прохождения тестирования каждого участника.

В настоящее время заслуживает внимания, но недостаточно используется в процессе обучения технология адаптивного компьютерного тестирования. Адаптивное тестирование предполагает разные алгоритмы его реализации. Однако такая технология подразумевает установление параметров трудности и дифференцирующей способности каждого задания. Эти параметры устанавливаются опытным путем, проходя эмпирическую апробацию. Каждое тестовое задание получает так называемый логит трудности. При адаптивном тестировании испытуемый получает следующий вопрос в зависимости от ответа на текущий: если ответил верно, то вопрос будет труднее, если неверно – легче.

Использование современных компьютерных технологий, в том числе применение возможностей сети Интернет, способно поддержать высокий уровень образования в России, тем самым стать одним из катализаторов будущего экономического подъема.

Литература

1. <http://ru.wikipedia.org/>
2. Андреев И.А., Гладштейн И.А., Чистов Д.В. О реализации пилотного проекта по использованию облачных сервисов в процессе обучения // Новые информационные технологии в образовании: Сборник научных трудов 14-й международной научно-практической конференции «Применение технологий «IC» для повышения эффективности деятельности организаций образования» 28-29 января 2014 г. Ч. 1. М.: ООО «IC-Паблишинг», 2014. С. 26-30.
3. Золотарюк А.В. Облачные технологии как фактор разрешения проблем глобализации образования // Инновационные технологии в финансово-экономической сфере: прошлое, настоящее, будущее: Материалы международной научной конференции / Под ред. О.В. Голосова, Д.В. Чистова. М.: ООО «IC-Паблишинг», 2013. С. 68-73.
4. Золотарюк А.В. Облачные сервисы как средство повышения результативности самостоятельной работы студентов // Новые информационные технологии в образовании: Сборник научных трудов 14-й международной научно-практической конференции «Применение технологий «IC» для повышения эффективности деятельности организаций образования» 28-29 января 2014 г. Ч. 1. М.: ООО «IC-Паблишинг», 2014. С. 494-497.
5. Чистов Д.В. Существующие возможности и перспективы использования облачных решений «IC» в учебном процессе при подготовке экономистов // Новые информационные технологии в образовании: Сборник научных трудов 13-й международной научно-практической конференции «Технологии «IC» для эффективного обучения и подготовки кадров в целях повышения производительности труда» 29 – 30 января 2013 г. / Под общ. ред. Д.В.Чистова. Ч. 1. М.: ООО «IC-Паблишинг», 2013, с. 804 – 810.
6. Кижнер А.И., Фомичева Т.Л. Тестирование: за и против // Новые информационные технологии в образовании (НИТО-Байкал): Материалы международной научно-практической конференции 12-14 июля 2010 г. Улан-Удэ: Изд-во БГСА, 2010. С. 179-180.
7. Кижнер А.И., Фомичева Т.Л. Возможность применения метода тестирования для контроля знаний в дисциплинах математического цикла // Анализ и перспективы развития тестовых технологий в самостоятельной работе студентов. Материалы круглого стола М.: «Финансовый университет» 2011. С. 104-106.
8. Кижнер А.И. Методы контроля в сфере образования // Материалы IX Межвузовской научно-практической конференции молодых ученых. Череповецкий государственный университет, 21 марта 2008. С. 235-239.
9. Гобарева Я.Л., Городецкая О.Ю., Золотарюк А.В. Инновационные Интернет-технологии в образовательном процессе кафедры // II Всероссийская научно-практическая конференция «Информационные технологии в образовании XXI века (ИТО-XXI)»: Сборник научных трудов. Т.2. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. С. 235-238.
10. Кижнер А.И. Контроль над самостоятельной работой учащегося в процессе познания // Проблемы фундаментальной подготовки в школе и вузе в контексте современности: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции 10-11 декабря 2009 г.: Межвуз. сб. науч. работ: В 2 ч. Ч. 1 – Череповец: ФГБОУ ВПО ЧГУ, 2012. С. 316-319.
11. Золотарюк А.В. Проблемы образовательного процесса и их разрешение // Новые информационные технологии в образовании (НИТО-Байкал): Материалы международной научно-практической конференции 12-14 июля 2010 г. Улан-Удэ: Изд-во БГСА, 2010. С. 58-59.
12. Гобарева Я.Л., Городецкая О.Ю., Золотарюк А.В., Кочанова Е.Р. Многофункциональный образовательный портал в инновационной системе обучения и развития компетенций // Информационные технологии в образовании и науке: Материалы международной научно-практической конференции «ИТО-Самара-2011». Самара–М.: Изд-во МГПУ, 2011. С. 393-394.

УДК 621.3

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОРЕСУРСА РЕТРАНСЛЯТОРА С УЧЕТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ ТРАФИКА И ЗАПАЗДЫВАНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ

Салават Халилович Зиннуров

адъюнкт

Военно-космическая академия
им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7(981)781-71-29
E-mail: zinnurov_salavat@mail.ru

Александр Александрович Ковальский

адъюнкт

Военно-космическая академия
им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7(911)278-56-50
E-mail: sake636@mail.ru

Александр Васильевич Кузичкин

заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
заместитель генерального директора
по информационным технологиям
Научно-исследовательский
институт телевидения
Адрес: 194021, Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 22
Тел.: +7(812)297-41-67

В статье рассматривается вариант организации множественного доступа к радиоресурсу спутника ретранслятора с выделением каналов по требованию на основе резервирования. Сформулированы задачи оперативного распределения (резервирования) радиоресурса спутника-ретранслятора в виде задачи нелинейного программирования и приведен пример ее решения при обслуживании нестационарного потока сообщений, формируемого группой речевых абонентов. В качестве модели нестационарного потока сообщений, формируемого речевыми абонентами с учетом подавления сигнала в паузах, использован модулированный марковский процесс и его частный случай – прерываемый пуассоновский процесс. Сущность предложенного метода управления состоит в гибком подключении дополнительного резерва при достижении очередью сообщений на входе земной станции определенного порога.

The article considers the option of multiple organizations access to radio resource allocation satellite transponder with DAMA based backup. The problems of rapid distribution (backup) repeater satellite radio resource in the form of a nonlinear programming problem and its solution is an example of unsteady flow at service posts, formed by a group of voice subscribers. As a model of unsteady flow of messages generated by voice subscribers, taking into account the suppression of signal pauses modulated Markov process and its special case – interrupted Poisson process are used. The essence of the proposed control method is flexible connecting of additional reserve at the entrance of the earth station of a certain threshold when the queue obtains messages.

Ключевые слова: радиоресурс, динамическое резервирование, спутниковая связь.

Key words: radio resource, dynamic reservation, satellite communication.

Для удаленных и труднодоступных регионов России использование систем спутниковой связи (ССС) зачастую является единственно возможным средством доступа к современным инфокоммуникационным услугам. Принципиальная ограниченность частотно-энергетическо-

го ресурса (далее – радиоресурса) спутника-ретранслятора (СР) и большая численность потенциальных абонентов в обширной зоне обслуживания выдвигают на первый план проблему динамического перераспределения радиоресурса между активными и пассивными направле-

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

ниями связи. Дополнительным фактором, усиливающим актуальность разрешения указанной проблемы, является неоднородность и, как следствие, нестационарность (пульсация) трафика, формируемого различными мультимедийными службами [1, 4, 6]. Следует ожидать, что учет различий в требованиях к качеству доставки разных видов трафика, а также прерывистого характера процесса обмена информацией позволит добиться существенного повышения пропускной способности ССС на основе оперативного маневра радиоресурсом СР между радионаправлениями. Главным препятствием на пути внедрения методов оперативного управления перераспределением радиоресурса СР являются высокие задержки распространения сигналов в спутниковых радиоприемах [1, 6].

Предлагаемый в работе подход состоит в том, что запрашиваемый (и выделяемый) для земной станции (ЗС) в радионаправлении радиоресурс включает не только некоторое число i ресурсных единиц (каналов) ретранслятора, необходимое для поддержания требуемого качества связи для активных соединений, но и дополнительный резерв (запас), призванный скомпенсировать запаздывание в управлении СР (при внезапной активизации «молчащих» на текущий момент абонентов).

Задачу определения минимальной величины резерва R рассмотрим на примере уплотнения группы из M абонентов, ведущих телефонные переговоры через периферийную ЗС в одном радионаправлении. Учитывая высокий процент (>60%) пауз в процессе телефонного разговора [2, 3, 5], следует ожидать, что при использовании пакетной формы передачи речи в режиме подавления пауз удастся существенно сократить величину выделяемого ЗС ресурса каналов K (в том числе с дополнительным резервом R) и, соответственно, повысить емкость радиосети в целом. Дополнительно следует учесть некоторую смысловую избыточность речи, которая допускает до 1-5% потерь от общего числа речевых пакетов без снижения качества диалога [2, 4, 7]. Задача состоит в определении величины запрашиваемого каждой ЗС резерва R , необходимого для поддержания заданного качества связи (уровня потерь) с учетом запаздывания при управлении. Эффективность управления можно оценить значением достигаемого коэффициента уплотнения [5].

При этом возможно две стратегии выбора значения резерва R . Первая стратегия состоит в том, что величина резерва R устанавливается фиксированной для каждой группы абонентов и минимальной при ограничении на вероятность по-

тери речевого пакета. Вторая стратегия выбора величины резерва R состоит в том, что величина резерва адаптивно изменяется в зависимости от числа активных в текущем цикле абонентов и емкости канальной группы. Очевидно, что вторая стратегия более сложна в реализации, так как в этом случае необходимо вести таблицу значений R для каждого соотношения числа i активных абонентов и емкости K выделенного ЗС ресурса пропускной способности СР.

Так как число активных абонентов в группе изменяется случайным образом, независимо от числа выделенных каналов, то каждое состояние можно характеризовать парой чисел (i, j) , где $i = \overline{0, M}$ – число активных абонентов; $j = \overline{R, \min[K, (i + R)]}$ – число выделенных для телефонии каналов.

При первой стратегии (с фиксированным резервом) необходимо поддерживать постоянную величину R до тех пор, пока не будет исчерпан весь доступный ресурс каналов. В качестве примера на рисунке 1 изображен граф переходов в марковской цепи, моделирующей процесс уплотнения группы из четырех абонентов при фиксированной величине резерва $R=1$.

Динамическое выделение каналов ЗС (при активизации абонента) осуществляется не мгновенно, а с запаздыванием, через некоторый случайный интервал времени, значение которого определяется задержкой распространения сигналов до СР и протоколом множественного доступа.



Рис. 1. Модель процесса обслуживания четырехканальной группы с динамическим резервированием одного дополнительного канала

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

В качестве допущения, позволяющего воспользоваться аппаратом теории марковских процессов, примем, что эта величина задержки распространения имеет показательное распределение со средним значением P_i . Тогда интенсивность переходов из состояний (i, j) в состояния $(i, j+1)$ будет равна $\alpha = 1/P_i$. На графе (рисунк 1) этим переходам соответствуют горизонтальные стрелки в правом направлении. Для расчета стационарных вероятностей состояний такой марковской цепи составлена система линейных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{ij} = \frac{\lambda(N-i+1)p_{(i-1)j} + \mu \min(K, i+1)p_{(i+1)j} + \alpha p_{i(j-1)}}{\lambda(N-i) + \mu i + \alpha}, \quad i=\overline{1, N-1}, \quad j=\overline{R, i+R-1}; \\ p_{ij} = \frac{\mu \min(K, i+1)(p_{(i+1)j} + p_{(i+1)(j+1)}) + \alpha p_{i(j-1)}}{\lambda(N-i) + \mu i}, \quad i=\overline{1, N-1}, \quad j=i+R; \\ p_{ij} = 0, \quad (j-i) > R; \\ p_{Nj} = \frac{\lambda p_{(N-1)j} + \alpha p_{N(j-1)}}{K\mu + \alpha}, \quad j=\overline{R, K-1}; \\ p_{N,K} = \frac{\lambda p_{(N-1)K} + \alpha p_{N(K-1)}}{\mu K}; \\ \sum_{i=0}^N \sum_{j=R}^{\min(i+R, K)} p_{ij} = 1. \end{array} \right. \quad (1)$$

Особенность системы уравнений (1) состоит в том, что сумма вероятностей состояний каждого яруса по горизонтали (рисунк 1) для каждого индекса i совпадает с вероятностями P_i активизации i абонентов:

$$\sum_{j=R}^{\min(i+R, K)} p_{ij} = P_i.$$

Потери будут происходить в том случае, когда число активных абонентов будет превышать число доступных каналов, т.е. при $(i-j) > 0$. При этом, если $(i-j)=1$, то будут теряться пакеты лишь одного соединения, при $(i-j)=2$ – двух соединений и т.д. Состояния марковской цепи, в которых происходят потери пакетов, отделены в нижней части графа (рис. 1) штриховой линией. Учитывая, что стационарные вероятности состояний показывают, какую долю времени на интервале наблюдения процесс проводит в том или ином состоянии, вероятность потери речевых пакетов может быть оценена соотношением:

$$P_i = \sum_{i=R+1}^N \sum_{j=R}^{\min(K, i-1)} (i-j) p_{ij}.$$

Для второй стратегии резервирования с адаптивно изменяемой величиной резерва может быть построена марковская цепь, подобная изображенной на рисунке 1. В качестве примера на рисунке 2 приведен граф состояний для системы

уплотнения 6-ти телефонных каналов при начальном уровне резерва $R_1=2$. После достижения порогового состояния, в котором активны три абонента, уровень резерва снижается на 1, т.е. до $R_2=R_1-1$.

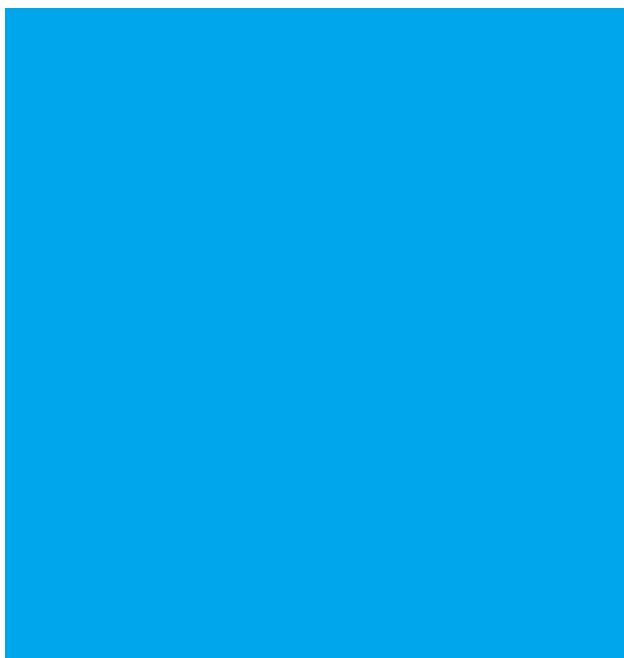


Рис. 2. Модель процесса обслуживания четырехканальной группы с адаптивно изменяемой величиной резерва

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Для данной модели может быть составлена аналогичная (1) система линейных алгебраических уравнений, позволяющая рассчитать стационарные вероятности состояний. Отличием новой системы уравнений от (1) является условие:

$$p_{ij}=0 \text{ при } i>i_{np}; j=i+R_1,$$

где i_{np} – предельное значение числа активных абонентов, после которого уровень резерва снижается на 1. Состояния марковской цепи, в которых происходят потери пакетов, отделены в нижней части графа пунктирной линией.

При известных вероятностях состояний для первой и второй модели можно оценить среднее число занимаемых трафиком телефонии каналов \bar{K} :

$$\bar{K} = \sum_{i=0}^N \min(K, i+R) \sum_{j=R}^N j p_{ij},$$

а также уровень потерь речевых пакетов и величину свободного ресурса ($K - \bar{K}$), который может быть задействован для передачи данных.

Число каналов, доступных для передачи сообщений данных (не занятых в текущий момент молчащими абонентами), будет случайным образом изменяться от 0 до $(K-R)$. Таким образом, дополнительный канал передачи данных, образуемый через ЗС, может быть представлен системой массового обслуживания (СМО) с переменной интенсивностью обслуживания.

Если принять допущение о том, что поток поступающих сообщений данных является пуассоновским с параметром γ , а объем сообщений данных является случайной величиной \hat{v} с экспоненциальным распределением:

$$B(v) = 1 - e^{-v/\bar{v}},$$

где \bar{v} – средний объем сообщения данных в битах, то в качестве модели исследуемой СМО мо-



Рис. 3. Модель процесса передачи данных с изменяемой скоростью передачи

жет быть использована двумерная марковская цепь, граф состояний которой для рассматриваемого примера представлен на рисунке 3.

Состояния марковской цепи характеризуются парой чисел (i, j) , где i – число свободных каналов, которые могут быть использованы для передачи данных ($i=0, K-R$); j – число сообщений данных, которые необходимо передать ($j=0, N$); N – предельная емкость буфера данных. Интенсивности переходов между состояниями определяются следующим образом:

γ – интенсивность поступления сообщений данных;

β – интенсивность обслуживания сообщений данных в одном канале мультиплексора, определяемая соотношением $\beta=c/\bar{v}$, где c – скорость передачи в отдельном канале;

μ – интенсивность освобождения каналов;

α_i – интенсивность резервирования i -го канала.

Для расчета стационарных вероятностей состояний p_{ij} рассматриваемой модели может быть составлена система линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} p_{0j} = \frac{p_{1j}\alpha_1 + p_{0j-1}\gamma}{(K-R)\mu + \gamma}, & j = \overline{1, N-1}; \\ p_{0N} = \frac{p_{1N}\alpha_1 + p_{0N-1}\gamma}{(K-R)\mu}; \\ p_{ij} = \frac{p_{i+1}\alpha_{i+1} + p_{i,j+1}\beta + p_{i,j-1}\gamma + p_{i-1,j}(K-R-i+1)\mu}{\alpha_i + \beta i + (K-R-i)\mu + \gamma}, & i = \overline{1, K-R}, j = \overline{0, N}; \\ \sum_{i=0}^{K-R} \sum_{j=0}^N p_{ij} = 1. \end{cases}$$

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

После расчета стационарных вероятностей состояний исследуемой марковской цепи легко могут быть вычислены следующие характеристики:

- средняя длина очереди сообщений данных в буфере:

$$\bar{q} = \sum_{j=2}^N j \sum_{i=0}^{K-R} P_{ij};$$

- вероятность переполнения буфера:

$$P_{\Pi} = \sum_{i=0}^{K-R} P_{iN};$$

- среднее время ожидания сообщения данных до начала передачи:

$$\bar{w} = \frac{\bar{q}}{\gamma(1 - P_{\Pi})},$$

где γ – интенсивность поступления сообщений данных.

На *рисунке 4* представлены зависимости предельно достижимой средней скорости передачи данных в зависимости от емкости уплотняемой группы телефонных каналов для трех стратегий резервирования каналов:

а) при первой стратегии резервируется только один дополнительный канал, при этом потери превышают норму уже на группе из 9 каналов;

б) при второй стратегии число резервируемых каналов адаптивно изменяется от 2 до 1 в зависимости от числа активных абонентов. В этом случае коэффициент уплотнения несколько снижается, однако потери остаются в норме при емкости уплотняемой группы вплоть до 14 каналов;

в) третья стратегия резервирования предполагает адаптивное изменение числа резервируемых каналов от 3 до 1 по мере увеличения чис-



Рис. 4. Средняя скорость передачи канала данных при уплотнении K телефонных каналов и ограничении потерь на уровне 5%

ла активных абонентов. В этом случае емкость уплотняемой группы может превышать 20 каналов при сохранении потерь на уровне 5%.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что скорость передачи в канале данных растет практически линейно по мере увеличения емкости уплотняемой канальной группы до тех пор, пока не достигается предельный уровень потерь пакетов телефонии и не возникает необходимость увеличения числа резервируемых каналов. Учитывая случайный характер потока сообщений данных и ограничения на максимальную задержку, следует отметить, что реальная скорость передачи в канале данных оказывается меньшей, чем та, которую может обеспечить ресурс незанятых телефонией каналов, и составляет порядка 60% от емкости доступной группы каналов. Ограничивая коэффициент загрузки канала данных на уровне 0.6, можно оценить достигаемый при совместном уплотнении речи и данных коэффициент уплотнения радиопередачи K_y :

$$K_y = \frac{M + 0.6 \times (K - \bar{K})}{K},$$

где M – число уплотняемых источников телефонии.

На *рисунке 5* представлены зависимости коэффициента уплотнения K_y и коэффициента использования радиоресурса (КИР) от емкости канальной группы K , уплотняемой M телефонными абонентами и потоком данных, при ограничении потерь речевых фрагментов на уровне 5% и предельной задержки сообщений данных на уровне 1с.

Анализ приведенных зависимостей позволяет сделать выводы:

1. Использование механизма динамического распределения каналов каждой ЗС (в зави-

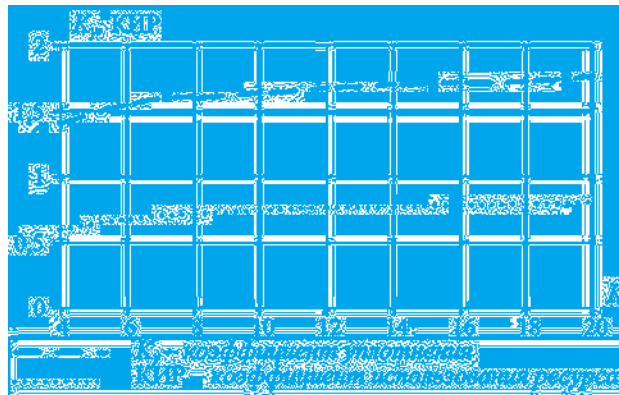


Рис. 5. Зависимость коэффициента уплотнения K_y и КИР радиопередачи от емкости канальной группы K , уплотняемой M телефонными абонентами и потоком данных (предельно достижимые значения)

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

симости от текущей активности) даже с учетом резерва на запаздывание позволяет заметно (на 20-25%) повысить кратность уплотнения бортового радиоресурса СР по сравнению со статическим закреплением каналов. При этом появляется дополнительная возможность уплотнения спутниковых радиолиний потоками данных, не столь чувствительных к задержкам.

2. Совместное уплотнение образуемой ЗС группы каналов потоками речи и данных позволяет существенно повысить коэффициент использования выделенного станции радиоресурса (до уровня 80%, в отличие от 40% без уплотнения) и практически удвоить емкость ССС.

3. Резервирование фиксированного числа каналов оправдывает себя лишь для небольших групп (до 8 включительно) абонентов (кривая 1, рисунок 4). При большей численности группы величина потерь в случае малого уровня резерва (1 канал) быстро превышает допустимый уровень, что приводит к невозможности поддержания удовлетворительного качества диалога. В случае же большого уровня резерва (два и более каналов) практически пропадает эффект экономии ресурса пропускной способности уплотняемой спутниковой радиолинии.

4. Для групп абонентов численностью от 8 и выше более выгодным с точки зрения допустимого уровня потерь и достигаемого выигрыша является динамическое резервирование запасных каналов с адаптивно изменяемой вели-

чиной резерва. При этом величина необходимого резерва определяется общей численностью уплотняемой группы и текущим значением числа активных абонентов. Значения резерва для различных сочетаний исходных данных могут быть установлены программно или «защиты» в память бортовой вычислительной машины СР на этапе проектирования.

5. Предложенный в работе метод и разработанные математические модели позволяют обоснованно управлять (с учетом запаздывания) выделяемым для каждой ЗС радиоресурсом (числом резервируемых для телефонии и выделяемых для передачи данных каналов), обеспечивая заданные параметры качества обслуживания абонентов.

Литература

1. Антонян А.Б. Пакетная коммутация для передачи речи // Вестник связи, 1999. №5. С. 68-71.
2. Коган А.В. IP-телефония: оценка качества речи // Технологии и средства связи, 2001. №1. С. 78-84.
3. Федин Д.Н. Передача голоса по сетям с пакетной коммутацией // Вестник связи, 1999. №9. С.33-35.
4. Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. Цифровая обработка речи. М.: Радио и связь, 2000. 256 с.
5. Chandra K. Statistical multiplexing / Wiley Encyclopedia of Telecommunications. 2003. 352 p.
6. Gruber J.G. Delay related issues in integrated voice and data networks. // IEEE Trans. Comm. 1981. Vol.29. №6. P. 768-800.
7. Minoly D. Issues in packet voice communication. // Proc. IEEE. 1979. Vol. 126. №8. P.135-172.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 539.16.07

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫЯВЛЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО, ХИМИЧЕСКОГО И БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЧАСТЕЙ И ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ РВСН

Андрей Николаевич Воробьев

доцент

начальник кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142202, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)78-96-93
E-mail: vanfizovdv71@mail.ru

В статье приводится описание математической модели выявления радиационного, химического и биологического заражения объектов подразделений РВСН. The article describes a mathematical model of detection radiation, chemical and biological contamination of objects subdivisions SRF.

Ключевые слова: скорость ветра; радиационная, химическая и биологическая разведка; зараженное облако; закон Рэлея; время прохождения.

Key words: wind speed; radiation, chemical and biological prospecting; contaminated cloud; Rayleigh law; travel time.

Основная идея определения удаления фронта РХБ (радиационного, химического и биологического) удара по показаниям приборов РХБ разведки, находящегося на удалении (x) от рубежа образования линейного источника заражения, заключается в следующем (рисунки 1).

Пусть определена «идеальная» зависимость времени прохождения зараженного облака через точку, как функция удаления средств радиационной, химической и биологической разведки (РХБР) от линии образования облака РХБ заражения, т.е.

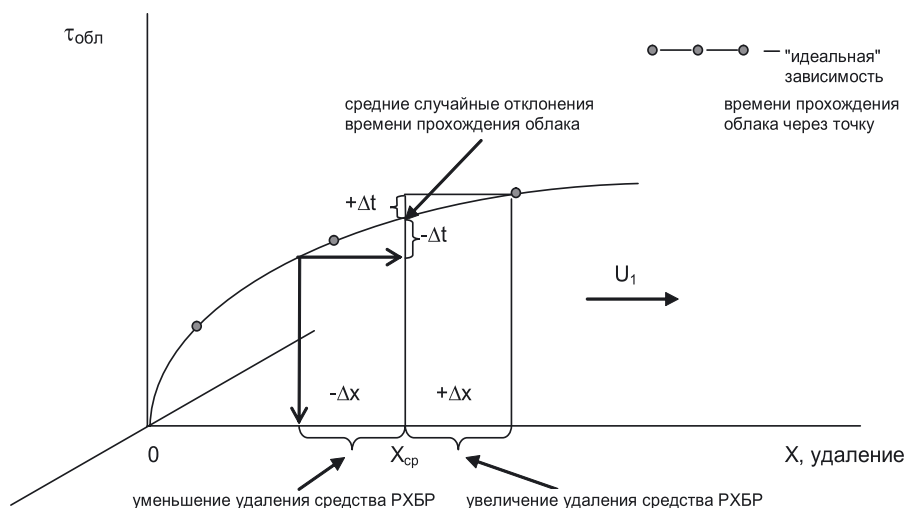


Рис. 1. Схема определения удаления прибора РХБР от фронта удара

$$t_{\text{обл}}^{\text{ид}} = f(x). \quad (1)$$

Тогда отклонение измеряемого времени прохождения зараженным облаком ($t_{\text{случ}}$) определяются только значением скорости ветра (U) и средним отклонением положения РХБ прибора от истинного Δx и определяется, как сумма отклонений случайных измерений скорости ветра, а затем, решая в обратном порядке зависимость (1), определяем искомую величину $\pm \Delta x$ (при этом следует помнить, что $+\Delta x$ и $-\Delta x$ могут различаться по абсолютному значению).

Найденное таким способом случайное положение прибора является оценкой апостериорного установления фронта удара относительно местоположения прибора.

Время прохождения зараженного облака есть частное от деления протяженности зараженного облака $L_{\text{обл}}$ на скорость ветра U :

$$t = \frac{L_{\text{обл}}}{U}. \quad (2)$$

Для оценки влияния скорости ветра определению времени прохождения облака через точку рассмотрим, в первую очередь, имеющиеся вероятностные функции распределения скорости ветра. В работе [4] принято, что скорость ветра подчиняется распределению модуля вектора с независимыми гауссовскими компонентами, исходя из этого плотность вероятности модуля случайного вектора, компоненты которого независимы и распределены с параметрами (a, σ^2) и (b, σ^2), где соответственно a и b координаты и σ^2 их дисперсия.

Тогда, плотность совместного распределения модуля фазы вектора будет иметь вид:

$$W_{\rho\theta}(r, \theta) = \frac{r}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}[(r \cdot \cos\theta - a)^2 + (r \cdot \sin\theta - b)^2]\right\}, \quad (3)$$

где $\theta = \arctg(b/a)$ – фаза вектора средних значений.

В соответствии с выражением плотности распределения имеет место равенство:

$$W_{\rho}(r) = r \int_0^{2\pi} \omega_{\xi\eta}(r \cdot \cos\theta, r \cdot \sin\theta) d\theta, \quad r \geq 0, \quad (4)$$

которое после математических преобразований примет вид:

$$W_{\rho}(r) = \frac{r}{2\pi\sigma^2} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(r^2 + a^2 + b^2) \times \int_0^{2\pi} \exp\left[\frac{r\sqrt{a^2 + b^2}}{\sigma^2} \cos(\theta - \theta_0)\right] d\theta\right\}, \quad r \geq 0. \quad (5)$$

где $\theta = \arctg(b/a)$ – фаза вектора средних значений;

r – средний радиус частиц в зараженном облаке.

Заменяя $U = \theta - \theta_0$, и обозначая модуль вектора средних значений $\alpha = \sqrt{a^2 + b^2}$, приводим интеграл из формулы (5) к известной функции Бесселя нулевого порядка от мнимого аргумента i [5]:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2\pi} \int_{-\theta}^{2\pi-\theta} \exp\left\{-i\left(\frac{i\alpha r}{\sigma^2}\right) \cos U\right\} dU = \\ & = J_0\left(\frac{i\alpha r}{\sigma^2}\right) = I_0\left(\frac{\alpha r}{\sigma^2}\right), \quad r \geq 0. \end{aligned} \quad (6)$$

где J_0 – пороговая чувствительность прибора.

Таким образом, плотность вероятности модуля вектора:

$$W_{\rho}(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(r^2 + \alpha^2)\right] I_0\left(\frac{\alpha r}{\sigma^2}\right), \quad r \geq 0. \quad (7)$$

Частным случаем (7) при $a=b=0$ является плотность распределения Рэлея:

$$W_{\rho}(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right], \quad r \geq 0. \quad (8)$$

Поэтому функция (рисунк 2), заданная формулой (7), может называться плотностью обобщенного распределения Рэлея или плотностью распределения Рэлея-Райса.

Если $\alpha/\sigma \ll 1$, то ограничиваясь первыми двумя членами разложения функции Бесселя в степенной ряд, получаем из (7):

$$W_{\rho}(r) = \frac{r}{\sigma^2} \left(1 + \frac{\alpha^2 r^2}{4\sigma^4}\right) \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(r^2 + \alpha^2)\right], \quad r \geq 0. \quad (9)$$

Если $\alpha/\sigma \gg 1$, то в (7) функцию Бесселя можно заменить ее асимптотическим разложением:

$$I_0(z) \sim \frac{e^z}{\sqrt{2\pi z}} \left(1 + \frac{1}{8z} + \frac{9}{128z^2} + \dots\right)$$

где z – высота индикации (обнаружения) прохождения зараженного облака (м).

Тогда

$$W_{\rho}(r) \sim \frac{1}{6} \sqrt{\frac{r}{2\pi\alpha}} \left(1 + \frac{\sigma^2}{8\alpha r}\right) \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(r - \alpha)^2\right], \quad r \geq 0. \quad (10)$$

В этом случае кривая плотности вблизи моды хорошо аппроксимируется кривой плотности нормального распределения (см. диаграмму V на рисунке 2) с параметрами (α, σ).

Поэтому можно предположить, что скорость ветра подчиняется закону Рэлея в частном виде:

$$f(U) = \frac{U}{\sigma_U^2} e^{-\frac{U^2}{2\sigma_U^2}}, \quad (11)$$

где σ_U^2 – дисперсия скорости ветра.

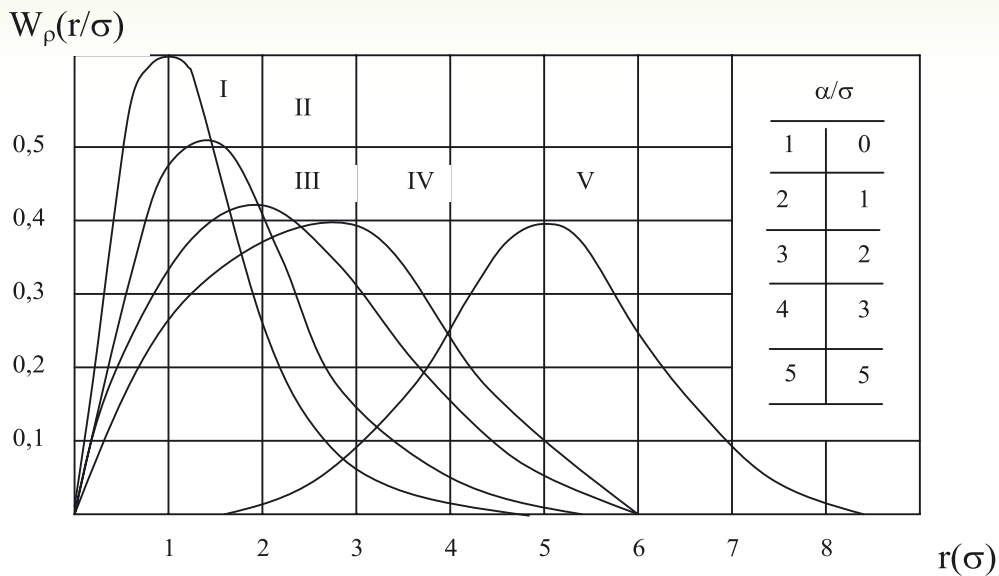


Рис. 2. Плотность обобщенного распределения Рэлея-Райса

В законе Рэлея в явном виде нет математического ожидания скорости ветра $M(U)$, но известно, что для данного закона его находят по выражению

$$M(U) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \sigma_U. \quad (12)$$

Выражая из равенства (12) величину σ_U , получим:

$$\sigma_U = \frac{M(U)}{\sqrt{\frac{\pi}{2}}}. \quad (13)$$

Интегральная функция данного закона имеет вид:

$$P = F(U) = P\{\tilde{U} < U\} = 1 - e^{-\frac{U^2}{2\sigma_U^2}}, \quad (14)$$

где \tilde{U} – средняя скорость ветра, м/с.

Для определения влияния случайного значения скорости ветра на расчет времени прохождения облака через точку будем использовать метод статистических испытаний. При этом используем датчик случайных и равномерно распределенных чисел на интервале 0...1 – как датчик вероятностей P зависимости (14) в виде

$$P = N_{\text{случ}} = 1 - e^{-\frac{U_{\text{случ}}^2}{2\sigma_U^2}}, \quad (N_{\text{случ}} = 0...1). \quad (15)$$

Тогда случайные значения скорости ветра $U_{\text{случ}}$ будут равны

$$U_{\text{случ}} = \sqrt{-\ln(1 - N_{\text{случ}}) \cdot 2 \cdot \sigma_U^2}. \quad (16)$$

Для оценки случайных значений времени прохождения облака через точку преобразуем

зависимость (2) с учетом того, что реальный размер зараженного облака $L_{\text{обл}}$ кратен «6 сигмам x »:

$$t_{\text{случ}} = \frac{6 \cdot \sigma_x}{U_{\text{случ}} \cdot 60}, \text{ мин}, \quad (17)$$

где σ_x – среднеквадратическое отклонение координаты по оси x , м;

$U_{\text{случ}}$ – случайная скорость ветра в приземном слое, м/с (направление ветра совпадает с осью x).

Таким образом, если учитывать случайный характер скорости ветра в момент прохождения зараженного облака через местоположение средства РХБ разведки, то можно получить, соответственно, случайное время ($t_{\text{случ}}$) прохождения зараженного облака через средство РХБР. Отсюда отклонение расчетного времени от истинного ($t_{\text{ист}}$)

$$\Delta t_i = |t_{\text{ист}} - t_{\text{случ}}|, \text{ мин}. \quad (18)$$

Далее определяется средняя арифметическая ошибка отклонения Δt_i от истинного значения времени прохождения зараженного облака

$$\Delta \bar{t}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}{n_{\text{исп}}}, \text{ мин}, \quad (19)$$

где $n_{\text{исп}}$ – количество испытаний.

Определяем средние арифметические ошибки минимального и максимального отклонения времени Δt_{min} , Δt_{max} от истинного значения времени $t_{\text{ист}}$ в каждой из точек удаления средства РХБР (x , км):

$$\Delta t_{\text{min}} = |t_{\text{ист}} - \Delta \bar{t}_i|, \text{ мин}; \quad (20)$$

$$\Delta t_{\text{max}} = |t_{\text{ист}} + \Delta \bar{t}_i|, \text{ мин}. \quad (21)$$

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Таблица 1

Расчетное среднее арифметическое удаление фронта удара, определяемое при изменении скорости ветра и протяженности облака по нормальному закону распределения ($U_1 = var, L_{обл} = var$), от условного линейного источника РХБ заражения

Параметр	Истинное удаление средства РХБ разведки от возможного рубежа удара $x_{ист}$, км									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Истинное значение времени прохождения облака $t_{ист}$, мин	1.66	2.79	3.78	4.69	5.55	6.36	7.14	7.90	8.62	9.33
Среднее максимальное значение времени прохождения облака t_{max} , мин	1.95	3.28	4.44	5.51	6.51	7.47	8.38	9.27	10.12	10.96
Минимальное и максимальное удаление средства РХБР, км (погрешность, %)										
Среднее минимальное удаление средства РХБР от фронта удара x_{min} , км	0.78(20)	1.55(22)	2.33(23)	3.10(23)	3.88(24)	4.65(24)	5.43(26)	6.20(29)	6.98(30)	7.75(32)
Среднее максимальное удаление средства РХБР от фронта удара x_{max} , км	1.24(19)	2.48(21)	3.71(21)	4.95(23)	6.19(23)	7.43(24)	8.67(25)	9.91(27)	11.14(28)	12.38(30)

По значениям средних арифметических ошибок минимального и максимального отклонения времени Δt_{min} , Δt_{max} от истинного значения времени $t_{ист}$ в каждой из точек удаления средства РХБР определяем возможное среднее арифметическое удаление рубежа (\bar{x}_{min} и \bar{x}_{max} , км) применения оружия массового поражения (ОМП) от истинного расположения средства РХБ разведки (x), используя графический метод или интерполяцию.

Для подтверждения полученных теоретических результатов проведено моделирование процесса обнаружения факта РХБ заражения. При этом истинное удаление средств РХБ разведки от возможного рубежа применения ОМП принималось равным от 1 до 10 км. Моделирование проводилось при одновременном случайном варьировании размером зараженного облака и скорости ветра. Результаты моделирования представлены в *таблице 1*.

Литература

1. Вишневецкий В.Н. Системы и модели управления. Обоснование решений на управление в конфликтных ситуациях. Методическое пособие. М.: МО РФ, 2002. 92 с.
2. Воеводин В.А., Иванов В.В. К вопросу создания автоматизированных систем поддержки решений должностных лиц войск в различных условиях обстановки. М.: МО РФ, 2007. 114 с.
3. Гришнов В.И., Кремнев Е.В., Поляков И.П. Исследование оперативно-стратегических и системно-технических вопросов построения и функционирования единой автоматизированной системы выявления и оценки масштабов и последствий применения оружия массового поражения. Кострома.: ВА РХБЗ, 2003. 121 с.
4. Петров В.С., Атмосферная диффузия, загрязнение воздуха и их влияние на действие войск. Кострома.: ВА РХБЗ, 1996. 87 с.
5. Смуров С.В., Воронова Л.Ю. Обеспечение безопасности управления технологическими процессами объектов повышенной потенциальной опасности // Известия Института инженерной физики, 2007, №2(4). С. 74-75.

УДК 519.725(047)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕСТОВО-КОДОВОЙ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК УСТРОЙСТВ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Денис Евгеньевич Сорокин

научный сотрудник
МОУ «ИИФ»

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

Проведена оценка аппаратных затрат на построение отказоустойчивого оперативного запоминающего устройства, реализующего тестово-кодированный метод коррекции ошибок и проведено сравнение вероятности безотказной работы, достоверности функционирования отказоустойчивых ОЗУ, резервированных рассматриваемым методом и модифицированным кодом Хемминга.

The estimation of hardware costs for building fault-tolerant random access memory device implementing of test-error correction coding method and compared the probability of failure-free operation, reliability of operation of the fault-tolerant RAM reserved by this method and a modified Hamming code.

Ключевые слова: корректирующий линейный код, корректирующий циклический код, одиночные и двойные ошибки, скрытая ошибка, поправка на скрытую ошибку, тестовый вектор ошибок.

Key words: correcting linear code correcting cyclic code, single and double errors, latent error correction for hidden bugs, test vector errors.

Эффективным методом защиты оперативных запоминающих устройств телекоммуникационных систем является тестово-кодированный метод коррекции ошибок, который заключается в том, что для обнаружения возникающих ошибок используется линейный код, а выявление скрытых ошибок, определение конфигурации (ошибочных разрядов) кратной ошибки, и ее коррекция проводятся по результатам анализа ответной реакции, полученной на основе подачи тестового воздействия.

Функциональная модель отказоустойчивого оперативного запоминающего устройства, реализующая данный методический аппарат представлена на *рисунке 1*.

Отказоустойчивое оперативное запоминающее устройство содержит исходный вычислительный канал 1, избыточный вычислительный канал 2, первое кодирующее устройство 3, второе кодирующее устройство 4, блок вычисления синдрома 5, корректор 6, с первого по вось-

мой 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 блоки элементов ИЛИ, с первого по третий 15, 16, 17 элементы ИЛИ, с первого по четвертый 18, 19, 20, 21 элементы задержки, с первого по третий 22, 23, 24 блоки элементов И, RS-триггер 25, регистр 26, с первого по четвертый 27, 28, 29, 30 блоки элементов неравнозначности, первый 31 и второй 32 дешифраторы, 33 – элемент НЕ, блок 34 хранения поправок, блок 35 вычисления признака поправки, входы 36, 37 являются входами блока 35 вычисления признака поправки, выход 38 является выходом блока 35 вычисления признака поправки, вход 39 “Запись”, вход 40 “Считывание”, вход 41 “Сброс”, адресные входы 42, информационные входы 43, информационные выходы 44, выход 45 восьмого блока 14 элементов ИЛИ является выходом формирования сигнала “Отказ устройства”.

На *рисунке 2* представлена схема блока 33 вычисления признака поправки. Он содержит группу 46 – элементов И, 47 – элемент И, эле-

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

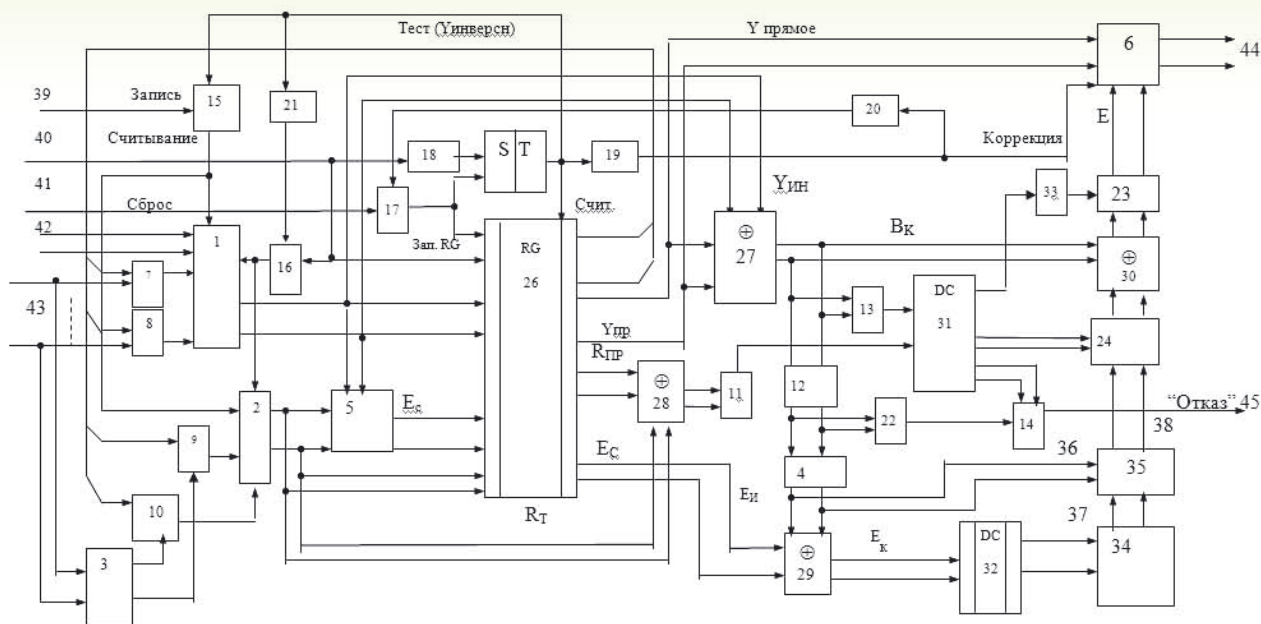


Рис. 1. Функциональная модель отказоустойчивого оперативного запоминающего устройства

менты 48 равнозначности, 49 – элемент НЕ, группу элементов 50 неравнозначности.

Исходный вычислительный канал 1 и избыточный вычислительный канал 2 представляет собой полупроводниковое оперативное ЗУ, включающее дешифраторы выбора строк и столбцов элементов памяти двух накопителей, например, трехразрядного накопителя исходного вычислительного канала 1 (каждая ячейка памяти включает три триггера) и двухразрядного накопителя избыточного вычислительного канала 2, предназначенного для хранения значений контрольных разрядов. Запись информации, поступающей в накопители с информационных входов 43 происходит по адресу, считываемого с адресных входов 42 при подаче сигнала на вход 39 “Запись”, причем во второй накопитель информация записывается после ее кодирования первым кодирующим устройством 3. Считывание требуемого слова памяти с накопителей происходит при подаче сигнала на соответствующие адресные входы 42 и сигнала на вход 40 “Считывание”. При возникновении ошибок в исходном вычислительном канале 1 (первом накопителе) откорректированное значение информационных разрядов считывается с информационных выходов 44.

Вход 41 “Сброс” предназначен для установки в нулевое состояние RS триггера 25 и регистра 26.

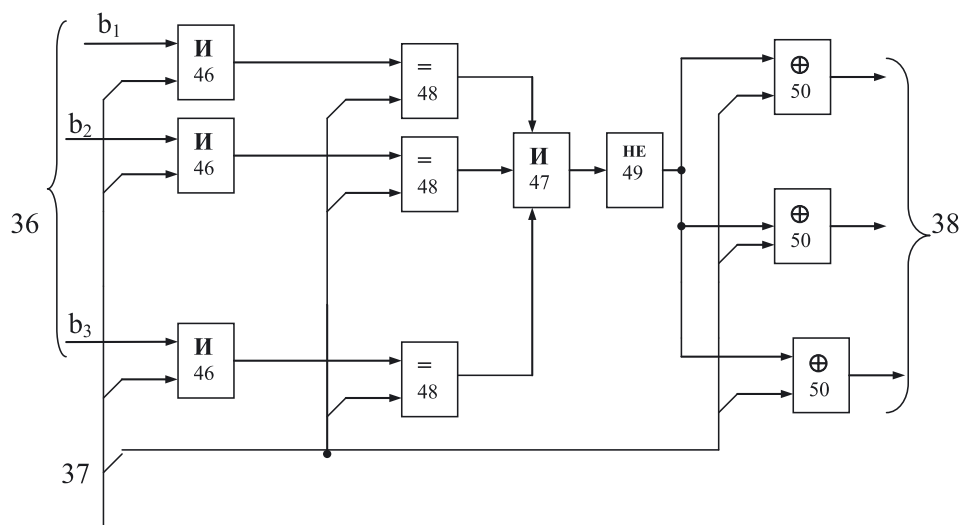


Рис. 2. Схема блока 33 вычисления признака поправки

Первое кодирующее устройство 3 имеет два выхода r_1, r_2 , на которых реализуются логические функции соответственно:

$$r_1 = x_1 \oplus x_2 \oplus y_1 \oplus y_2; r_2 = x_2 \oplus x_3 \oplus y_2 \oplus y_3$$

Второе кодирующее устройство 4 выполняет функции аналогичные первому кодирующему устройству 3 относительно блока информационных разрядов тестового вектора ошибки В, имеющего ошибку:

$$r_{b1} = b_{11} \oplus b_{11}; r_{b2} = b_{12} \oplus b_{13},$$

Блок 5 вычисления синдрома выполняет операцию повторного кодирования информации, считываемой с исходного вычислительного канала 1:

$r_{1П} = x_{1С} \oplus x_{2С} \oplus y_{1С} \oplus y_{2С}; r_{2П} = x_{2С} \oplus x_{3С} \oplus y_{2С} \oplus y_{3С}$ и поразрядного сложения по модулю 2 контрольных разрядов $r_1 \oplus r_{1П}; r_2 \oplus r_{2П}$ для вычисления синдрома ошибки E_C :

$$\begin{array}{c} r_1 \quad r_2 \\ \oplus \quad r_{1П} \quad r_{2П} \\ \hline E_C = e_C^1 e_C^2 \end{array}$$

Корректор 6 предназначен для исправления возникающих ошибок путем сложения информационных разрядов с вектором ошибки:

$$\begin{array}{c} y_1 \quad y_2 \\ \oplus \quad e_1 \quad e_2 \\ \hline Y = y_1^k y_2^k \end{array}$$

С первого 7 по четвертый 10 блоки элементов ИЛИ предназначены для обеспечения функциональных связей между блоками устройства.

Пятый блок 11 элементов ИЛИ обеспечивает появление единичного значения сигнала на своем выходе, при наличии ошибки в контрольных разрядах.

Шестой блок 12 элементов ИЛИ обеспечивает группирование одноименных разрядов информационных блоков тестового вектора ошибки.

Седьмой блок 13 обеспечивает группирование информационных разрядов тестового вектора ошибки на блоки информации (по три разряда в каждом блоке).

Восьмой блок 14 элементов ИЛИ обеспечивает единичное значение сигнала при наличии трех единичных значений в одном из блоков тестового вектора ошибки (при наличии сигнала на выходе первого блока 22 элементов И), при наличии ошибок одновременно в контрольных разрядах и наличии единичных значений сигналов хотя бы в одном из информационных блоках тестового вектора ошибки (одновременного появления сигналов на выходе пятого 11 и седьмого 13 блоков элементов ИЛИ) или, одновременного наличия единичных значений сигналов в

двух и более информационных блоках тестового вектора ошибки (одновременного наличия сигналов на двух и более выходах седьмого блока 13 элементов ИЛИ).

С первого 15 по третий 17 элементы ИЛИ предназначены для обеспечения функциональных связей между блоками устройства.

С первого 18 по четвертый 21 элементы неравнозначности предназначены для обеспечения синхронизации работы блоков устройства.

Первый блок 22 элементов И обеспечивает появление единичного значения сигнала на своем выходе при одновременно наличии трех единичных значений, поступающих с выходов шестого блока 12 элементов ИЛИ (наличия трех единичных значений сигналов в одном из информационных блоков тестового вектора ошибки).

Второй блок 23 элементов И разрешает (запрещает подачу сигналов вектора ошибки на вход корректора 6.

Третий блок 24 элементов И по сигналам, поступающим с второй группы выходов первого дешифратора 31 разрешает подачу поправки на соответствующие разряды тестового вектора ошибки.

Триггер 25 предназначены для обеспечения функциональных связей между блоками устройства.

Регистр 26 предназначен для хранения прямых и обратных значений кодового набора.

Первый блок 27 элементов неравнозначности предназначен для формирования тестового вектора ошибки (сложения по модулю 2 прямых и инверсных значений кодового набора и инвертирования результата суммы).

Второй блок 28 элементов неравнозначности предназначен для обнаружения ошибок в контрольных разрядах кодового набора (сложения по модулю 2 прямых и инверсных значений контрольных разрядов и инвертирования результата суммы).

Третий блок 29 элементов неравнозначности предназначен для формирования адреса поправки E_K путем сложения по модулю 2 одноименных разрядов синдрома ошибки E_C и кода $E_{И}$ блока информационных разрядов тестового вектора ошибки, имеющего ошибку.

Четвертый блок 30 элементов неравнозначности предназначен для формирования вектора ошибки E путем сложения по модулю 2 разрядов информационного блока тестового вектора ошибки, имеющего скрытую ошибку с значениями поправки S_i на скрытую ошибку.

Первый дешифратор 31 обеспечивает появление сигнала на первом выходе (кодовый на-

бор передается без коррекции) при отсутствии ошибки в кодовом наборе (отсутствии сигнала на выходах седьмого блока 13 элементов ИЛИ) или наличии сигнала поступающего с выхода пятого блока 11 элементов ИЛИ (при наличии ошибки в контрольных разрядах. В зависимости от значения сигналов на выходах седьмого 13 блока элементов ИЛИ определяет блок информационных разрядов, имеющий ошибку (открывает соответствующую группу элементов И третьего блока 24 элементов И).

Формирует сигнал «Отказ устройства» при одновременном появлении сигналов на двух и более выходах седьмого блока 13 элементов ИЛИ, или одновременном появлении сигналов на выходах пятого 11 и седьмого 13 блоков элементов ИЛИ.

Второй дешифратор 32 предназначен для организации считывания информации с блока 34 хранения поправок по коду адреса поправки E_k .

Элемент 33 НЕ запрещает коррекцию кодового набора при подаче на его вход единичного значения сигнала.

Блок 34 хранения поправок предназначен для хранения значений поправок в соответствии с матрицей поправок используемого кода.

Блоком 35 вычисления признака поправки, в зависимости от информации, поступающей с выходов второго кодирующего устройства 4, выбирается прямое или обратное значение поправки.

Блок 35 вычисления признака поправки работает следующим образом. По значению кода адреса поправки E_k с блока 34 хранения поправок считывается обратное значение поправки (содержащее для данной ошибки максимальное количество единиц), которое поступает на вход 35 блока вычисления признака поправки и соответственно на входы группы элементов 46 И, группы элементов 48 равнозначности и группы элементов 50 неравнозначности. Значения информационных разрядов тестового вектора ошибки поступают на входы 36 блока 35 вычисления признака поправки.

В этом случае открываются элементы И группы элементов 46 И, имеющие на своих входах единичные значения сигналов поправки и информационных разрядов тестового вектора ошибки. Если значение сигналов, поступающих с выходов элементов И, совпадают с значением поправки, то на выходах всех элементов группы элементов 48 равнозначности появляются единичные значения сигналов (открывается элемент 47 И). В этом случае сигнал на выходе элемента 49 имеет нулевое значение, поэтому с выходов элементов 50 неравнозначности снима-

ется обратное значение поправки. Если значение поправки не совпадает с значениями сигналов тестового вектора ошибки (сигнал на выходе элемента 47 И имеет нулевое значение), то сигнал поступающий с выхода элемента 49 НЕ на входы элементов 50 неравнозначности обеспечивает инвертирование значений сигналов поправки (формируется прямое значение поправки).

Получены выражения для оценки аппаратных затрат декодирующего устройства, реализуемого предлагаемый метод тестово-кодовой защиты:

а) для исправления ошибки:

$$C_{\text{д.т.к.ио}} = 91 + 21k + 6n + w^2 - w.$$

б) для обнаружения ошибки:

$$C_{\text{д.т.к.оо}} = 12k + 6n + 3(2^{w+1}) - w^2 - 5w + 7.$$

Общие затраты декодирующего устройства предлагаемого метода тестово-кодовой защиты составят:

$$C_{\text{д.т.к.об}} = 101 + 21k + 6n + 3(2^{w+1}) + 2w.$$

Проведено сравнение аппаратных затрат при построении отказоустойчивого ОЗУ, содержащего 1000 двенадцатиразрядных слов памяти ($M=1000$, $k=12$) на основе модифицированного кода Хемминга и предлагаемого методического аппарата тестово-кодовой защиты.

В этом случае для модифицированного кода Хемминга аппаратные затраты, выраженные через простейшие (двухвходовые) логические элементы составят:

- для декодирующего устройства для исправления ошибки – 342 л.э.;
- для обнаружения ошибки – 72 л.э.;
- полные аппаратные затраты декодирующего устройства – 414 л.э.

Для хранения одной тысячи шестиразрядных значений контрольных разрядов (избыточного вычислительного канала) потребуется 36000 л.э.

Таким образом, при использовании модифицированного кода Хемминга, аппаратные затраты резервного оборудования 36 414 л.э.

При использовании предлагаемого методического аппарата тестово-кодовой защиты аппаратные затраты составят:

- для декодирующего устройства исправляющего ошибки – 439 л.э.;
- для декодирующего устройства обнаруживающего ошибки – 295 л.э.;
- полные аппаратные затраты на построение декодирующего устройства (с учетом того, что часть аппаратных затрат участвует и в обнаружении и коррекции ошибок) составляет 541 л.э.;
- на построение избыточного вычислитель-

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

$$D_{\Phi}(t) = P_{\text{ДЕК.ИО}}(t) \sum_{i=0}^t C_n^i p^{(n-i)}(t) [1 - p(t)]^i + P_{\text{ДЕК.ОО}}(t) \sum_{i=1}^{t+1} C_n^i p^{(n-i)}(t) [1 - p(t)]^i - P_{\text{ДЕК.ИО}}(t) P_{\text{ДЕК.ИО}}(t) \sum_{i=0}^t C_n^i p^{(n-i)}(t) [1 - p(t)]^i \sum_{i=0}^{t+1} C_n^i p^{(n-i)}(t) [1 - p(t)]^i,$$

Выражение 1

ного канала (хранения значений двух контрольных разрядов) потребуется 12 000 л.э.

Общие аппаратные затраты резервного оборудования при использовании предлагаемого методического аппарата составят 12 541 л.э., то есть практически в три раза меньше, чем при

использовании модифицированного кода Хемминга.

Достоверности функционирования ОЗУ с использованием корректирующих кодов, оценивается *выражением 1* [2], где $p(t)$ – вероятность безотказной работы накопителя ОЗУ по одному

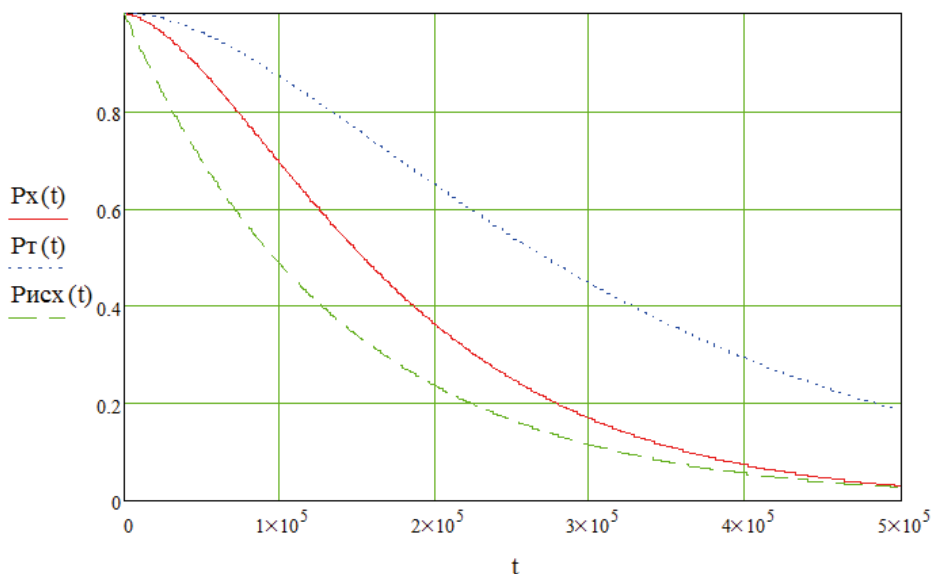


Рис. 3. Вероятности безотказной работы: P_{исх}(t) – нерезервированного ОЗУ; P_x(t) – резервированного на основе кода Хемминга; P_T(t) – резервированного на основе методического аппарата тестово-кодовой защиты

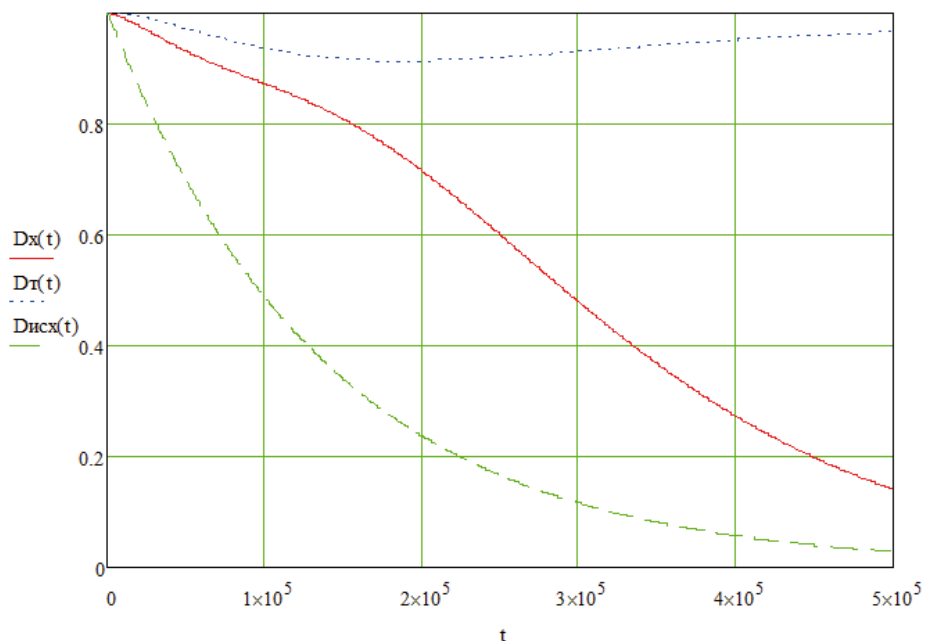


Рис. 4. Достоверность функционирования: D_{исх}(t) – нерезервированного ОЗУ; D_x(t) – резервированного на основе кода Хемминга; D_T(t) – резервированного на основе методического аппарата тестово-кодовой защиты

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

выходу; $P_{ДЕК.НО}(t)$ – вероятность безотказной работы декодирующего устройства, исправляющего ошибки; $P_{ДЕК.ОО}(t)$ – вероятность безотказной работы декодирующего устройства, обнаруживающего ошибки.

На рисунках 3, 4 представлены зависимости, характеризующие соответственно вероятности безотказной работы и достоверности функционирования исходного ОЗУ, отказоустойчивого ОЗУ, резервированного на основе модернизи-

рованного кода Хемминга и предлагаемого методического аппарата.

Проведенная сравнительная оценка позволяет сделать вывод о том, что предлагаемый методический аппарат обеспечивает наибольший выигрыш в вероятности безотказной работы и достоверности функционирования, минимизацию информационной и аппаратурной избыточности по отношению к существующим методам.

Литература

1. Щербаков Н.С. Достоверность работы цифровых устройств. М.: Машиностроение, 1989. 224 с.
2. Саголович Ю.Л. Кодовая защита оперативной памяти ЭВМ от ошибок // Автоматика и телемеханика, 1991. №5. С. 4-40.
3. Коган Б.М., Мкртумян И.Б. Основы эксплуатации ЭВМ. М.: Энергоатомиздат, 1988. 430 с.
4. Павлов А.А., Павлов П.А., Царьков А.Н., Хоруженко О.В. Функционально-кодовый контроль ошибок в автоматизированных системах измерительной техники // Измерительная техника. 2009. №9. С. 3-5.
5. Павлов А. А., Царьков А.Н., Хоруженко О.В., Павлов П.А. Метод контроля ошибок в устройствах хранения и передачи информации автоматизированных систем измерительной техники // Измерительная техника, 2010. №11. С. 21-25.
6. Павлов А.А., Ваганов И.Н., Вальваков А.М., Хоруженко О.В. Метод повышения достоверности функционирования устройств хранения информации автоматизированных систем контроля и управления // Известия Института инженерной физики, 2009. №2(12). С. 59-62.
7. Павлов А.А., Хоруженко О.В., Ващенко А.П., Никулин В.С. Контроль ошибок в телекоммуникационных устройствах // Известия Института инженерной физики, 2010. №3(17). С. 37-38.
8. Сорокин Д.Е. Тестово-кодовый метод обнаружения и коррекции ошибок статических оперативных запоминающих устройств // Известия Института инженерной физики, 2014. №2(32). С. 57-60.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 620.179.1

О КОМПЛЕКСНОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

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
E-mail: a_g_popov@rambler.ru

Сергей Владимирович Антонов

кандидат технических наук, доцент

начальник отдела 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
E-mail: kbiif07@mail.ru

Евгений Владимирович Бородай

инженер-конструктор
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)12-80-04
E-mail: jxsx85@front.ru

В статье рассматриваются вопросы комплексного диагностирования технического состояния объектов повышенной опасности (ОПО) с применением методов неразрушающего контроля (МНК), в том числе методом акустической эмиссии (АЭ). Получены зависимости вероятности обнаружения дефекта при комплексной диагностике ОПО. Отмечена возможность существенного повышения достоверности обнаружения дефектов при повторном нагружении конструкции при контроле методом АЭ.

In article are considered complex diagnosing of technical condition objects of the raised danger with application nondestructive testing, including acoustic emission method. Dependences of probability of detection of defect are received at complex diagnostics objects of the raised danger. Possibility of essential increase of reliability of detection of defects is noted at repeated testing constructions at control by acoustic emission method.

Ключевые слова: диагностирование технического состояния, неразрушающий контроль, достоверность контроля технического состояния, объект повышенной опасности.

Key words: diagnosing of technical condition, nondestructive testing, reliability of diagnosing of technical condition, object of the raised danger.

Металлоконструкции объектов повышенной опасности (ОПО), как объекты диагностирования технического состояния, характеризуется:

- большим количеством элементов, изготовленных из конструкционных сталей по различным технологиям производства (литье,ковка,штамповка, прокат, металлообработка), следовательно, и разнообразием возможных дефектов, соответствующих этим технологиям;
- шероховатостью внешних поверхностей

элементов с Rz80 и более, что делает невозможным применение методов неразрушающего контроля без предварительной подготовки поверхности;

- большой площадью поверхности контроля, протяженностью и затрудненностью доступа к значительной части элементов, подлежащих обследованию.

Применение сканирующих методов неразрушающего контроля (МНК) металлоконструкций

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

ОПО [1] таких как ультразвуковой (УЗК), вихревой (ВК), капиллярный (КК) требует трудоемкой предварительной подготовки поверхности.

В целях повышения производительности, обеспечения надежного диагностирования технического состояния ОПО целесообразно комплексовать сканирующие МНК с методом акустической эмиссии (АЭ), обеспечивающим контроль всего объекта обследования [2].

Одним из основных показателей эффективности технологии комплексного диагностирования технического состояния ОПО является достоверность. Под достоверностью будем понимать вероятность выявления дефектов при техническом диагностировании.

Технология комплексного диагностирования технического состояния подразумевает не только использование нескольких методов неразрушающего контроля, но и чередование их в определенной последовательности.

Комплексное диагностирование условно можно разделить на ряд этапов:

- первый этап – выборочный УЗК, а при необходимости ВК, КК в зонах наиболее вероятного появления технологических дефектов в высоконагруженных элементах конструкций и конструктивных концентраторах напряжений с целью диагностирования трещиноподобных дефектов;

- второй этап – диагностика трещиноподобных дефектов методом АЭ в масштабе объекта ОПО, идентификация и классификация источников АЭ и мест их расположения.

- третий этап – проведение УЗК, ВК, КК в зонах обнаружения источников II, III, IV классов (активных, критически активных и катастрофически активных) [2].

Оценим вероятность выявления единичного дефекта P_s типа несплошности или трещиноподобного дефекта при техническом диагностировании ОПО в соответствии с изложенной технологией.

Вероятность сложного события P_s представляет собой комбинацию события A – обнаружения дефекта при выборочном контроле (первый этап обследования) и события B – обнаружение зон активных, критически активных и катастрофически активных источников акустической эмиссии и проведение УЗК и ВК для обнаружения дефектов в этих зонах (второй и третий этапы обследования). Соответствующие вероятности наступления событий обозначим $P(A)$ и $P(B)$.

Вероятность совместного появления двух независимых событий $P(A)$ – расположения дефек-

та в зонах выборочного контроля ОПО и диагностирования дефекта хотя бы одним из применяемых методов неразрушающего контроля вычисляется по формуле

$$P(A) = P(f) \times [1 - (1 - P_{УЗК}) \times (1 - P_{ВК}) \times (1 - P_{ВИК}) \times (1 - P_{КК})], \quad (1)$$

где $P_{УЗК}$, $P_{ВК}$, $P_{ВИК}$, $P_{КК}$ – вероятности обнаружения дефекта в результате УЗК, ВК, КК и визуально-измерительного контроля (ВИК); $P(f)$ – вероятность нахождения дефекта в контролируемой зоне.

В предположении равной вероятности нахождения дефекта в любом месте ОПО, имеющем общую площадь поверхности f , вероятность $P(f)$ определим как

$$P(f) = \frac{f_0}{f}, \quad (2)$$

где f_0 – площадь поверхности агрегата, обследуемая при выборочном контроле на первом этапе.

Для вычисления вероятности $P(B)$ совместного появления двух независимых событий – диагностирования дефекта методом АЭ и хотя бы одним из методов УЗК, ВК, КК, ВИК используем выражение

$$P(B) = P_{АЭ} \times [1 - (1 - P_{УЗК}) \times (1 - P_{ВК}) \times (1 - P_{ВИК}) \times (1 - P_{КК})], \quad (3)$$

где $P_{АЭ}$ – вероятность обнаружения сигнала от дефекта методом акустической эмиссии.

События A и B являются независимыми и совместимыми, для них справедлива формула сложения вероятностей

$$P_s = P(A + B) = P(A) + P(B) - P(A) \times P(B). \quad (4)$$

Вероятность обнаружения дефекта тем или иным методом неразрушающего контроля зависит от многих факторов: размеров дефекта, места его появления, доступности к объекту диагностирования, чувствительности диагностической аппаратуры, качества подготовки поверхности для сканирования, квалификации оператора и т.д. В связи с тем, что вероятности обнаружения дефектов зависят от большого количества объективных и субъективных факторов, литературные источники, в которых они приводятся, единичны и эти величины следует считать ориентировочными

Для выполнения оценочных расчетов используем данные работы [3], *таблица 1*. Предполагается, что в элементе конструкции диагностируется одна из наиболее опасных разновидностей дефектов – холодная трещина с выходом на поверхность сканирования.

Результаты расчетов в виде функциональных зависимостей вероятности обнаружения дефек-

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Таблица 1
Вероятности обнаружения
дефектов в стальной отливке по данным работы [3]

Вид НК	Дефекты поверхности	Несплошности в теле отливки		
	Неметаллические, металлические включения	Холодная трещина	Горячая трещина	Газовая раковина
ВИК	0,0	0,4	0,0	0,0
УЗК	0,8	0,8	0,8	0,8
ВК	0,4	0,4	0,4	0,0
КК	0,0	0,4	0,4	0,0

та при диагностике по технологии комплексной системы контроля P_s от вероятности $P_{AЭ}$ – диагностирования дефекта методом АЭ для трех значений $P(f) = 0,05; 0,1; 0,5$ показаны на *рисунке 1*.

Из приведенных на *рисунке 1* графиков следует, что достоверность контроля технического состояния ОПО на основе применения комплексной системы контроля в значительной степени зависит от вероятности диагностирования дефектов методом АЭ. Влияние на вероятность обнаружения дефекта объема сплошного контроля, являющегося, с учетом необходимости подготовки поверхности к сканированию, чрезвычайно трудоемким, значительно меньше, нежели повышение достоверности диагностики методом АЭ.

Направлениями повышения достоверности обнаружения дефектов методом АЭ являются:

- увеличение количества нагружений при натурном обследовании объекта ;
- лабораторные испытания на растяжение образцов из сталей элементов объекта – бездефектных, и с дефектами в виде концентраторов напряжений с одновременной регистрацией сигналов АЭ по методике [2].

Оценить зависимость достоверности обнаружения дефектов $P_{AЭ}$ методом АЭ от количества нагружений m , можно используя выражение

$$P_{AЭ} = 1 - (1 - P_1)^m, (5)$$

где P_1 – вероятность обнаружения дефекта при одном нагружении.

На *рисунке 2* представлены графики вероятности обнаружения дефекта методом акустической эмиссии $P_{AЭ}$ от числа статистически независимых испытаний m для $P_1 = 0,3; 0,5; 0,7$.

На графиках видно, что повторные нагружения значительно увеличивают достоверность АЭ

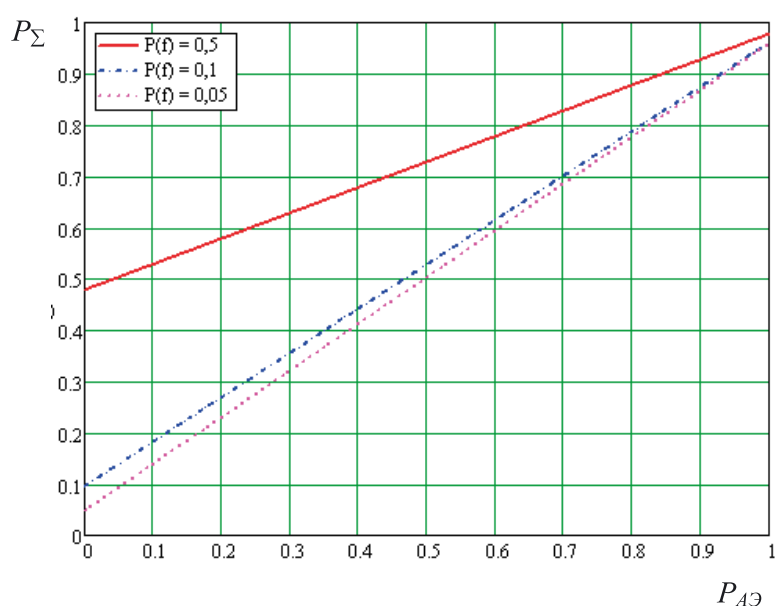


Рис. 1. Зависимости вероятности обнаружения дефекта при диагностике по технологии комплексной системы контроля от вероятности диагностирования дефекта методом АЭ

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

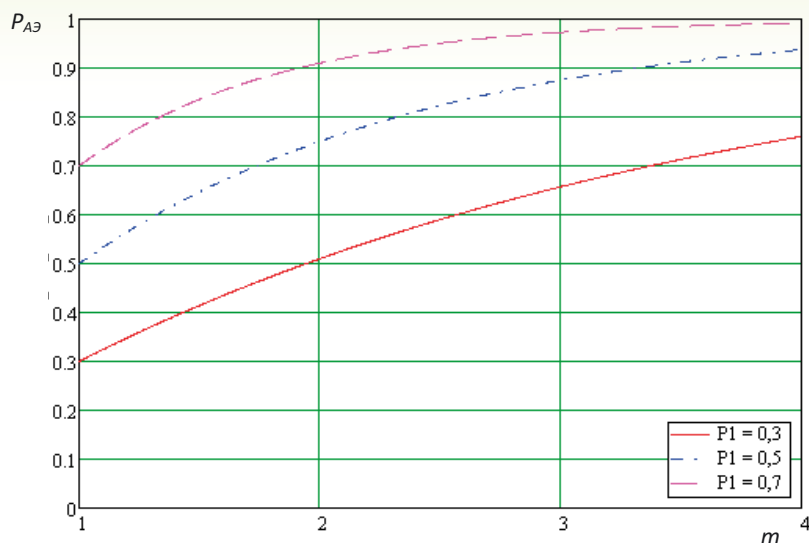


Рис. 2. Зависимости вероятности обнаружения дефекта методом акустической эмиссии $P_{AЭ}$ от числа статистически независимых испытаний m

контроля. Поэтому можно рекомендовать проводить повторные грузовые испытания ОПО с кратностью $m \geq 3$, получив на начальном этапе обследования экспериментальную оценку величины P_1 .

Литература

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2 кн. / Под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1986. Кн. 1. 352 с.
2. Иванов В.И., Власов И.Э. Метод акустической эмиссии. Неразрушающий контроль: Справочник. В 7 т. / Под общ. Ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение. 2005. Т. 7. Кн. 1. 340 с.
3. Корнилова А.В. К вопросу о комбинировании методов неразрушающего контроля // Безопасность труда в промышленности, 2007, №6. С. 49-54.
4. Бородай В.Э., Попов А.Г. Научно-методическое обеспечение аппаратного комплекса для оценивания технического состояния и остаточного ресурса объектов высокого риска при больших сроках эксплуатации // Известия Института инженерной физики, 2006. №1. С. 30-31.
5. Бородай В.Э., Попов А.Г. Модель пористого материала, учитывающая сжимаемость матрицы при решении задач о воздействии на конструкции импульсных нагрузок высокой интенсивности // Известия Института инженерной физики, 2007. №1(3). С. 2-4.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

УДК 621.391

МОДЕЛЬ ДИСКРЕТНОГО КАНАЛА СВЯЗИ С ДИНАМИЧЕСКИМ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕМ

Михаил Юрьевич Конышев

кандидат технических наук, доцент

доцент

ГКОУ ВПО «Академия Федеральной
службы охраны Российской Федерации»

Адрес 302034, г. Орёл,

ул. Приборостроительная, д. 35

Тел.: +7(4862)54-97-11

E-mail: misha-kon@ya.ru

Василий Иванович Близнюк

преподаватель

ГКОУ ВПО «Академия Федеральной
службы охраны Российской Федерации»

Адрес 302034, г. Орёл,

ул. Приборостроительная, д. 35

Тел.: +7(4862)54-97-11

E-mail: v_bliznyuk@mail.ru

Сергей Вячеславович Захаркин

кандидат технических наук, доцент

ГКОУ ВПО «Академия Федеральной
службы охраны Российской Федерации»

Адрес 302034, г. Орёл,

ул. Приборостроительная, д. 35

Тел.: +7(4862)54-97-11

Сергей Васильевич Харченко

старший научный сотрудник

ГКОУ ВПО «Академия Федеральной
службы охраны Российской Федерации»

Адрес 302034, г. Орёл,

ул. Приборостроительная, д. 35

Тел.: +7(4862)54-97-11

E-mail: bvi_78@mail.ru

Роман Робертович Марченков

слушатель

ГКОУ ВПО «Академия Федеральной
службы охраны Российской Федерации»

Адрес 302034, г. Орёл,

ул. Приборостроительная, д. 35

Тел.: +7(4862)54-97-11

E-mail: roma-marchenkov@yandex.ru

Рассмотрена модель дискретного канала связи с мультиплексированием, учитывающая марковские свойства уплотненных источников сообщений и потока ошибок на основе их описания вероятностной метрикой.

The model of discrete communication channel with multiplexing, taking into account the Markov properties of compacted message sources and error stream on the basis of their descriptions of probabilistic metric.

Ключевые слова: структура мультиплексированного цифрового потока, марковские цепи, метрика.

Key words: structure of the multiplexed digital stream, Markov chain, metric.

Современный этап развития телекоммуникационных систем характеризуется широким применением технологий уплотнения каналов, предназначенных для передачи информации от нескольких источников в едином групповом канале. Наибольшее распространение среди указанных технологий получило временное уплотнение (мультиплексирование), основанное на выделении каждому источнику временных интервалов (time slots) для передачи фрагментов своих сообщений в общем кадре передачи. В

настоящее время происходит замещение устаревших систем со статическим мультиплексированием, в которых каждому уплотненному каналу жестко выделяется совокупность временных интервалов, на системы с динамическим мультиплексированием, способные учитывать реальную потребность в передаче информации у источников сообщений в уплотняемых каналах.

При этом очевидно, что для эффективного использования пропускной способности мультиплексного канала при динамическом муль-

типлексировании, управление процессом выделения временных интервалов уплотняемым каналам в кадре мультимплексированного потока должно строиться на основе прогнозирования потребностей передачи информации в уплотняемых каналах. Другим важным фактором, определяющим актуальность построения моделей каналов с динамическим мультимплексированием является возможность повышения информационной эффективности в системах передачи информации (СПИ) с мультимплексированием на основе учета статистических свойств мультимплексных цифровых потоков (МЦП). Последние обладают значительной избыточностью, обусловленной, в первую очередь, наличием интервалов времени, в которые ресурс мультимплексного канала используется не полностью. В результате, для обеспечения синхронизма, в некоторых временных интервалах в кадре МЦП, закрепленных за уплотняемыми каналами, в которых отсутствует полезная нагрузка, передаются комбинации заполнения (холостого хода).

Известные подходы к учету избыточности источников сообщений и случай, когда в качестве источника выступает мультимплексор рассмотрены в [1, 2]. Таким образом, к существенным свойствам объекта моделирования (дискретного канала связи (ДКС) с динамическим мультимплексированием) следует отнести следующие:

- статистические свойства источников сообщений в уплотняемых каналах;
- статистические свойства потока заявок на обслуживание (передачу в групповом потоке на выходе мультимплексора) в уплотняемых каналах;
- структура кадра мультимплексора и правило закрепления временных интервалов за уплотняемыми каналами;
- статистические свойства источника ошибок в ДКС с мультимплексированием.

Направления повышения эффективности функционирования СПИ с динамическим мультимплексированием определяют требование к разрабатываемой модели, заключающееся в обеспечении возможности прогнозирования на её основе значений параметров модели, определяющих вышеуказанные существенные свойства ДКС с динамическим мультимплексированием.

Процесс передачи информации в СПИ с мультимплексированием, подробно рассмотрен в [3]. Свойства агрегированного процесса на выходе мультимплексора определяются характеристиками источников сообщений. Широко известно допущение [4], что большинство сообще-

ний реальных ИС являются эргодическими последовательностями, у которых корреляционные связи распространяются на конечное число элементов. Универсальный подход к посимвольному описанию стационарных дискретных процессов состоит в задании n -мерных условных (переходных) вероятностей различных значений этого процесса на i -й позиции при известных значениях на n предшествующих позициях $p(a_i/a_{i-1}, \dots, a_{i-n})$ или $(n+1)$ -мерных совместных вероятностей различных значений процесса на $n+1$ смежных позициях $p(a_{i-n}, \dots, a_i)$ [5].

Необходимо отметить, что для реализаций сообщений в реальных каналах передачи информации, уплотняемых в МЦП, сформированных на длительных интервалах времени допущение эргодичности, как правило, не выполняется. В первую очередь это обусловлено причинами, связанными с разнородностью сообщений, передаваемых в каналах в различные интервалы времени, и нестационарным характером потоков заявок на передачу сообщений. Тем не менее, в пределах отдельного сообщения (файла, сеанса телефонной связи и т.п.), передаваемого по уплотняемому каналу связи, допущение эргодичности вполне приемлемо.

Одним из возможных подходов к построению модели МЦП с динамическим уплотнением является представление МЦП в виде последовательности цифровых потоков, соответствующих различным последовательно расположенным во времени интервалам. При этом структура МЦП и статистические свойства сообщений в уплотненных каналах на указанных интервалах предполагаются неизменными. Таким образом, для описания МЦП на отдельном интервале в СПИ с динамическим мультимплексированием достаточно вначале рассмотреть модель МЦП со статическим уплотнением.

В [3] представлена математическая модель МЦП, учитывающая статистические свойства уплотненных ИС и структуру МЦП, определяемую правилом уплотнения для случая статического уплотнения. В условиях изменяющегося во времени правила уплотнения указанная модель способная отразить статистические свойства МЦП на интервале времени, когда структура МЦП неизменна.

Поскольку обеспечение эффективного использования пропускной способности мультимплексного канала основано на перераспределении временных интервалов между уплотняемыми каналами, рассмотрим статистические свойства цифрового потока, передаваемого в одном временном интервале мультимплексора, на отрезке времени, когда осуществляется передача не-

которого сообщения. Последнее условие определяет возможность использования допущения об эргодичности сообщения.

Пусть реализация сообщения h -го ИС $A^h(t)$, передаваемого в одном из уплотненных каналов МЦП, обладает некоторыми статистическими свойствами, численно описываемыми посредством матрицы переходных вероятностей (МПВ) размерности $2^k \times 2$, где k – связность цепи Маркова. Заметим, что для двоичного процесса указанное допущение справедливо как в случае наличия, так и отсутствия корреляционных связей, поскольку биномиальный процесс, соответствующий случаю отсутствия памяти, представляет собой частный случай двоичного Марковского процесса, при котором переходные вероятности равны финальным [7]. Интерес представляет влияние периода кадра мультиплексора и количества временных интервалов, выделенных для передачи информации уплотненному каналу, на статистические свойства цифровых потоков, образуемых в процессе мультиплексирования в различных временных интервалах, выделенных мультиплексором для передачи информации одного уплотненного канала.

В [8] доказано утверждение, сформулированное в виде: «В канале без шума статистические свойства цифровых потоков в различных временных интервалах мультиплексного потока, выделенных для передачи информации одному источнику, равны». Таким образом, вне зависимости от параметров структурного преобразования, которым является мультиплексирование, в пределах длительности исходного сообщения, статистические свойства образуемых в результате такого преобразования цифровых потоков, равны.

Известно, что для двоичных случайных процессов наиболее полным описанием статистических свойств является совокупность вектора начальных состояний и МПВ, представляющие собой общепринятую модель случайного процесса. При наличии априорной неопределенности относительно значений вектора начальных состояний, в случае выдвижения ограничения на эргодичность случайного процесса, задачу оценивания указанных значений решают на основе известного подхода, основанного на возведении МПВ в степень [9]. Необходимо отметить, что ряд распределения двоичных комбинаций, как альтернативная форма описания статистических свойств, также содержит информацию относительно корреляционных свойств. Так, при наличии информации о вероятностях n -мерной двоичной случайной величины, значения элементов МПВ, описывающей двоичный случай-

ный процесс n -1-связной цепью Маркова, получают путем несложных вычислений [7].

Использование таких описаний двоичных случайных процессов в задаче моделирования МЦП в СПИ с динамическим мультиплексированием затруднительно в силу его множественного характера или (в случае ряда распределения вероятностей двоичных комбинаций) – векторного характера. В каждом из указанных случаев возникает необходимость не только формальной фиксации значений статистических свойств частей реализаций источников сообщений в уплотненном канале, но и решения задачи прогнозирования этих свойств, решение которой, к сожалению, авторам не удалось обнаружить в доступных источниках. Фактически, речь идет об отсутствии метода прогнозирования значений элементов МПВ либо ряда распределения двоичных случайных последовательностей. В настоящее время подобные задачи решают на основе известных методов теории временных рядов [10], однако существенным ограничением на возможность их использования является скалярный характер обрабатываемых и прогнозируемых данных. Таким образом, возможно два подхода к преодолению вышеуказанного затруднения при решении задачи прогнозирования. Первый заключается в построении метода, обрабатывающего многомерные статистические данные без снижения числа измерений.

Однако, как элементы вектора, описывающего ряд распределения, так и элементы МПВ, являются зависимыми величинами. Примером являются зависимости между вероятностями противоположных событий или значениями элементов одной строки МПВ, обусловленные тем, что и те и другие представляют собой полную группу событий. В результате при разработке подобного подхода возникает необходимость учета собственно зависимостей между многомерными данными, так и обеспечения соразмерности погрешностей прогнозирования отдельных значений. Альтернативой рассмотренному подходу является подход, основанный на преобразовании, позволяющем снизить размерность обрабатываемых данных. Наиболее удобным является преобразование, позволяющее сопоставить вектору, описывающему ряд распределения двоичных случайных величин, одномерную величину. По сути, речь в данном случае идет о метрике на вероятностных пространствах двоичных случайных величин различной размерности. Такая метрика предложена в работе [8] и определяется выражением

$$M^n = \left(\sum_{i=0}^{2^n-1} |p(i) - p'(i)|^p \right)^{1/p}, \quad (1)$$

где n – связность цепи Маркова;
 $p(i)$ – вероятность двоичной комбинации длины $n+1$, имеющей десятичное значение i .

В основу предложенной метрики положена метрика Минковского [11], а выбор элементов, участвующих в формировании суммы выражения (1), определяется их независимостью, доказанной в [7]. Таким образом, измерения вероятностного пространства многомерных двоичных случайных величин, для которого определена метрика, независимы. Другим важным обстоятельством, обусловившим выбор элементов суммы, является возможность получения на их основе точной информации относительно значений других элементов (вероятностей двоичных комбинаций), не участвующих в формировании значения суммы в выражении (1).

Следовательно, возможно построение модели ДКС с динамическим мультиплексированием на основе второго из рассмотренных выше подходов. Целью построения модели является обеспечение возможности прогнозирования статистических свойств двоичных случайных последовательностей в цифровом потоке на выходе динамического мультиплексора. Поскольку структура МЦП является важным фактором, определяющим возможность применения модели, требуется получить прогноз статистических свойств реализаций в каждом временном интервале кадра МЦП на основе данных, представляющих собой описание статистических свойств реализаций источников сообщений в уплотняемых каналах МЦП, полученных по результатам наблюдений.

Таким образом, исходной информацией для модели ДКС с динамическим мультиплексированием является совокупность значений метрик, характеризующих статистические свойства реализаций сообщений уплотняемых в МЦП источников в каждом из временных интервалов на цикле уплотнения МЦП, отнесенных к различным интервалам наблюдения. Соответствующая матрица представлена в выражении (2):

$$Y' = \begin{vmatrix} M^n(t_0, a_0) & M^n(t_0, a_1) & M^n(t_0, a_N) \\ M^n(t_1, a_0) & M^n(t_1, a_1) & M^n(t_1, a_N) \\ M^n(T, a_0) & M^n(T, a_1) & M^n(T, a_N) \end{vmatrix} \quad (2)$$

Прогноз изменения статистических свойств реализаций ИС во временных интервалах мо-

жет быть осуществлен на основе методов теории временных рядов [12-14], как показано в [3]. Учет полученных на основе прогноза данных относительно статистики уплотненных ИС позволяет оценивать коэффициент использования каждого временного интервала источниками сообщений и принимать обоснованные решения по распределению временных интервалов МЦП между ИС в алгоритмах управления мультиплексорами с динамическим мультиплексированием.

Литература

1. Ростовцев Ю.Г. Исследование методов повышения достоверности связи за счет использования статистической избыточности сигналов. Л.: ЛВИКА, 1965. 279 с.
2. Коньшев М.Ю., Панкратов А.В., Просолупов С.А. Методика декодирования сверточных кодов в мультиплексных каналах связи // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета, 2012. №1(39). Ч. 1. С. 23-31.
3. Близнюк В.И., Коньшев М.Ю., Санин Ю.В., Панкратов А. В. Математическая модель мультиплексированного цифрового потока для систем потокового сжатия // Информация и космос, 2014. №3. С. 14-18.
4. Зюко А.Г. Теория передачи сигналов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, М.В. Назаров, А.М. Финк. М.: Связь, 1980. 288 с.
5. Блох Э.А., Попов О.В., Турин В.Я. Модели источника ошибок в каналах передачи цифровой информации. М.: Связь, 1971. 251 с.
6. Григорьев В.А. Передача сообщений / В.А. Григорьев, С.В. Григорьев. С-Петербург: ВУС, 2002. 255 с.
7. Баранов В.А., Коньшев М.Ю., Шинаков С.В., Панкратов А.В. Идентификация модели двоичного марковского процесса по выборке ограниченного объема // Радиолокация, навигация, связь. RLNC 2012: материалы XVIII Международной научной конференции. Т.1. Воронеж: ВГУ, 2012. С. 22-33.
8. Коньшев М.Ю., Близнюк В.И., Панкратов А.В. Алгоритм демultipлексирования цифровых потоков, учитывающий статистические свойства уплотненных источников сообщений и потока ошибок // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета, 2014. №3(49). С. 22-28.
9. Левин Б.Р. Вероятностные модели и методы в системах связи и управления / Б.Р. Левин, В. Шварц. М.: Радио и связь, 1985. 312 с.
10. Хеннан Э. Многомерные временные ряды. М.: Мир, 1974. 576 с.
11. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 528 с.
12. Афанасьев, В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, ИНФРА-М. 2010. 320 с.
13. Кендэл М. Временные ряды: пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1981.
14. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 1977.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 28.23.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТА МЕТОДОМ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Дмитрий Геннадьевич Митрофанов

доктор технических наук, профессор

Военная академия войсковой ПВО
ВС РФ им. А.М. Василевского
Адрес: 214027, г. Смоленск, ул. Котовского, 2
Тел.: +7(4812)41-57-41
E-mail: mdgvarvo@yandex.ru

Виталий Валерьевич Бортовик

кандидат технических наук

доцент кафедры
Военная академия войсковой ПВО
ВС РФ им. А.М. Василевского
Адрес: 214027, г. Смоленск, ул. Котовского, 2
Тел.: +7(920)300-20-20
E-mail: bvv30@yandex.ru

Олег Олегович Красавцев

старший инженер
ООО «Смоленский научно-инновационный
центр радиоэлектронных систем "ЗАВАНТ"»
Адрес: 214004, г. Смоленск, ул. Кирова, д. 22-Б
Тел.: +7(4812)38-47-65 E-mail: info@zavant.ru

Алексей Викторович Сафонов

кандидат технических наук, доцент
начальник кафедры
Тюменское высшее
военно-инженерное командное училище
652051, г. Тюмень,
ул. Прокопия Артамонова, д. 4 кв. 316
Тел.: +7(922)471-16-07
E-mail: sulaco33@yandex.ru

Денис Александрович Кичулкин

главный инженер
ООО «Смоленский научно-инновационный
центр радиоэлектронных систем "ЗАВАНТ"»
Адрес: 214004, г. Смоленск, ул. Кирова, д. 22-Б
Тел.: +7(4812)38-47-65
E-mail: info@zavant.ru

Описаны возможности, проблемы и некоторые известные результаты использования векторных признаков в радиолокационных системах информирования. Указаны преимущества нейросетевого подхода при исследовании информационных свойств импульсных характеристик (ИХ). Раскрыты условия, параметры и элементы методики проведения имитационного моделирования идентификации по ИХ. Выбрана подходящая для этой задачи искусственная нейронная сеть. Получены количественные оценки идентификации моделей объектов в пределах разных классов при различных уровнях шума.

The opportunities, problems and some known results of use of vector signs in radar-tracking systems of informing are described. Advantages of neuronetwork approach are specified at research of information properties of the impulse characteristics (IC). Conditions, parameters and elements of a technique of carrying out imitating modeling of identification on IC are opened. The artificial neural network suitable for this task is chosen. Quantitative estimates of identification of models of objects within different classes are received at various noise levels.

Ключевые слова: импульсная характеристика, искусственная нейронная сеть, сигналы с перестройкой частоты, идентификация объектов.

Key words: impulse characteristic, artificial neural network, signals with frequency reorganization, identification of objects.

Проблема установления принадлежности объектов к определенной группе или классу давно исследуется в различных областях знаний. Методы и алгоритмы отождествления уже достаточно развиты, но в некоторых сферах деятельности их результативность остается низ-

кой. К примеру, задача установления типажа воздушных объектов по параметрам отраженных ими сигналов до сих пор на должном уровне не решена. Методы и алгоритмы различения летательных аппаратов (ЛА) по отраженным радиолокационным сигналам базируются на выбо-

ре информативных признаков, которые в реальных условиях всегда являются искаженными и видоизмененными вследствие влияния шумов, помех, непредсказуемости поведения наблюдаемых объектов и т.д. Поэтому от простых скалярных признаков различения стремятся перейти к высокоинформативным векторным в виде усредненных или многоэлементных характеристик, матриц, портретов. Выигрывают в этом смысле векторные признаки, использующие накопление информации, повышение отношения сигнал/шум и являющиеся устойчивыми к проявлению дестабилизирующих факторов.

Одним из таких признаков, отличающимся помехоустойчивостью и информативностью, является импульсная характеристика (ИХ) объекта, представляющая собой объединение импульсных откликов от отдельных рассеивателей или блестящих точек (БТ) поверхности объекта на зондирование коротким импульсом, имеющим вид дельта-функции. Отклики от отдельных БТ, не разнесенных по дальности, могут сливаться, однако большинство откликов в ИХ имеет свое индивидуальное положение, характеризуя проекции пространственно разнесенных БТ на линию визирования. Обратные рассуждения приводят к тому, что по структуре ИХ объекта, в том числе и ЛА, можно судить о числе БТ на поверхности его планера, об их взаимном удалении по радиальной координате, о геометрическом построении ЛА, его продольном размере и т.д.

Изменение ракурса ЛА влечет за собой изменение взаимного расположения проекций БТ на линию визирования, вследствие чего структура ИХ является функцией курсового угла локации. Особенностью строения планера большинства ЛА является то, что наименьшее число слияний импульсных откликов от разных БТ и наибольший их разнос по времени характерен для близких к нулевым ракурсам. Поэтому ИХ дает наилучшее описание ЛА, его конструктивных особенностей при сонаправленности линии визирования и продольной оси фюзеляжа. Соответственно и результаты отождествления ЛА по принадлежащим им ИХ ожидается более достоверным на нулевых курсовых углах. Будучи пересчитанной через скорость распространения радиоволн в продольный (дальностный) портрет, ИХ уже используется в радиолокационных системах классификации [1]. В этих системах наилучшие результаты свойственны условиям локации на малых курсовых углах. При боковых ракурсах оценки классификации, как правило, снижаются и более информативным становится поперечный доплеровский пор-

трет ЛА, формируемый методом инверсного ситезирования апертуры [2, 3]. В благоприятных для метода построения портретов условиях продольный портрет при нулевом курсовом угле ($\gamma \approx 0$) и доплеровский портрет при боковом курсовом угле ($\gamma \approx \pi/2$) должны сильно коррелировать. При этом продольные портреты одного и того же ЛА, полученные на указанных ракурсах, практически не имеют сходства. В связи с этим курс ЛА необходимо учитывать при проведении его классификации по структуре портрета или ИХ.

Качество процесса отождествления ЛА во многом определяется разумным выбором аппарата или метода принятия решения. Наиболее популярными в настоящее время являются статистические или квазивероятностные методы [4]. Они опираются на использование заблаговременно сформированных интегральных законов распределения признаков. Формирование таких законов распределения является затратным и трудноосуществимым процессом. В поисках решения плотности распределения вероятностей признаков создают упрощенно, пренебрегая снижением адекватности.

Но даже при хорошей сходимости сформированных законов с реальными оценки принятия решений не достигают требуемого уровня. Так, в [5, 6] приводится ряд количественных показателей распознавания ЛА, полученных статистическими и пороговыми схемами принятия решений. Раскрываются, в основном, оценки классификации, которые колеблются на уровне 0,8 или поднимаются до 0,9 при недостижимом в реальных условиях отношении сигнал/шум (порядка 18 дБ). А оценки идентификации получают не в пределах классов, где ЛА имеют одинаковые размеры, а в общем ряду с сильными различиями по форме, габаритам и т.д. Анализ результатов [5, 6] еще раз указывает на необходимость развития и совершенствования методов идентификации ЛА по признакам, характеризующим архитектуру объектов.

Поиск новых подходов к идентификации привел к разработке и применению новых приемов, одним из которых является создание технической интеллектуальной системы, имитирующей взаимодействие нейронов в биологической нервной системе (коре головного мозга) и получившей наименование нейронная сеть. Для построения моделей искусственных нейронных сетей была даже создана нейрокомпьютерная математика как аппарат математического описания процессов функционирования систем искусственного интеллекта, ассоциативной памяти и пр. Результаты работ, использующих ней-

росетевые эмуляторы (НСЭ) в качестве инструмента для распознавания или технического приложения для принятия решений [7-11], показали перспективность и преимущества нейросетевого подхода. Техническая реализация нейросетевых алгоритмов достаточно проста и компактна [12]. Главным достоинством НСЭ при решении задач идентификации является то, что при подготовке их к выполнению операций необходимо только ряд реализаций признаков, и можно исключить трудоемкие затраты на формирование законов распределения, а также получение априорных величин признаков отождествления. Однако при позитивных количественных результатах работ [7-11] в них не исследуются возможности различных структур НСЭ и не изучается влияние различных факторов на качество формируемых решений. При этом работы, посвященные принципам построения и правилам функционирования искусственных нейронных сетей [13, 14], указывают на существование большого многообразия топологий этих вычислителей, которые могут решать задачи идентификации объектов с различной эффективностью. Целесообразность исследования возможностей различных НСЭ по сопоставлению и различению ЛА, а также определение границ (условий) их эффективной применимости является очевидной.

Целью представленной работы является количественное обоснование выбора наиболее приемлемой структуры НСЭ и исследование его возможностей по идентификации ЛА с помощью импульсной характеристики.

В ходе исследований по обоснованию структуры НСЭ было проведено имитационное моделирование с использованием пакета компьютерной математики Matlab, в котором имеется возможность имитировать работу практически всех известных топологий нейронных сетей. Для имитации процесса обработки отраженных сигналов и формирования вектора ИХ была разработана ориентированная математическая модель в среде программирования Delphi. Модели ЛА формировались на основе аппроксимации их планеров и конструкции телами простой и специальной геометрической форм с расчетом интенсивности вторичного излучения от каждого и формирования общего отраженного сигнала методом суперпозиции [15]. При этом в качестве зондирующих использовались пачки сигналов с перестройкой несущей частоты от импульса к импульсу на постоянную величину Δf . Количество импульсов в пачке составляло 128 и 256. Диапазон перестройки частоты Δf от первого до последнего импульса составлял 300 МГц.

Диапазон перестройки и число импульсов в пачке определяют разрешение по дальности DR и протяженность окна дальности в метрах. В частности, диапазон перестройки частоты 300 МГц обеспечивает продольную разрешающую способность DR=0,5 м. Это разрешение позволяло наблюдать отдельные импульсные отклики отражений от элементов конструкции даже малоразмерного ЛА.

Использование 128 и 256 частот зондирования обеспечивало при DR=0,5 м окно дальности протяженностью соответственно 64 и 128 метров. В ходе моделирования формировались ИХ, соответствующие диапазону дирекционных углов движения ЛА $\gamma=0^\circ \pm 10^\circ$ с шагом изменения курса $\Delta\gamma=0,5^\circ$. Шаг дискретизации облучающих векторов по углу курса был одинаковым для моделей всех ЛА. Имитировалась высота полета ЛА $H=1000$ метров и дальность до ЛА $D=30$ км.

Решалась задача различения моделей трех классов ЛА – крупных, средних и малоразмерных. Каждый класс был представлен двумя типами объектов. Класс крупноразмерных летательных аппаратов (КРЛА) представляли самолеты В-52 и Е-3А, класс среднеразмерных ЛА (СРЛА) – самолеты F-15 и F-16, а класс малоразмерных летательных аппаратов (МРЛА) – беспилотные ЛА типа MQ-1А и MQ-9.

Исследованию в ходе моделирования подвергались 5 искусственных нейронных сетей следующих топологий: многослойный перцептрон, вероятностная сеть, каскадная сеть, сеть Хемминга, линейная сеть. Число входных нейронов в каждом из НСЭ соответствовало количеству импульсов в пачке (либо 128, либо 256). Каждая из сетей содержала один скрытый слой и выходной слой либо с тремя выходами при классификации, либо с шестью выходами – при различении типов ЛА. При обучении НСЭ в качестве функции активации была выбрана сигмоидальная функция. Диапазон перестройки весовых коэффициентов составил ± 1 с шагом перестройки $\Delta\delta=10^{-4} \dots 10^{-2}$. Кроме того, при приеме и обработке отраженных сигналов учитывалось наличие шумовых или помеховых воздействий. Для этого в структуру синтезированного (собранного из отраженных сигналов разных частот) сигнала в виде частотной характеристики \hat{F}_n , представленного в комплексной форме, адаптивно добавляли шум \hat{S}_n . Здесь n – номера отсчетов в векторе ИХ. Понятно, что общее количество отсчетов соответствовало числу используемых частот в пачке зондирующих сигналов. Математическое ожидание шума принималось равным нулю. Причем при моделировании

комплексные частотные характеристики отражений раскладывались на квадратурные составляющие

$$\begin{aligned} \dot{F}_n &= \text{Re}(\dot{F}_n) + j\text{Im}(\dot{F}_n); \\ \dot{S}_n &= \text{Re}(\dot{S}_n) + j\text{Im}(\dot{S}_n). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь Re и Im – действительная и мнимая части комплексных функций как сигнала и шума (их квадратурные составляющие). При исследовании в каждую из квадратурных составляющих сигнала добавляли соответствующие распределенные по закону Гаусса квадратурные составляющие шума

$$\begin{aligned} \text{Re}(Sh_n) &= \text{Re}(\dot{F}_n) + \text{Re}(\dot{S}_n); \\ \text{Im}(Sh_n) &= \text{Im}(\dot{F}_n) + \text{Im}(\dot{S}_n), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\text{Re}(Sh_n)$ и $\text{Im}(Sh_n)$ – действительная и мнимая составляющие смеси сигнала и шума в n -м отсчете.

Величина отношения сигнал-шум Q на основе амплитуд в квадратурных составляющих Re и Im рассчитывалась по формуле

$$Q = 20 \lg \left[\frac{\sum_{n=1}^N \sqrt{[\text{Re}(\dot{F}_n)]^2 + [\text{Im}(\dot{F}_n)]^2}}{\sum_{n=1}^N \sqrt{[\text{Re}(\dot{S}_n)]^2 + [\text{Im}(\dot{S}_n)]^2}} \right]. \quad (3)$$

В ходе моделирования выбирали такую дисперсию шума, чтобы величина отношения сигнал-шум была не ниже $Q=35$ дБ, т.е. имитировались почти идеальные условия приема.

Оценки вероятностей распознавания вычислялись по частоте событий. Средние оценки вероятностей классификации для каждой из указанных сетей приведены в таблице 1.

Видно, что для эффективного разделения моделей ЛА на классы могут быть использованы

три варианта топологии нейронных сетей: вероятностная искусственная нейронная сеть, персептрон и каскадная сеть. По критерию максимизации оценки классификации для решения задачи определения типа ЛА была выбрана вероятностная нейронная сеть.

В интересах получения оценок идентификации моделей ЛА было проведено расширенное (углубленное) моделирование при разрешающей способности по дальности $\Delta R=0,5$ м. Для этого алфавит ЛА в пределах классов КРЛА, СРЛА и МРЛА был расширен. Каждый из указанных классов включал по 5 моделей ЛА, схожих по геометрическому построению и продольно-поперечным размерам. При прежней дискретизации по ракурсу в 1° ограничивались предельными значениями диапазона углов $\pm 25^\circ$ ввиду того, что дальнейшее увеличение ракурса наблюдения приводит к сильному изменению структуры ИХ, и для сохранения достоверности идентификации следует применять специальные приемы: кластеризацию принимаемых реализаций по курсовому углу, т.е. обучение и тестирование сети векторами ИХ в пределах 5-градусного или 3-градусного секторов; привлечение дополнительных признаков, увеличение разрешающей способности и т.д. (рисунк 1).

Кроме того, требовалось принимать во внимание возможные ошибки при измерении дальности до ЛА. Известно, что при отсутствии ошибок измерения центр пеленгации ЛА находится, как правило, в пределах его планера. Однако ошибки измерений и непредсказуемые смещения ИХ в пределах окна просмотра обязательно проявляются. При изменении положения эффективного центра сопровождения объекта ИХ изменяет свое положение в окне просмотра, вследствие чего импульсная характеристика не

Таблица 1

Тип ИНС	Оценки вероятностей распознавания			
	Класс КРЛА	Класс СРЛА	Класс МРЛА	Средняя
Вероятностная сеть	0,99	0,92	0,9	0,93
Многослойный персептрон	0,97	0,75	0,78	0,83
Каскадная сеть	0,84	0,68	0,7	0,74
Сеть Хэмминга	0,6	0,55	0,58	0,57
Линейная сеть	0,5	0,5	0,5	0,5

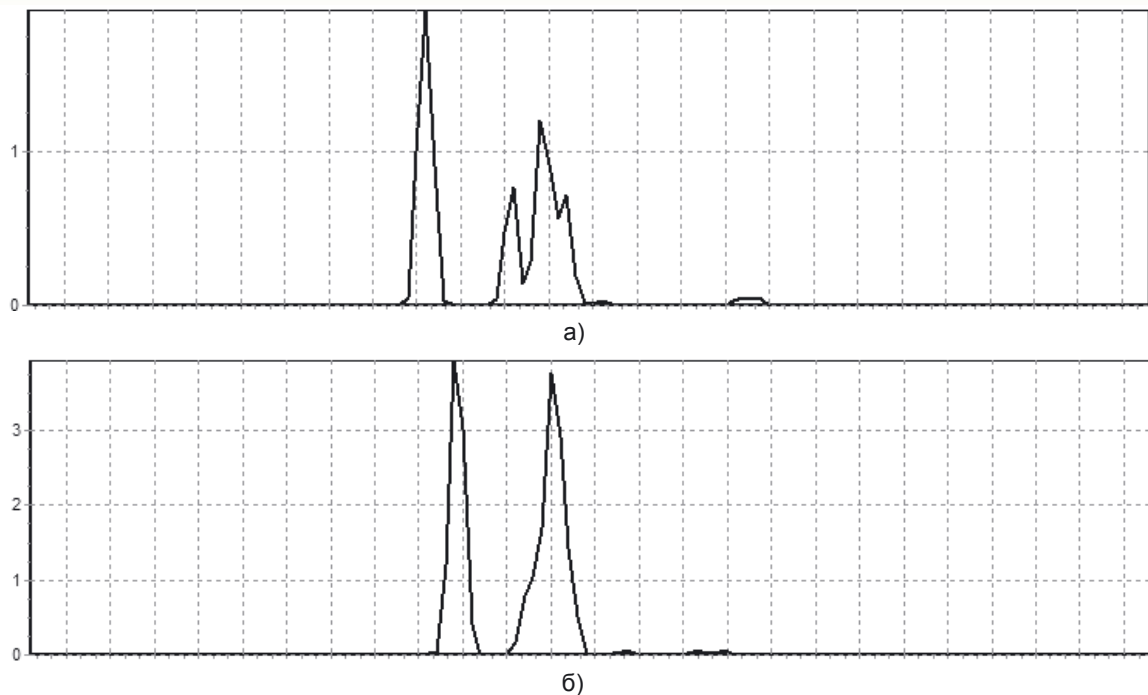


Рис. 1. ИХ модели ЛА типа F-15 при 128-частотном зондировании:
а) при курсовом угле 5°; б) при курсовом угле 30°

может при всех опытах находится в его средней области. На сегодняшний день одни только погрешности измерения дальности δD могут достигать десятков метров. Случайное смещение ИХ по оси времени является одним из факторов, вносящих ошибку в результирующей от-

клик на входе НСЭ. Поэтому случайные смещения необходимо учитывать. Также необходимо учитывать наличие шума в структуре отраженных эхо-сигналов, так как это обязательно приводит к искажению формы ИХ. На *рисунке 2* демонстрируются ИХ того же ЛА F-15, получен-

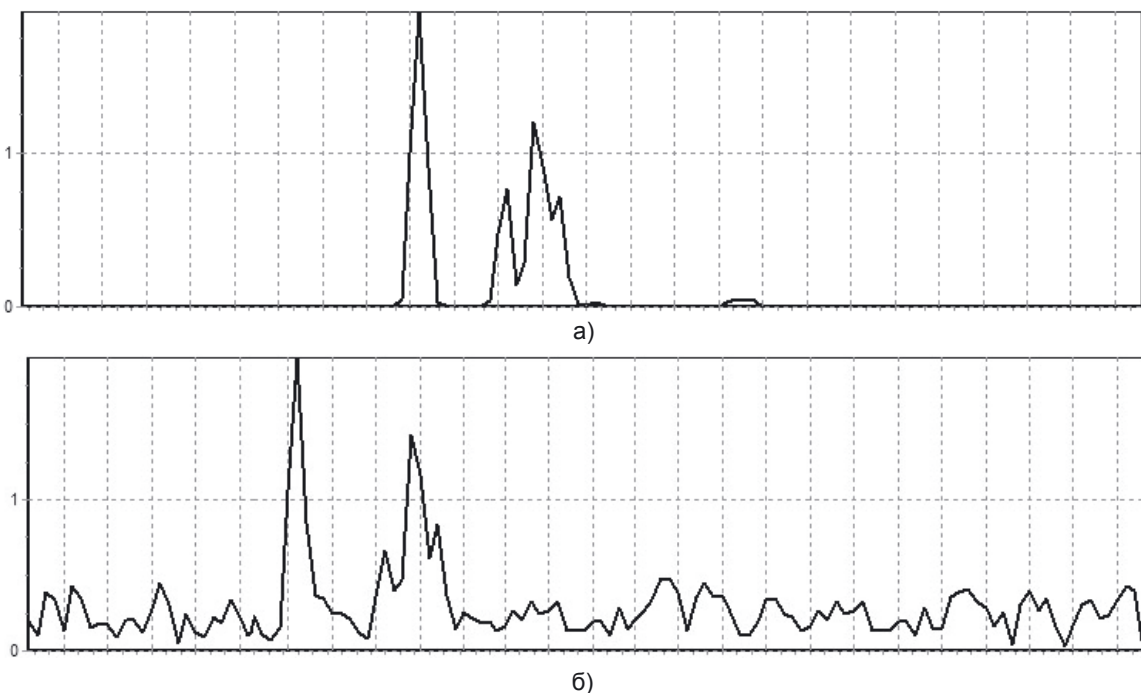


Рис. 2. ИХ модели ЛА типа F-15: а) без смещений в окне просмотра и при отсутствии шума; б) при наличии смещений в окне и шумового воздействия

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

ные сначала в идеальных условиях, а затем при наличии шума и случайных смещений в окне просмотра ввиду ошибок измерения дальности.

Учитывая наличие перечисленных негативных факторов, при моделировании для обучения НСЭ на первом этапе формировали банк векторов ИХ со случайной величиной смещения dt во временном окне просмотра в пределах $\delta\tau = -50 \dots +50$ мкс, а также с подмешиванием шума. Имитируемое отношение сигнал/шум Q изменялось в пределах диапазона $Q \in [13 \dots 31]$ дБ. Для каждой модели ЛА формировали по 1000 векторов ИХ (из 256 элементов, что соответствует использованию 256 частот зондирования) с тем, чтобы обеспечить максимально допустимую величину коэффициента вариации [16]. Таким образом, для трех классов ЛА с учетом наличия пяти типов объектов в классе общий объем обучающей выборки составил 15000 векторов, а размер матрицы – 15000×256 элементов. Входной слой НСЭ содержал 256 входных нейронных элементов, а выходной – пятнадцать, по числу распознаваемых типов ЛА всех трех классов. Для получения результатов идентификации создавалась тестовая матрица, в которой векторы ИХ не совпадали с векторами обучающей матрицы. Это достигалось тем, что при том же шаге дискретизации по курсовому углу диапазон изменения ракурсов задавался от $-25,5^\circ$ до $24,5^\circ$. Число тестовых векторов также составило 15000.

Ниже на рисунках 3-5 приведены средние оценки вероятности различения пятнадцати типов ЛА вероятностной нейронной сетью. Моделирование НСЭ проводилось в пакете компьютерной математики Matlab, в котором указанный тип сети реализован функцией «*fnn*».

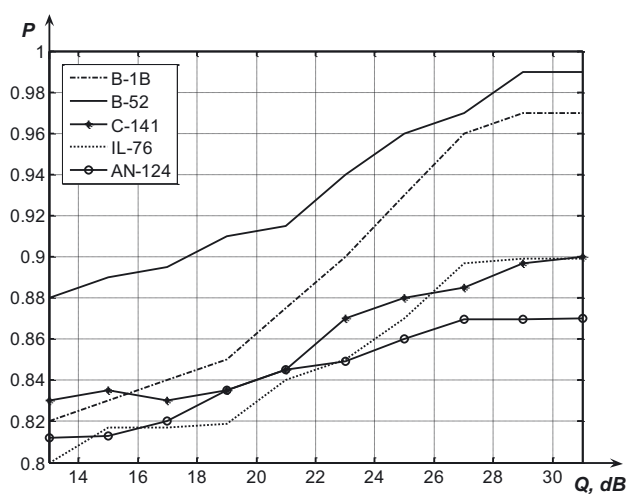


Рис. 3. Результаты идентификации моделей ЛА в классе КРЛА

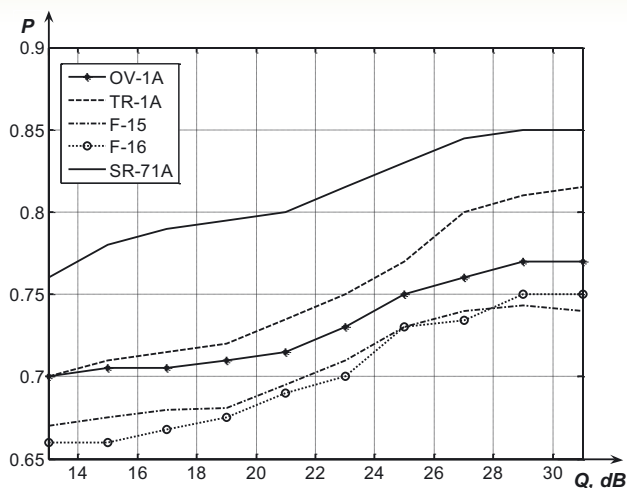


Рис. 4. Результаты идентификации моделей ЛА в классе СРЛА

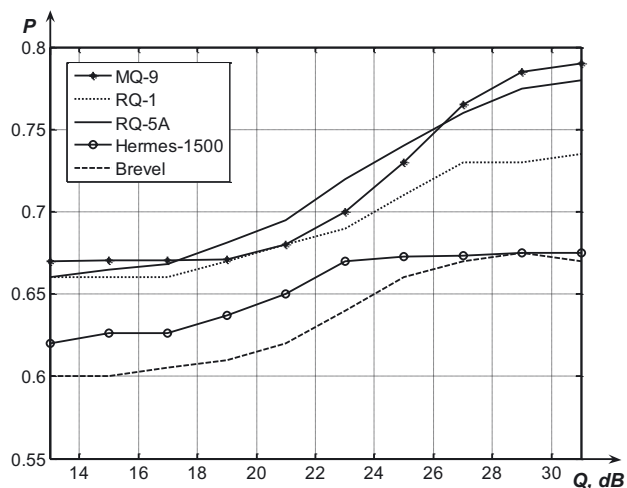


Рис. 5. Результаты идентификации моделей ЛА в классе МРЛА

Алгоритм формирования и настройки вероятностной сети подробно изложен в [17].

В соответствии с графиками оценок правильная идентификация моделей ЛА может быть выполнена достаточно эффективно. Высокая достоверность селекции ЛА типа В-52 определяется яркими особенностями конструкции его планера и существенными габаритными отличиями от остальных объектов из класса КРЛА. Немного хуже характеристики идентификации моделей из класса СРЛА. Самыми низкими, но вполне приемлемыми являются оценки идентификации моделей беспилотных ЛА. Это является следствием того, что их продольно-поперечные размеры отличаются в меньшей степени и занимают меньшее число элементов разрешения в ИХ, которые являются основными носителями информации отождествления. При

этом все представленные идентификационные показатели превышают аналогичные показатели, достигаемые квазивероятностными методами с извлечением вторичных признаков. При получении ИХ методом моделирования не учитывался факт изменения амплитуд импульсных откликов, связанный с их положением относительно границ элементов разрешения, что является определенным допущением и требует более углубленного изучения.

Тем не менее в ходе анализа результатов проведенного моделирования сформировалось убеждение о целесообразности использования нейросетевого подхода при организации идентификации ЛА с использованием векторных признаков, к которым относится ИХ. Наилучшие оценки показала вероятностная сеть, которую и рекомендовано применять в качестве НСЭ по ИХ. При отношении сигнал/шум порядка 13 дБ в исходном векторе многочастотных отражений средние оценки идентификации составляют: в классе КРЛА – 0,83, в классе СРЛА – 0,7, а в классе МРЛА – 0,64. Они могут быть дополнительно повышены за счет обучения и тестирования НСЭ векторами ИХ в узких секторах по угловым координатам (например, в пятиградусных секторах по курсу и в десятиградусных секторах по углу места). Прирост вероятности идентификации моделей объектов в классах КРЛА, СРЛА и МРЛА при увеличении отношения сигнал/шум до 32 дБ составляет соответственно 9%, 7% и 9%.

Результаты моделирования получены в ходе проведения исследований по гранту № 14-07-00193 при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

Литература

1. Радиолокационные системы. Справочник. Основы построения и теория / Под ред. Я.Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 510 с.
2. Митрофанов Д.Г. Способ построения двумерного радиолокационного изображения воздушной цели с произвольной нестабильной траекторией полета // Измерительная техника. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2002. №8. С. 7-11.
3. Митрофанов Д.Г. Комплексный адаптивный метод построения радиолокационных изображений в системах управления двойного назначения // Известия РАН. Теория и системы управления, 2006. №1. С. 101-118.
4. Горелик А.Л., Барабаш Ю.Л., Кривошеев О.В., Эпштейн С.С. Селекция и распознавание на основе локационной информации. М.: Радио и связь, 1990. 270 с.
5. <http://kbradar.by/text/pages-view-15.html>
6. <http://www.pandia.ru/text/77/451/4990-32.php>
7. Башкиров Л.Г., Саблин В.Н., Чапурский В.В., Шейко А.П. Радиолокационное распознавание воздушных объектов по радиоакустическим спектральным портретам с использованием обучаемых нейронных сетей // Полет, 2002. №8. С. 23-33.
8. Сосулин Ю.Г., Фам Чунг Зунг. Нейросетевое распознавание двумерных изображений // Радиотехника и электроника. РАН, 2003. Т. 48. С. 969-978.
9. Чапурский В.И. Распознавание воздушных целей по структуре теневых спектральных портретов при использовании нейронных сетей. М.: Радиоэлектроника, 2003. Т. 33, №1. С. 1-25.
10. Сафонов А.В. Разработка методики обучения нейросетевого классификатора летательных аппаратов по их радиолокационным изображениям. М.: ОАО ЦНИИ «Электроника». Вопросы радиоэлектроники, 2008. Т. 2, №3. 195 с.
11. Фархат Н.Х. Формирование радиолокационных изображений методом разнесения в диапазоне СВЧ и автоматизированная идентификация целей, основанная на использовании моделей нейронных сетей // ТИИЭР, 1989. Т. 77. №5. С. 43-56.
12. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры: разработка и применение. М.: Радиотехника, 2000. №1.
13. Головкин В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение / Под ред. Галушкина А.И. М.: ИПРЖР, 2001. 256 с.
14. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети: теория и практика. М.: Горячая линия-Телеком, 2001. 384 с.
15. Криспин мл., Маффетт. Оценка радиолокационного поперечного сечения тел простой формы // ТИИЭР, 1965. Т. 53. №8. С. 960-975.
16. Смит С. Цифровая обработка сигналов: практическое руководство для инженеров и научных работников. Пер. с англ. М.: Додэка-XXI, 2008. 720 с.
17. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети: Matlab 6. М.: Диалог-Мифи, 2002. 496 с.

УДК 621.396.96

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОИМПУЛЬСНОЙ ПЕРЕСТРОЙКЕ НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ*

Дмитрий Александрович Майоров

кандидат технических наук

доцент кафедры

Военная академия войсковой ПВО

ВС РФ им. А.М. Василевского

Адрес: 214027, г. Смоленск, ул. Котовского, д. 2

Тел.: +7(904)368-11-93

E-mail: d-mayorov@mail.ru

Дмитрий Геннадьевич Митрофанов

доктор технических наук, профессор

Военная академия войсковой ПВО

ВС РФ им. А.М. Василевского

Адрес: 214027, г. Смоленск, ул. Котовского, 2

Тел.: +7(4812)41-57-41

E-mail: mdgvapvo@yandex.ru

Вскрыты и описаны факторы, вносящие дополнительные искажения в импульсную характеристику воздушного объекта, формируемую из отраженной пачки с поимпульсной перестройкой несущей частоты. Исследована степень проявления этих факторов в структуре импульсной характеристики в зависимости от положения эффективного центра отражения, который при моделировании заменяется точкой опорной дальности, а также в зависимости от положения откликов рассеивателей относительно временных дискретов в характеристике и от взаимного положения рассеивателей между собой в продольном направлении. Оценены величины возникающих искажений откликов. Выработаны рекомендации по снижению влияния исследованных негативных факторов.

Dissected and described the factors that contribute additional distortions in the impulse response of the air object generated from the reflected bundles of impulses restructuring of the carrier frequency. Investigated the degree of manifestation of these factors in the structure of the impulse response depending on the position of the effective centre of reflection, which in the simulation is replaced by a point of the reference range, and depending on the position response of the scatterers relative to the time increments in the characteristics and relative position of the scatterers between them in the longitudinal direction. Assessed value resulting distortion of responses. Recommendations to reduce the impact of the investigated negative factors.

Ключевые слова: частотная характеристика, импульсная характеристика, сигналы с перестройкой частоты, импульсный отклик, искажения структуры.

Key words: frequency response, impulse response, signal frequency, pulse response, distortion patterns.

Поимпульсная перестройка несущей частоты относится к одному из перспективных направлений развития радиолокации [1]. Применение поимпульсной перестройки частоты по случайному закону совместно с изменением периода повторения зондирующих сигналов (ЗС) позволяет снизить влияние как традиционных, так и перспективных видов помех. Кроме повышения помехоустойчивости использование поимпульсной перестройки частоты улучшает разрешаю-

щую способность по дальности [2], что позволяет использовать сигналы с перестройкой частоты (СПЧ) для решения задачи идентификации воздушных объектов (ВО) на основе построения их импульсных характеристик (ИХ), в которых каждому отклику соответствует определенный рассеивающий центр (РЦ) освещенной поверхности ВО [3-7].

Импульсная характеристика представляет собой распределение амплитуд импульсных откликов от РЦ поверхности объекта по разрешаемым элементам на оси времени [8]. Она имеет дискретную структуру. При этом число временных

* Исследования проведены в рамках гранта РФФИ №14-07-00193.

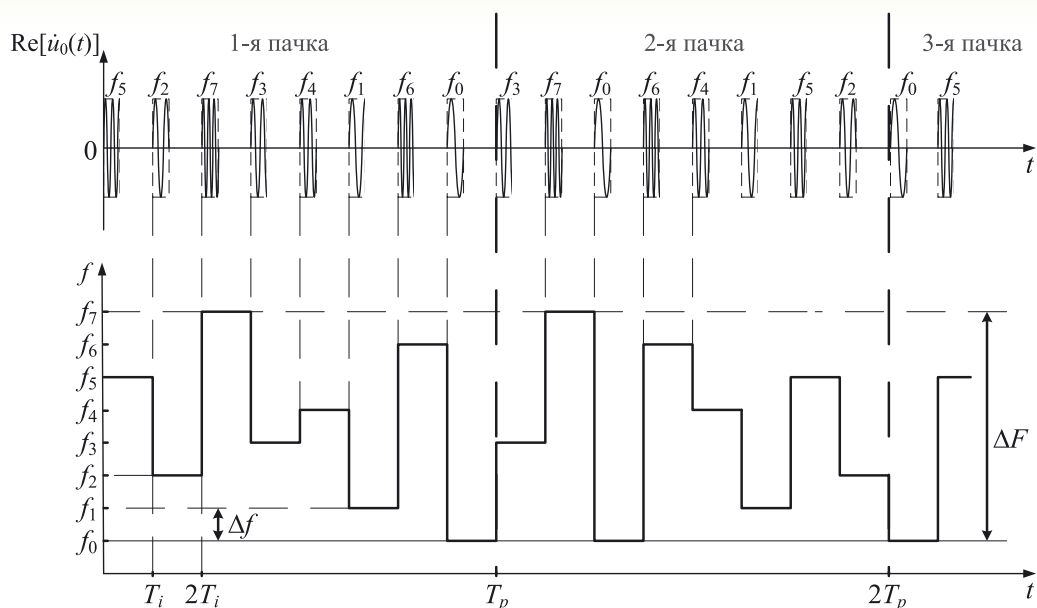


Рис. 1. Вид сигнала со случайным законом перестройки частоты для $N=8$

отсчетов («дискретов») в ИХ, полученной из отраженной пачки СПЧ, равно количеству СПЧ в пачке. Интервал между временными отсчетами ИХ определяется разрешающей способностью по времени, которая зависит от значения диапазона перестройки несущей частоты ΔF .

Дискретный характер ИХ оказывает существенное влияние на ее информативность. При попадании отклика от РЦ между дискретами структура ИХ искажается. Это снижает качество ИХ как сигнального признака распознавания и влияет на эффективность процесса идентификации ВО.

Целью работы является выявление особенностей формирования импульсных характеристик ВО в зависимости от взаимного расположения РЦ в радиальном направлении и параметров перестройки частоты. Учет указанных особенностей при анализе ИХ может позитивно сказаться на качестве идентификации ВО.

При поимпульсной перестройке несущей частоты ЗС представляет собой последовательность пачек из N импульсов длительностью τ_i , каждый из которых имеет свою частоту, не повторяющуюся в пределах одной пачки и изменяющуюся по некоторому закону. Количество используемых частот равно числу импульсов в пачке N . Значения частот выбираются из диапазона $[f_0; f_0 + \Delta F]$, где ΔF – диапазон перестройки частоты с шагом перестройки $\Delta f = \Delta F / (N-1)$. Очевидно, что наибольшую помехоустойчивость режима обеспечивает последовательность пачек импульсов, частота которых изменяется по своему случайному закону в каждой пачке. В каче-

стве примера на рисунке 1 изображен вид ЗС, состоящего из последовательностей пачек по 8 импульсов ($N=8$) с периодом повторения импульсов T_i и периодом повторения пачек T_p . Частота импульсов в пачках изменяется по случайному закону. Закон перестройки для каждой пачки различен.

Согласованная фильтрация импульсов n -й частоты $f_n = f_0 + n\Delta f$ из состава одной пачки СПЧ, отраженных от многоточечного ВО, позволяет получить частотную характеристику (ЧХ) ВО [4, 8], которая представляет собой совокупность откликов согласованных приемников на отраженные сигналы разных частот из состава пачки в определенный момент времени. Такое математическое представление отраженных от ВО импульсов является удобным, так как позволяет проводить цифровое когерентное сложение СПЧ с помощью обратного преобразования Фурье (ОПФ) ЧХ [9]. После устранения фазовых набегов, связанных с радиальным перемещением ВО, указанная операция позволяет получить и ИХ ВО (совокупность откликов РЦ объекта на воздействие в виде дельта-функции). Этим и определяется термин *частотная характеристика*, обратное преобразование Фурье которой позволяет получить ИХ ВО.

Порядок формирования ЧХ поясняется рисунком 2, на котором изображены отклики согласованного приемника на сигналы разных частот из состава пачки из 64 импульсов, отраженные от модели восьмиточечного ВО радиальной протяженностью $R_{11} = 56$ м на дальности 15 км. На оси абсцисс отобразено время запаздыва-

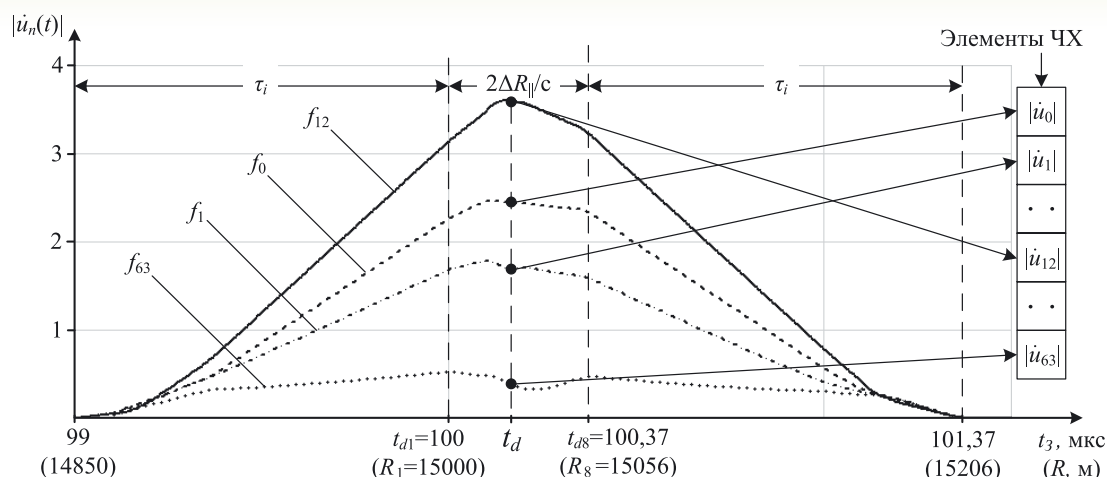


Рис. 2. Отклики согласованных приемников на сигналы разных частот

ния t_3 импульсов разных частот из состава пачки СПЧ. Дальности от РЛС до рассеивающих центров R_m , где m – порядковый номер РЦ, составляют $R_1=15000$ м, $R_2=15014$ м, $R_3=15016$ м, $R_4=15018$ м, $R_5=15021$ м, $R_6=15030$ м, $R_7=15050$ м, $R_8=15056$ м.

Согласно рисунку 2 отклики согласованного приемника достигают своего максимума на интервале времени $[t_{d1}; t_{dM}]$, где $t_{dm} = 2R_m/c$ – время запаздывания импульса, отраженного от m -го РЦ; R_m – дальность до m -го РЦ в момент излучения первого импульса из состава пачки; c – скорость распространения электромагнитных волн, M – количество РЦ на поверхности ВО. Очевидно, что для наиболее продуктивной обработки отраженных сигналов целесообразно использовать их отсчеты именно на этом интервале. Выберем некоторый момент времени t_d из указанного интервала и назовем его опорным, а соответствующую ему дальность $R_d = ct_d/2$ – опорной дальностью. Следует отметить, что такой подход является приемлемым только для режима сопровождения, когда дальность до ВО известна. Для режима обнаружения, когда дальность до ВО неизвестна, целесообразно разбивать весь интервал дальностей, на котором ведется обнаружение ВО, на дальностные каналы.

В интересах упрощения дальнейших рассуждений введем обозначение $\Delta R_m = R_m - R_d$ как радиальное расстояние между точкой опорной дальности и m -м РЦ. Соответственно, под обозначением $\Delta t_m = t_{dm} - t_d$ будем понимать разницу между опорным временем и временем запаздывания сигнала, отраженного от m -го РЦ. При таком подходе n -й член ЧХ ВО, полученный на n -й частоте в момент опорного времени t_d , описывается выражением [10, 11]

$$\dot{i}_n(t_d) = K(n) \tau_i \operatorname{sinc}(\pi F_{dn} \tau_i) \sum_{m=1}^M C_0(t_d, t_{dm}) E_m \cdot \exp\left(-j \left\{ \frac{4\pi f_n}{c} \left[\Delta R_m - V_r \left(t_d + \frac{\tau_i}{2} + \tilde{n} T_i \right) \right] - \psi_m \right\}\right).$$

где $K(n)$ – коэффициент, определяемый свойствами приемника РЛС при обработке сигнала n -й частоты;

$F_{dn} = 2V_r f_n / c$ – доплеровское смещение n -й частоты при радиальной скорости ВО V_r ;

$\operatorname{sinc}(x)$ – функция вида $\operatorname{sinc}(x)/x$;

$$C_0(t, t_{dm}) = \begin{cases} 1 - \frac{|t - t_{dm}|}{\tau_i}, & |t - t_{dm}| \leq \tau_i; \\ 0, & |t - t_{dm}| > \tau_i \end{cases}$$

корреляционная функция закона модуляции простого прямоугольного радиоимпульса;

E_m – амплитуда сигнала, отраженного от m -го РЦ, пропорциональная его эффективной площади рассеяния (ЭПР);

\tilde{n} – порядковый номер излучения импульса на n -й частоте, определяемый законом перестройки частоты из диапазона $[0 \dots (N-1)]$;

ψ_m – величина фазы отраженного сигнала, обусловленная отражением импульса от m -го РЦ.

Проведение обратного преобразования Фурье ЧХ неподвижного ВО позволяет получить его ИХ, состоящую из N дискретных импульсных откликов (дискретов). Ситуацию гипотетической неподвижности ВО можно обеспечить путем компенсации негативного влияния фазовых набегов, связанных с радиальным перемещением ВО с учетом закона перестройки частоты. Для этого перед проведением ОПФ необходимо проводить перефазирование ЧХ (фазовую фокусировку) и расстановку принятых сигналов в порядке линейно-ступенчатого возрастания частоты, что обеспечивается запоминанием зако-

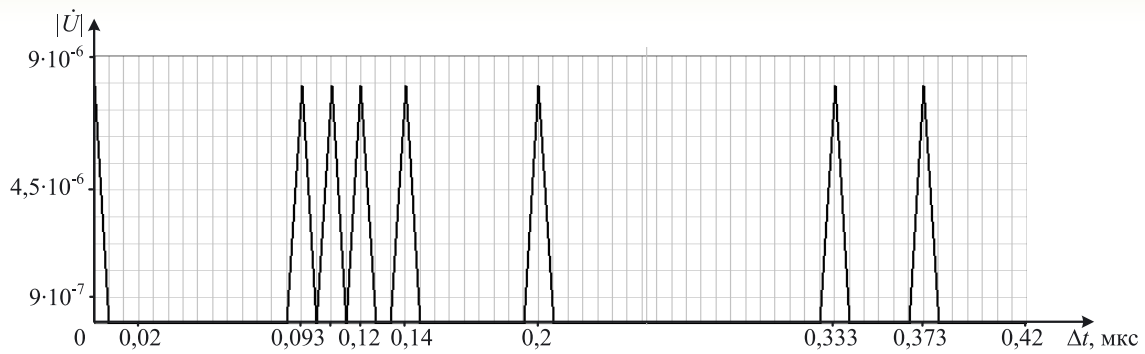


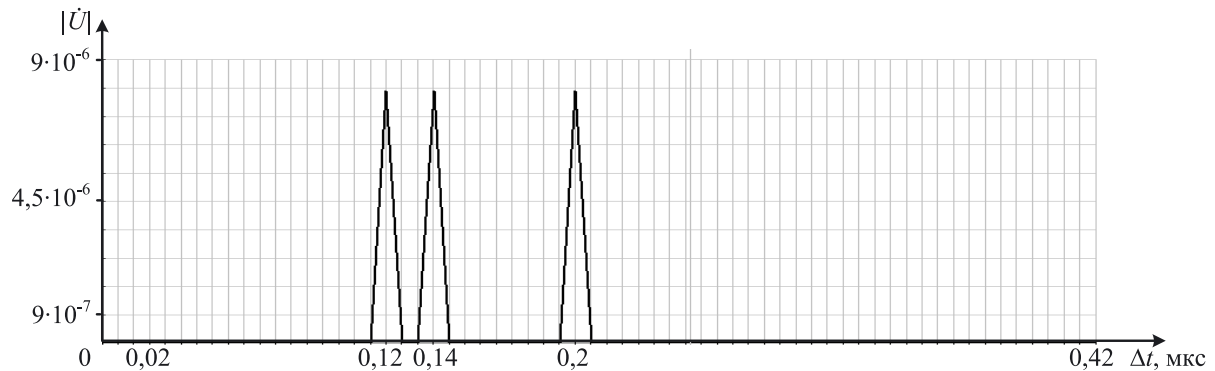
Рис. 3. Импульсная характеристика ВО

на перестройки. Подробно этот процесс описан в [12-14].

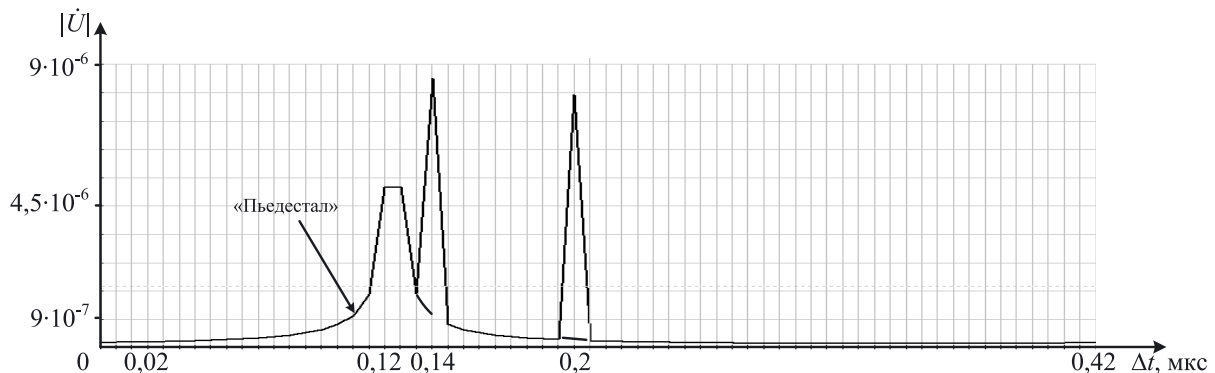
На *рисунке 3* показана ИХ описанной выше модели восьмиточечного ВО в условиях отсутствия помех и шумов. Точка опорной дальности выбрана на удалении первого РЦ ($t_a = 2R_1/c$). Отклик от этого РЦ расположен в нулевом временном дискрете ИХ. Для рассматриваемого случая $\Delta R_1 = 0$ м ($\Delta t_1 = 0$ с), $\Delta R_2 = 14$ м ($\Delta t_2 = 93,3$ нс), $\Delta R_3 = 16$ м ($\Delta t_3 = 106,7$ нс), $\Delta R_4 = 18$ м ($\Delta t_4 = 120$ нс), $\Delta R_5 = 21$ м ($\Delta t_5 = 140$ нс), $\Delta R_6 = 30$ м ($\Delta t_6 = 200$ нс), $\Delta R_7 = 50$ м ($\Delta t_7 = 333,3$ нс), $\Delta R_8 = 56$ м ($\Delta t_8 = 373,3$ нс). В интересах упрощения ЭПР каждого РЦ принималась равной 1 м². На *рисунке 3* под величиной

Δt понимается временное смещение относительно момента опорного времени t_a .

Интервал между дискретами ИХ определяется разрешающей способностью по времени δt и обратно пропорционален диапазону перестройки частоты ΔF : $\delta t = 1/\Delta F$ [7, 9]. Для рассматриваемого случая ($\Delta F = 150$ МГц) величина временного дискрета δt равна $6,6(6)$ нс. Из анализа *рисунка 3* видно, что амплитудно-временные отклики ИХ характеризуют реальное расположение РЦ рассматриваемого ВО относительно момента опорного времени. Временное окно, в котором располагаются элементы ИХ, имеет ширину $\Delta t_{ИХ} = (N-1)\delta t = 420$ нс. В рассмотренном случае вре-



а)



б)

Рис. 4. Искажение импульсной характеристики модели ВО при смещении РЦ

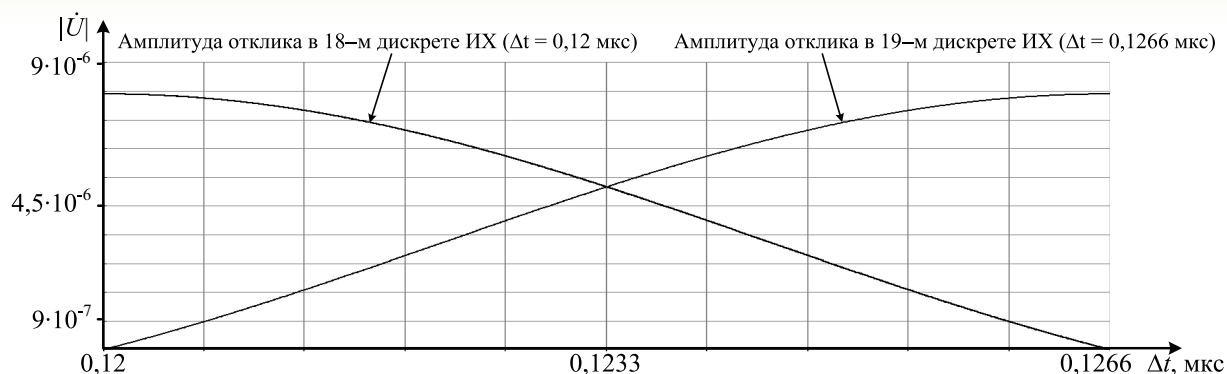


Рис. 5. Изменение амплитуды отклика от первого РЦ в зависимости от его смещения относительно момента опорного времени

менной сдвиг между моментом опорного времени и рассеивающими центрами кратен разрешающей способности. Если указанный временной сдвиг не кратен δt (в случае попадания отклика РЦ между временными отсчетами), структура ИХ искажается. Для примера на *рисунке 4* показаны ИХ двух моделей ВО, состоящих из трех РЦ с ЭПР 1 м^2 каждый в условиях отсутствия помех и шумов при $N=64$, $\Delta F=150 \text{ МГц}$, $t_d=100 \text{ мкс}$:

- первая модель – $\Delta t_1=120 \text{ нс}$ ($\Delta R_1=18 \text{ м}$), $\Delta t_2=140 \text{ нс}$ ($\Delta R_2=21 \text{ м}$), $\Delta t_3=200 \text{ нс}$ ($\Delta R_3=30 \text{ м}$) – фрагмент «а» *рисунка 4*;
- вторая модель – $\Delta t_1=123,3 \text{ нс}$ ($\Delta R_1=18,5 \text{ м}$), $\Delta t_2=140 \text{ нс}$ ($\Delta R_2=21 \text{ м}$), $\Delta t_3=200 \text{ нс}$ ($\Delta R_3=30 \text{ м}$) – фрагмент «б» *рисунка 4*.

Анализ *рисунка 4* позволяет сделать вывод о том, что при смещении одного из РЦ на $0,5 \text{ м}$ ($3,3 \text{ нс}$) отклик от него в ИХ становится шире, а его амплитуда – меньше, хотя ЭПР рассеивающего центра не изменялась. При этом у отклика появляется своеобразный «пьедестал», распределенный по всей ширине окна ИХ. На *рисунке 5* представлена зависимость амплитуды отклика первого РЦ в 18-м и 19-м дискретах от его смещения относительно момента опорного времени.

В случае попадания РЦ между отсчетами ИХ при увеличении Δt отклик от него плавно «пе-

ретекает» из одного дискрета в другой. Если РЦ размещен строго посередине между дискретами, амплитуда его отклика в обоих отсчетах ИХ будет равна. На *рисунке 6* представлена зависимость суммарной амплитуды отклика от первого РЦ в двух соответствующих смежных отсчетах ИХ (18-м и 19-м) от Δt .

При попадании в один дальностный дискрет двух РЦ амплитуда суммарного отклика будет зависеть от расстояния между ними. При этом она может как увеличиться почти в 2 раза, так и уменьшиться практически до нуля. Это явление объясняется принципом интерференции и законом наложения фаз сигналов, отраженных от разных РЦ. Было установлено, что зависимость амплитуды отклика РЦ от Δt носит затухающий периодический характер. Для примера на *рисунке 7* представлена зависимость амплитуды суммарного отклика от двух РЦ в 18-м дискрете ИХ ($\Delta t=120 \text{ нс}$) от временного смещения первого РЦ относительно момента опорного времени Δt_1 . При этом временное смещение второго РЦ оставалось неизменным и составляло $\Delta t_2=0,1227 \text{ мкс}$ ($18,4 \text{ м}$).

В ходе исследований было выяснено, что смещение одного РЦ относительно других также оказывает влияние на амплитуду откликов РЦ, находящихся в других дискретах ИХ. Для при-

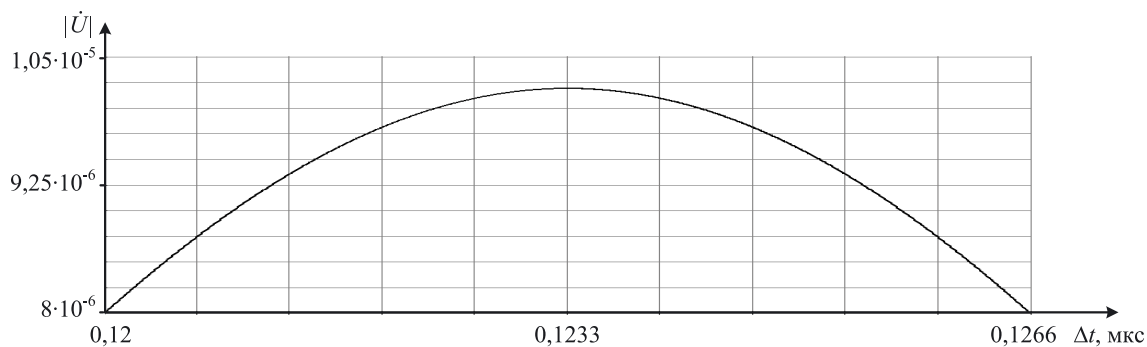


Рис. 6. Суммарная амплитуда отклика от первого РЦ в двух соседних отсчетах ИХ

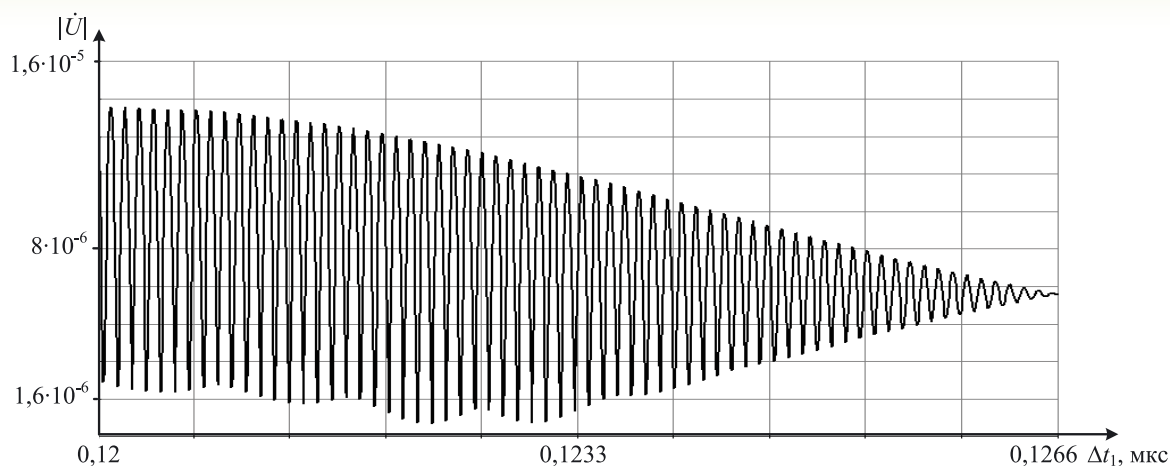


Рис. 7. Зависимость амплитуды суммарного отклика от двух РЦ в одном дискрете

мера на *рисунке 8* показана зависимость амплитуды отклика второго РЦ в 21-м дискрете ИХ (модель ВО представлена на *рисунке 4*) от временного смещения первого РЦ относительно момента опорного времени. Данная зависимость также носит периодический характер.

Исследование зависимости амплитуды отклика третьего РЦ в 30-м дискрете ИХ от Δt_1 показало, что она носит такой же характер (*рисунк 8*), однако диапазон изменения амплитуды отклика значительно уменьшился. На основе сравнения результатов был сделан вывод о зависимости амплитуды отклика РЦ в ИХ от взаимного расположения соседних РЦ: чем дальше расположен РЦ, тем меньшее влияние на колебания амплитуды его отклика оказывает наличие других РЦ. Дополнительные исследования подтвердили данное утверждение.

Таким образом, можно сделать промежуточные выводы:

а) попадание РЦ между дискретами ИХ приводит к ее искажению, выражающемуся в сни-

жении амплитуды отклика от РЦ, распределении амплитуды отклика от одного РЦ на два дискрета ИХ и появлению у отклика своеобразного «пьедестала», распределенного по всей ширине окна ИХ;

б) смещение хотя бы одного РЦ относительно других по дальности приводит к изменению амплитуды их откликов в ИХ, которое носит периодический характер; при этом чем дальше расположены РЦ друг от друга, тем меньшее влияние на колебания амплитуды откликов соседних РЦ они оказывают.

Описанных искажений ИХ можно избежать путем увеличения диапазона перестройки частоты ΔF , которое повлечет за собой повышение разрешающей способности. Например, увеличение ΔF в два раза во столько же раз уменьшит величину дискрета ИХ, а следовательно, и ширину «окна» ИХ при неизменном количестве импульсов в пачке СПЧ (дискретов ИХ). В этом случае для сохранения ширины «окна» ИХ на прежнем уровне необходимо в два раза увеличить количе-

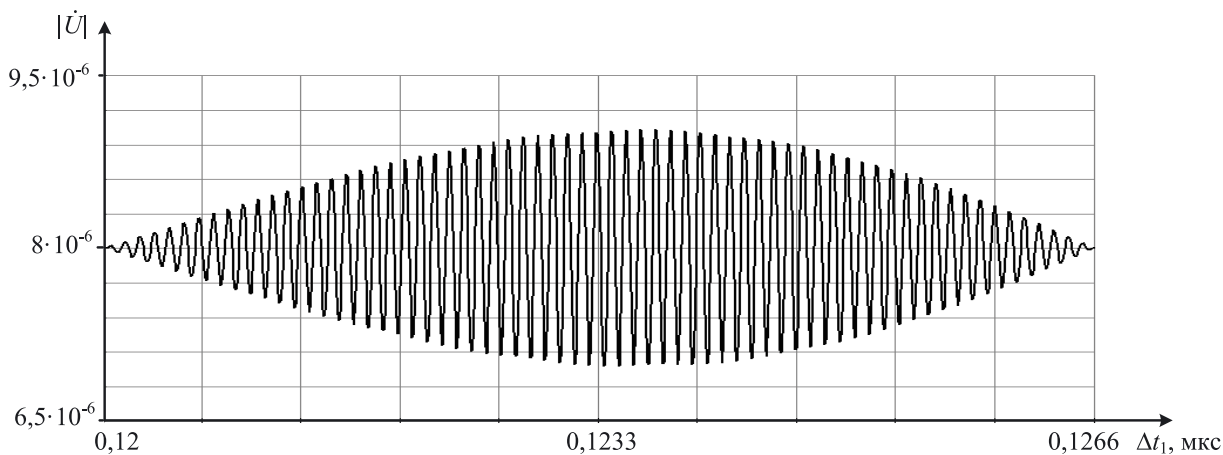


Рис. 8. Зависимость амплитуды отклика второго РЦ от Δt_1

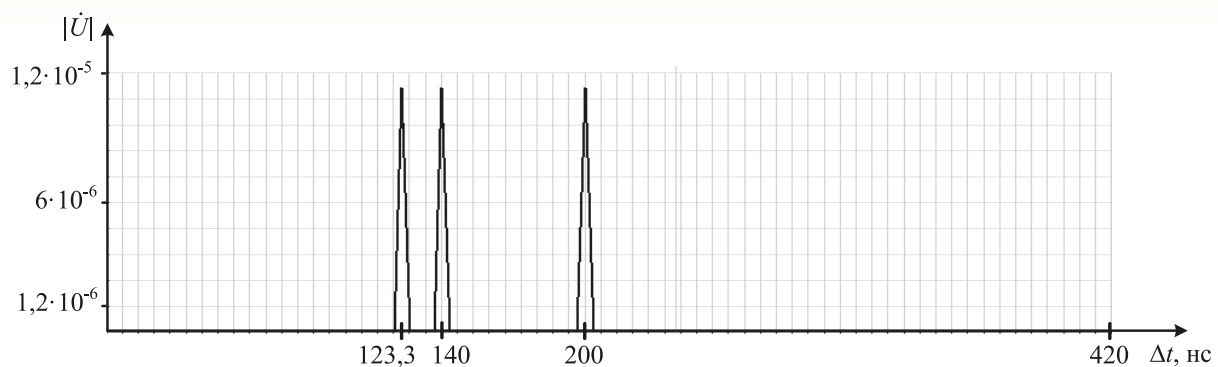


Рис. 9. Устранение искажений ДП при увеличении ΔF и N

ство импульсов в пачке, что приведет к увеличению числа дискретов ИХ. Для примера на рисунке 9 показана ИХ, построенная путем обработки пачки из 128 сигналов с перестройкой частоты ($N=128$) при $\Delta F=300$ МГц, $t_d=100$ мкс для модели ВО, представленной на фрагменте «б» рисунка 4 – $\Delta t_1=123,3$ нс ($\Delta R_1=18,5$ м), $\Delta t_2=140$ нс ($\Delta R_2=21$ м), $\Delta t_3=200$ нс ($\Delta R_3=30$ м).

При использованных параметрах временной сдвиг между моментом опорного времени и откликом первого РЦ стал кратен разрешающей способности. Сравнение рисунков 4 «б» и 10 позволяет сделать вывод о том, что увеличение ΔF и N в данном случае повышает информативность ДП. Негативный «пьедестал» первого РЦ исчез, а амплитуда отклика этого РЦ приняла значение, пропорциональное его ЭПР. Следует отметить что, увеличение количества импульсов пачки в два раза приводит к пропорциональному увеличению амплитуды откликов от РЦ в $\sqrt{2}$ раз. Это объясняется повышением накапливаемой откликами энергии за счет увеличения числа когерентно складываемых импульсов из состава пачки СПЧ.

Для получения наиболее информативной ИХ необходимо максимально увеличивать диапазон перестройки частоты и количество импульсов в

пачке СПЧ. Однако возникают некоторые ограничения. Во-первых, величина диапазона перестройки частоты ограничена возможностями радиотехнической аппаратуры, в частности – техническими характеристиками синтезаторов частот и величиной полосы пропускания приемопередающих антенн и приемных устройств (на практике эта величина не превышает нескольких сотен мегагерц). Во-вторых, увеличение количества импульсов в пачке СПЧ приведет к увеличению ее длительности. Известно, что для пренебрежения рысканиями планера ВО в турбулентной атмосфере и связанным с ними изменением дальности до РЦ длительность одной пачки СПЧ $\Delta T_p=(N-1)T_i$ не должна превышать интервала угловой корреляции ВО $T_{ук}$ [12, 13]. Следовательно, число импульсов в пачке СПЧ должно определяться в следующей последовательности:

- на основе технических характеристик РЛС выбирается допустимый диапазон перестройки частоты ΔF (сотни мегагерц);

- в зависимости от класса сопровождаемых ВО выбирается ширина окна ИХ $\Delta t_{ИХ} \approx 2R_{\parallel}/c$ (для крупноразмерных и среднеразмерных ВО величина R_{\parallel} составляет десятки метров, для малоразмерных – единицы метров);

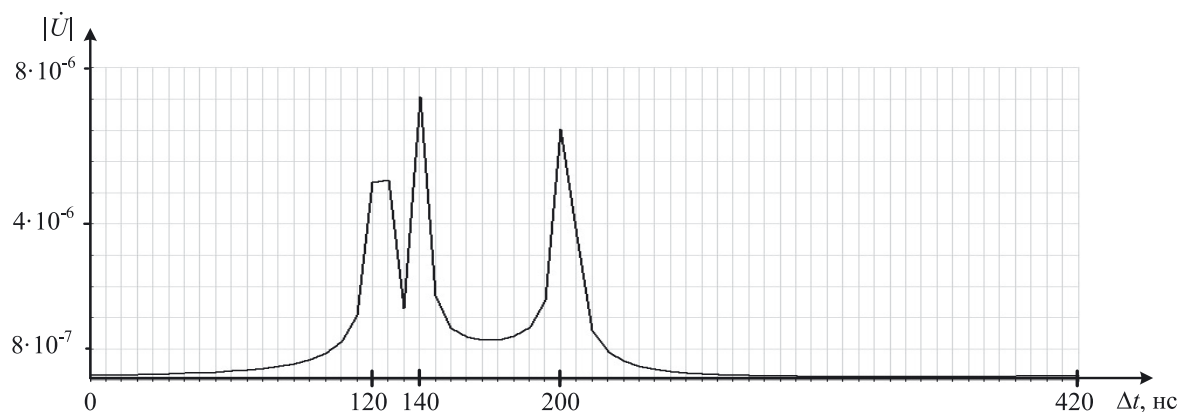


Рис. 10. Вид ИХ ВО при смещении всех РЦ относительно дискретов ИХ

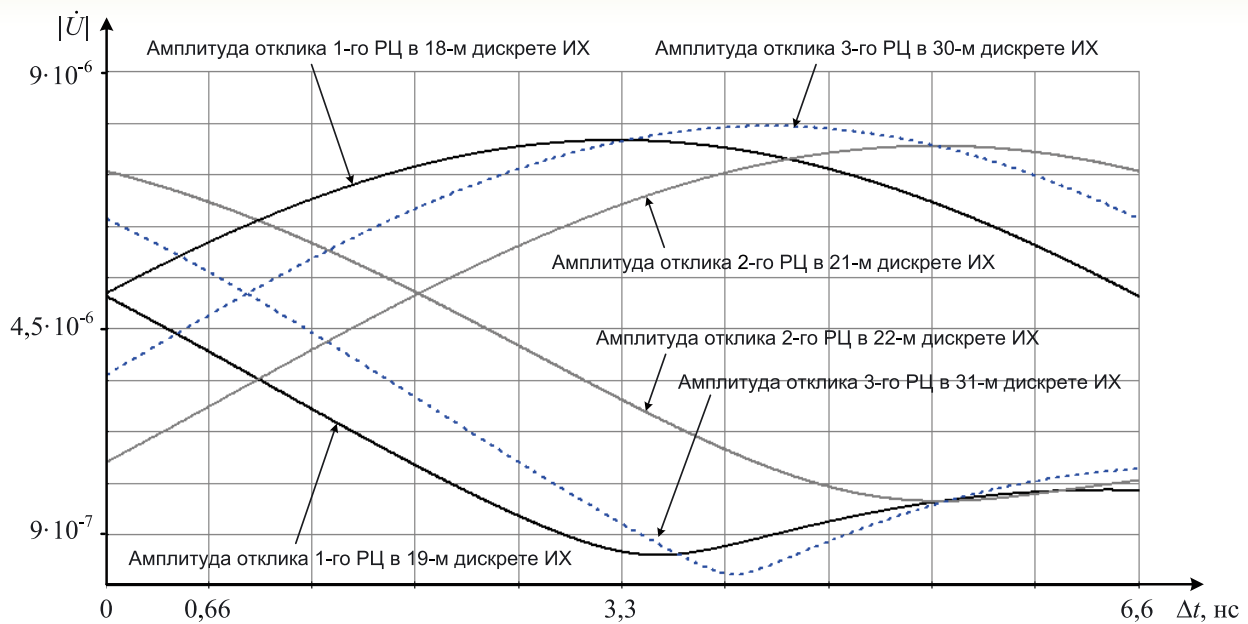


Рис. 11. Изменение амплитуд откликов РЦ в зависимости от их удаленности от исходной точки при перемещении ВО

- в зависимости от типа решаемой РАС задачи выбирается длительность импульсов t_i и скважность Q ;

- число импульсов в пачке N определяется исходя из условия:

$$(\Delta t_{ИХ} \Delta F + 1) < N < [T_{ук}/Q t_i + 1].$$

На практике, при построении ИХ довольно редко наблюдается смещение только одного РЦ по оси времени относительно дискрета ИХ. Как правило, расстояние между РЦ за время построения ИХ не изменяется. Но при движении ВО изменяется временное смещение всех РЦ относительно момента опорного времени. В связи с этим на следующем этапе исследования проводился анализ особенностей построения ИХ при попадании нескольких РЦ между дискретами ИХ. В ходе исследований было установлено, что при попадании откликов от нескольких РЦ между различными отсчетами ИХ характер изменения их амплитуды аналогичен изменениям амплитуды одиночного отклика от РЦ: чем меньше временное смещение отклика РЦ от дискрета ИХ, тем больше его амплитуда. Для примера на рисунке 10 представлена ИХ модели ВО, состоящей из трех РЦ с ЭПР 1 м^2 каждый в условиях отсутствия помех и шумов при $N = 64$, $\Delta F = 150 \text{ МГц}$, $t_d = 100 \text{ мкс}$, $\Delta t_1 = 123,33 \text{ нс}$ ($\Delta R_1 = 18,5 \text{ м}$), $\Delta t_2 = 141,13 \text{ нс}$ ($\Delta R_2 = 21,17 \text{ м}$), $\Delta t_3 = 202,6 \text{ нс}$ ($\Delta R_3 = 30,39 \text{ м}$).

Как и в ИХ *рисунка 4* при попадании РЦ между дискретами отклики от РЦ становятся шире, а их амплитуда – меньше, хотя ЭПР рассеивающих центров не изменялись. При этом у каж-

дого отклика появляются своеобразные «пьедесталы», которые суммируются и распределяются практически по всей ширине окна ИХ. Параметры «пьедесталов» для каждой ситуации уникальны. Закономерным является только их взаимное усиление при совпадении по времени.

На следующем этапе исследований был проведен анализ изменения амплитуд откликов от РЦ при перемещении ВО в радиальном направлении относительно точки опорной дальности. Сделан вывод, что при перемещении ВО ровно на целое число элементов разрешения вид ИХ ВО остается неизменным. Разница заключается лишь во временном положении откликов от РЦ в окне просмотра ИХ. На *рисунке 11* показана зависимость амплитуды откликов РЦ в соседних дискретах от их удаленности от исходной точки (положение ВО в исходной точке представлено на *рисунке 10*) при перемещении ВО на один элемент разрешения (на $6,6 \text{ нс}$).

Анализ *рисунка 11* позволяет сделать вывод о том, что при перемещении ВО на расстояние, соответствующее интервалу между отсчетами ИХ, отклики РЦ плавно «перетекают» из одного дискрета в другой. При этом если истинное положение отклика РЦ окажется строго посередине между дискретами, амплитуда воспроизводимых откликов в смежных дискретах ИХ одинакова. Аналогичная зависимость представлена на *рисунке 5* для случая изменения временного положения отклика от одного РЦ.

На практике расстояния между РЦ ВО и точкой опорной дальности (моментом опорного вре-

мени в ИХ) являются случайными величинами. В связи с этим амплитуды откликов РЦ в ИХ тоже могут изменяться по случайному закону. Амплитуда некоторых из них может характеризовать реальную ЭПР РЦ (при близком расположении отклика от РЦ и отсчета ИХ), а амплитуда других откликов может отражать ЭПР РЦ с некоторой ошибкой (при $N=64$, $\Delta F=150$ МГц эта ошибка может достигать 40% от амплитуды отклика РЦ, полученной при совпадении его временного положения с отсчетом ИХ). Следовательно, для использования ИХ в задачах идентификации ВО, при обучении системы идентификации (нейронной сети) необходимо учитывать указанные искажения ИХ, вызванные несовпадением откликов РЦ и отсчетов ИХ (эти искажения можно назвать *инструментальными*).

На первый взгляд одним из вариантов устранения искажений ИХ, вызванных несовпадением откликов РЦ с отсчетами ИХ, может быть изменение положения момента опорного времени. Это может привести к увеличению амплитуды некоторых откликов РЦ, но при этом отклики от других РЦ напротив могут сместиться в сторону от ближайших дискретов ИХ, что приведет к снижению их амплитуды и искажению ИХ. Поэтому вариант устранения искажений ИХ за счет смещения момента опорного времени целесообразно считать неэффективным.

Поэтому наиболее действенным способом устранения искажений ИХ, вызванных несовпадением откликов РЦ с отсчетами ИХ, следует признать увеличение разрешающей способности за счет увеличения диапазона перестройки частоты и соответствующего пропорционального увеличения количества импульсов в пачке СПЧ. Если использование большого количества импульсов в пачке в конкретной РЛС окажется нереализуемым, можно прибегнуть к известному способу искусственного формирования отсчетов ЧХ за счет так называемого «дополнения выборки нулями» [15].

Таким образом, можно сформулировать следующие итоговые выводы:

- попадание откликов РЦ между дискретами ИХ приводит к ее искажению, выражающемуся в снижении амплитуды откликов, в распределении их амплитуды между двумя смежными дискретами ИХ и в появлении у откликов паразитных «пьедесталов», распределенных по всей ширине окна просмотра ИХ;

- взаимное расположение РЦ оказывает влияние на амплитуды их откликов в ИХ; степень этого влияния снижается с ростом расстояния между РЦ;

- для использования ИХ в задачах идентификации ВО при обучении нейросетевых идентификаторов необходимо учитывать возможные искажения ИХ, вызванные несовпадением откликов РЦ и отсчетов ИХ;

- в качестве наиболее эффективного способа устранения искажений ИХ, вызванных несовпадением откликов РЦ с отсчетами ИХ, целесообразно рекомендовать увеличение разрешающей способности за счет увеличения диапазона перестройки частоты и пропорционального увеличения количества импульсов в пачке.

Литература

1. Защита от радиопомех / Под ред. Максимова М.В. М.: Сов. радио, 1976.
2. Радиолокационные системы многофункциональных самолетов. Т. 1. РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолетов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов / Под ред. Канащенкова А.И. и Меркулова В.И. М.: Радиотехника, 2006. 656 с.
3. Митрофанов Д.Г. Построение двумерного изображения объекта с использованием многочастотного зондирующего сигнала // Измерительная техника, 2001. №2. С. 57-62.
4. Манукьян А. А. Определение координат локальных неоднородностей на поверхности объекта по многочастотной амплитудно-фазовой диаграмме обратного рассеяния при наличии фазовых искажений // Радиотехника и электроника. 1994. Т. 39. №1. С. 81-91.
5. Митрофанов Д.Г., Бортовик В. В. Алгоритмы совершенствования метода построения двумерных радиолокационных изображений // Межвузовский сборник научных трудов «Методы и устройства передачи и обработки информации». Вып. 5. СПб.: Гидрометеиздат. 2004. С. 105-118.
6. Митрофанов Д.Г., Сафонов А.В. Применение вейвлет-анализа для сохранения структуры дальностных портретов воздушных целей при повышении уровня шумов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2005. №9. С. 19-24.
7. Митрофанов Д.Г., Силаев Н.В. Адаптивный многочастотный способ построения радиолокационного изображения флюктуирующей воздушной цели // Радиотехника. 2002. №1. С. 53-60.
8. Кононов А.Ф. Применение томографических методов для получения радиолокационных изображений объектов с помощью сверхширокополосных сигналов // Зарубежная радиоэлектроника. 1991. №1. С. 35-49.
9. Митрофанов Д.Г. Комплексный адаптивный метод построения радиолокационных изображений в системах управления двойного назначения // Теория и системы управления. 2006. №1. С. 101-118.
10. Майоров Д. А., Митрофанов Д. Г., Заикин Д. Р. Аналитическое описание частотной характеристики объекта локации сигналами с перестройкой частоты //

Методы и устройства передачи и обработки информации: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 10. М.: Радиотехника, 2008. С. 154-161.

11. Майоров Д.А., Митрофанов Д.Г. Математическая модель частотной характеристики воздушной цели при перестройке несущей частоты // Приложение к журналу «Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук». Труды 11-й Всероссийской НПК: Актуальные проблемы защиты и безопасности. Т. 4. СПб.: ЦНИТ, 2008. С. 275-280.

12. Майоров Д.А., Савостьянов В.Ю., Митрофанов Д.Г. Измерение радиальной скорости воздушных объектов в режиме перестройки частоты // Измерительная техника, 2008. № 2. С. 43-47.

13. Майоров Д.А., Савостьянов В.Ю., Митрофанов Д.Г. Применение зондирующих сигналов с перестройкой частоты для оценивания радиальной ско-

рости воздушных объектов методом минимума энтропии // Электромагнитные волны и электронные системы, 2007. №9. С. 54-60.

14. Патент РФ № 2326402 Российская Федерация, МПК G01S. Способ измерения радиальной скорости воздушной цели в режиме перестройки частоты от импульса к импульсу / Савостьянов В. Ю., Майоров Д. А., Митрофанов Д. Г., Прохоркин А. Г. Опубл. 10.06.08.

15. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. О.И. Хабарова. М.: Мир, 1990. 584 с.

16. Митрофанов Д.Г., Прохоркин А.Г., Перехожев В.А., Иванушкин С.В., Бортовик В.В., Майоров Д.А. Установление закона поворота планера летательного аппарата по амплитудно-фазовым характеристикам радиолокационных отражений // Известия Института инженерной физики, 2012. №4(26). С. 26-33.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 338

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ФИНАНСИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Алексей Александрович Александров

старший преподаватель

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)

Адрес: 125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4

Тел.: +7 (916) 661 85 71

E-mail: alexey_alexanderov@mail.ru

Рассмотрены экономические аспекты инвестиционной политики предприятия для развития эффективной прибыльной инновационной деятельности.

In this article economic aspects of investment policy of the enterprise for development of effective profitable innovative activity are considered.

Ключевые слова: инновационная деятельность, финансирование, инвестиции, экономическая эффективность.

Key words: innovation activity, financing, investment, economic efficiency.

Порядок функционирования финансовой инновационной деятельности состоит из зависимых элементов с иерархической связью и особенными функциональными качествами и включает: политику правил и процессов вложения авансированного капитала; источники получения инвестиционных капиталов для реализации инновационной деятельности; структуру надзора над инвестициями; механизм реверсивности привлеченных в инновационные процессы финансов.

Субъектами финансовой концепции, включающей инновационную деятельность, являются денежные источники поступления финансовых средств, приводимые в циркуляцию инструментами их накопления и вложения в инновационные программы и проекты, а также инструменты, содержащие управление над расходованием инвестиций, их критерии результативности расходования привлеченного в инновационную деятельность финансирования.

Характерными признаками формирования финансовых вложений в инновационную деятельность, кроме ее целевой направленности, являются разнообразие источников финансирования, которые обеспечивают полноту финансирования различных течений инновационного развития и различных его элементов, а также умение адаптироваться к активно меняющимся

обстоятельствам конкурентной сферы с целью наибольшей производительности применения экономических ресурсов. Подъем экономической эффективности от осуществления инновационных целей проекта представляет собой важнейшую деятельность, в базе которой формируются окончательные итоги инновационной работы и результативность экономической политики. Суть экономического обеспечения отображается в многофункциональных направлениях влияния финансовой среды на инновационную.

Воспроизводственная роль экономического обеспечения осуществляет правило сбалансированности экономических и материальных средств на всех стадиях циркуляции денежных средств в ходе его стандартного и наращенного воспроизводства. Воспроизводственная роль экономического обеспечения выражается в циркуляции инновационных вложений.

Денежные средства опосредуют перемещение инновационного капитала на этапах циркуляции инновационных вложений: увеличение числа капитальной недвижимости; получение научно-технических товаров; производственная, товарная и валютная стадия циркуляции инновационных средств. Подобным способом экономические средства повышают либо тормозят быстроту перехода вложений в разные

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

области инновационной работы в зависимости от сформировавшегося в инновационном рынке делового состояния.

Дистрибутивная роль экономического обеспечения состоит в развитии и применении запасов валютных ресурсов с целью поддержки результативного использования материальных средств финансовой и кредитной политической деятельности страны на макро- и микро- уровнях, а также необходимости в денежных ресурсах элементов инновационной деятельности. В государствах с капиталистической экономикой получение инновационных денежных средств происходит в корпорациях венчурного финансирования и в иных многоцелевых экономических организациях.

Основная роль состоит в прогнозировании экономической оценки реального валютного оборота инновационной области и реализуется в характере контролирования за критериями формирования инноваций, их финансирования, за переменной экономического потенциала и показателем расчетов инновационной компании.

Новаторскую работу, обусловленную перемещением валютных денежных средств, рискованную по задачам и форме проявления, можно охарактеризовать следующим способом: во-первых, новаторская работа характеризуется промежуточным лагом от периода инвестиции денежных средств в инновации вплоть до момента извлечения финансовой выгоды от них; во-вторых, в новаторской разработке имеется угроза утраты инвестиционных денежных средств из-за непредвиденности итогов креативного хода мысли в силу допустимой ошибочности задумки, находившейся в начале зарождения новаторского проекта; в-третьих, изменчивость и многообразие субъектов инвестирования приводит к разнообразным методам и форматам получения финансовых средств; в-четвертых, трудность технического исполнения инновационного проекта из-за возможной непредсказуемой реакции рынка на появление новинки.

В существующих обстоятельствах, результативной конфигурацией осуществления новаторской работы считается управление капиталом, вложенным в новинки, с оценкой особенностей прохождения инновационного процесса.

Характерной чертой инновационной деятельности является формирование требований для обоюдного взаимодействия инвестиционных и инновационных циклов в ходе создания

нововведений с целью минимизации размеров вкладываемых ресурсов для наилучшего применения инвестиционных средств и уменьшения длительности этих циклов, а также достижения коммерческого результата от осуществления новаторской работы.

Инновационная деятельность обычно подразумевает очередность инвестиций, а никак не синхронное вложение во все стадии жизненного цикла инноваций сразу.

Одновременно периоды потерь коммерческого эффекта новаций сопряжены с перерывами в финансировании, которые подчас носят продолжительный характер, и возможностью изменения специализации будущих производств.

В основе концепции совмещения инвестиционного и инновационного циклов является утверждение: нововведение есть результат работы. В любой независимый период инновационного цикла возможно появление конкретного результата, способного преобразоваться в самостоятельный продукт. Результат определенного периода инновационного цикла в состоянии постоянной цепочки преобразований представляет собой отношение к конечному инновационному товару, лишь как его промежуточная форма.

Критерии производительности инновационной работы обязательно должны быть включены в основу выбора оптимальных факторов инвестиционной политики. Главный аспект эффективности - степень доходов, оставшихся в распоряжении инновационной компании.

Литература

1. Балдин К.В., Передеряев И.И., Голов Р.С. Инвестиции в инновации: Учебное пособие. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2009.
2. Крылов Э.И. Власова В.М., Журавкова И.В. Анализ эффективности инвестиционной и инновационной деятельности предприятия: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2003.
3. Первушин В.А. Проблемы управления инновационным развитием предприятия // Интеллектуальная собственность. 2005.
4. Ивасенко А.Г., Никонова Я.И. Инвестиции: источники и методы финансирования. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Омега-Л, 2009.
5. Фомина Н. Е. Инновационно-инвестиционный цикл промышленности / Н.Е. Фомина, А.В. Терентьев // Вопросы экономики и права, 2012. №3. С. 148-152.
6. Александров А.А. Симплификация аспектов для финансового обеспечения инновационного развития предприятия // Известия Института инженерной физики, 2014. №1(31). С. 80-85.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 65.014

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКИХ ВУЗОВ

Николай Михайлович Емелин

*заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор*

заместитель директора ФГБНУ «Госметодцентр»
по научной работе

Адрес: 115998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51

Тел.: +7(499)706-81-25

Ольга Владимировна Голодкова

заместитель начальника отдела

ФГБНУ «Госметодцентр»

Адрес: 115998, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 51

Тел.: +7(499)706-81-27

Виктор Васильевич Блаженков

*заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор*

ведущий научный сотрудник

ФГБНУ «Госметодцентр»

Адрес: 117997, Москва, ул. Люсиновская, д. 51

Тел.: +7(499)706-81-25

Систематизированы данные по инновационной активности вузов. Проведена статистическая обработка систематизированных данных методом кластерного анализа с помощью специализированного программного пакета «Statistica». Предложенная методика и подробно рассмотренный пример показывают, что подобным способом можно получить реальную классификацию большого числа организаций на основе множественного набора показателей, в совокупности всесторонне характеризующих качество их работы в той или иной области.

Data on innovative activity of universities were systematized. Statistical processing of systematic data by cluster analysis method was carried out with the help of specialized software package «Statistica». The proposed methodology and examined in detail example show that using a similar method is possible to get a real classification of a large number of organizations based on a multiple set of indicators, which in aggregate fully characterize the quality of the organization's work in a particular area.

Ключевые слова: кластеризация, инновации, образование, наука, статистика.

Key words: clustering, innovation, education, science, statistics.

Одним из направлений реализации Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года является политика в сфере государственных закупок - в части создания необходимых инструментов и процедур, дающих возможность государственным заказчикам закупать инновационную продукцию, а государству в целом стимулировать за счет государственных закупок создание такой инновационной продукции.

Для стимулирования участия в закупках инновационных товаров, работ и услуг, а также в целях обеспечения информационной открытости и единства экономического пространства, развития добросовестной конкуренции, создания условий для своевременного и полно-

го удовлетворения потребностей юридических лиц-заказчиков инновационной продукции, определенных в части 2 статьи 1 Федерального закона №223-ФЗ от 18.07.2011, был разработан сетевой информационный ресурс www.innovedu.ru и организован сбор информации о выпускаемых высшими учебными заведениями инновационных товарах, работах и услугах, позволивший систематизировать инновационные разработки вузов по различным направлениям с помощью методов кластерного анализа.

За последние годы при рассмотрении вопросов экономического развития возрос интерес к концепции кластеров и кластерному подходу [1, 2]. Кластер-анализ превратился из одного из разделов анализа данных в отдельное на-

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

правление, напрямую связанное и с системами поддержки знаний, и с системами принятия решений, и структурированием деятельности и в производстве, и в науке и образовании, выводя их на новый уровень эффективности. По своему потенциалу и структуре кластерная политика является именно тем комплексом мероприятий, который может способствовать решению главной задачи: повышению конкурентоспособности российской экономики через развитие конкурентных рынков, повышение инновационности различных отраслей экономики, ускоренное развитие малого и среднего бизнеса, стимулирование инициативы на местах и активизацию взаимодействия между государством, бизнесом и научным сообществом.

Анализ инновационной деятельности вузов показал [3, 4, 5], что основная доля инновационной продукции, выпускаемой российскими вузами, приходится на продуктовые инновации (69,3%). К ним относятся всевозможное оборудование, установки, приборы, устройства, материалы, а также образовательные программы, продукты программного обеспечения.

Остальную инновационную продукцию можно отнести к процессной (22,2%): технологии; рецептуры; способы; методики и к организационной (8,5%): организационные услуги; технологии организации образовательных процессов; научно-техническое сопровождение; консалтинговые услуги; проведение экспертиз.

Более 50% инновационных разработок внедрены в производственные процессы региональных организаций, в учебные процессы высших учебных заведений. Около 5% находятся в стадии коммерциализации, проведения переговоров с потенциальными потребителями.

По отношению к критическим технологиям большая доля инновационной продукции приходится на нанотехнологии и наноматериалы (13,1%), технологии обработки, хранения, передачи и защиты информации (12,7%), технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии (8,5%), базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии (8,1%).

По отношению к приоритетным направлениям основная доля инновационной продукции, производимой структурными подразделениями вузов и малыми инновационными предприятиями, относится к информационно-телекоммуникационным системам (22,9%), энергетике и энергосбережению (18,2%), рациональному природопользованию (17,4%) и индустрии наносистем (16,5%).

Одним из немаловажных факторов оценки инновационной продукции является наличие интеллектуальной собственности.

Около 50% производителей инновационной продукции, действующих на базе российских вузов, указали на наличие интеллектуальной собственности, около 3% находятся в стадии подготовки, оформления, подачи и рассмотрения заявок в Роспатент. Большинство инновационных результатов, представленных вузами, защищено патентами, есть также ноу-хау и объекты авторского права.

Данные, представленные 113 вузами об их инновационной активности, были систематизированы по 9 рубрикам (показателям): количество производителей инноваций; количество инноваций; количество инноваций продуктового типа; количество инноваций процессного типа; количество инноваций организационного типа; количество приоритетных направлений; количество критических технологий; количество внедренных инноваций; количество подтверждающих свидетельств (ОИС).

Для сравнимости и соизмеримости показателей в процессе статистического анализа исходных данных все эти количественные характеристики, представленные в отчетах в абсолютных единицах, центрированы и нормированы по формулам

$$x_i = \frac{X_i - X_{cp}}{s},$$

где X_i – один из 9 показателей, перечисленных выше, для i -го вуза,

$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ – среднее по всем n вузам значение того же показателя,

$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2}{n-1}}$ – несмещенная оценка среднеквадратического отклонения (СКО) того же показателя по выборке из всех n вузов, т.е. мера разброса показателя,

x_i – центрированное и нормированное значение показателя для i -го вуза.

Далее информация была подвергнута статистической обработке методом кластерного анализа с помощью специализированного программного пакета “Statistica” (10-й версии) фирмы “Statsoft” [6]. На первом этапе была построена дендрограмма (рисунк 1) поэтапного укрупнения кластеров (групп вузов) путем их объединения методом Варда, одним из самых эффективных, обобщающим классический метод «наименьших квадратов», давно и широко применяемый в статистике.

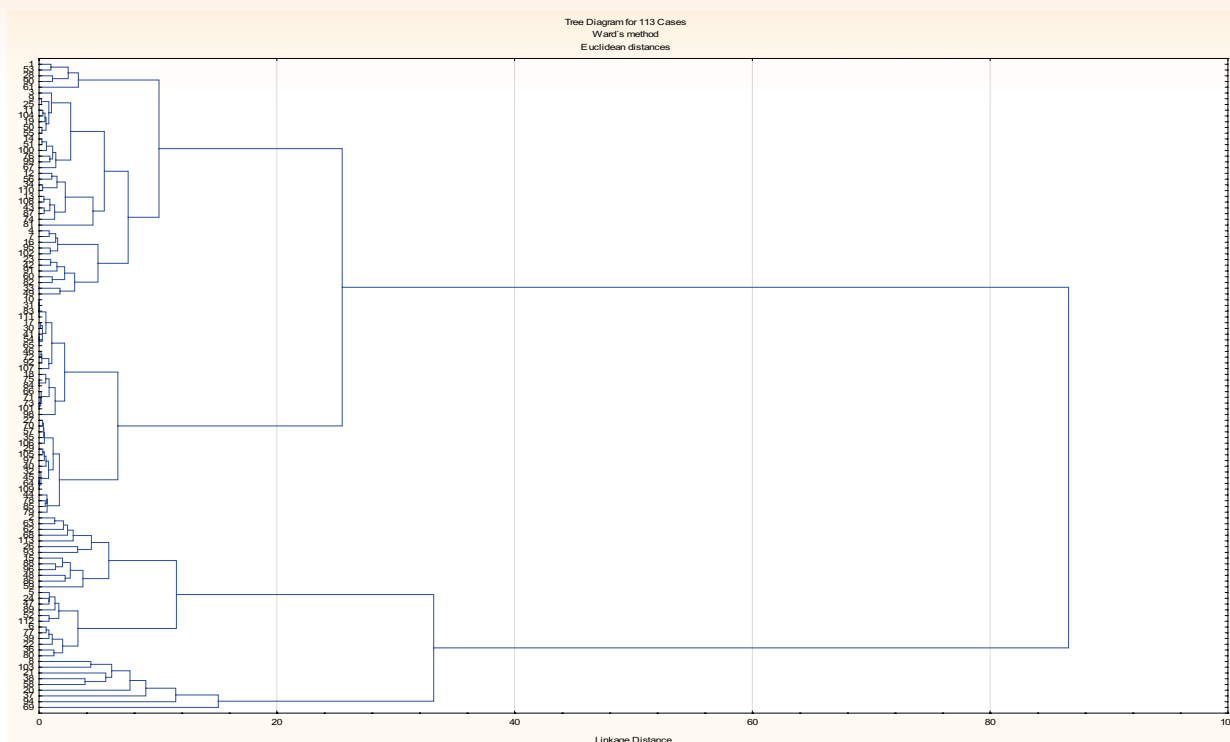


Рис. 1. Дендрограмма кластеризации вузов методом Варда

Дендрограмма позволяет визуально выбрать промежуточную ситуацию, когда число кластеров уже не слишком велико, но еще достаточно информативно для оценки деятельности каждой группы с целью эффективного управления анализируемым процессом.

На вертикальной оси представлены номера вузов, на горизонтальной оси отложено значение критерия Варда, т.е. сумма квадратов расстояний всех вузов, входящих в данный кластер, от среднего значения для кластера.

После исследования дендрограммы в качестве окончательного был выбран четырехкластерный вариант, который далее и описывается. Более мелкая индивидуальная градация (в левой части дендрограммы) не представляет практического интереса для целей управления инновационным процессом. Более крупная градация (два или один кластер в правой части дендрограммы) мало информативна.

Четыре кластера включают в себя: кластер 1 – 9 вузов (8%); кластер 2 – 25 вузов (22%); кластер 3 – 38 вузов (34%); кластер 4 – 41 вуз (36%). Заметим, что номера вузов внутри кластера не имеют смысла какого-либо ранжирования.

На втором этапе был повторно проведен кластерный анализ методом К-средних, который более информативен, чем дендрограмма, но требует априорного задания числа кластеров. Была получена более детальная информация: прежде

всего, это расстояния между кластерами (в единицах СКО – среднеквадратических отклонений). Если бы эти расстояния оказались слишком малыми, это означало бы искусственность классификации, ее некритичность. В нашем случае полученные расстояния приведены ниже диагонали в *таблице 1*.

Таблица 1
Расстояние между кластерами

№№ кла- стеров	Евклидово расстояние между средними оценками каждого кластера			
1	0.000000	12.30665	3.078704	6.034246
2	3.508084	0.00000	9.748478	9.268778
3	1.754624	3.12226	0.000000	0.894596
4	2.456470	3.04447	0.945831	0.000000

Из нее следует, что кластеры существенно различаются между собой, что подтверждает объективность принятой группировки вузов. Даже ближайшие между собой 4-й и 3-й кластеры отличаются практически на целое СКО, остальные различаются существенно больше.

Выше диагонали в этой таблице приведены квадраты этих расстояний, которые используются в методе Варда.

На следующем графике (*рисунок 2*) показаны средние показатели по всем 9 параметрам для каждого кластера.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

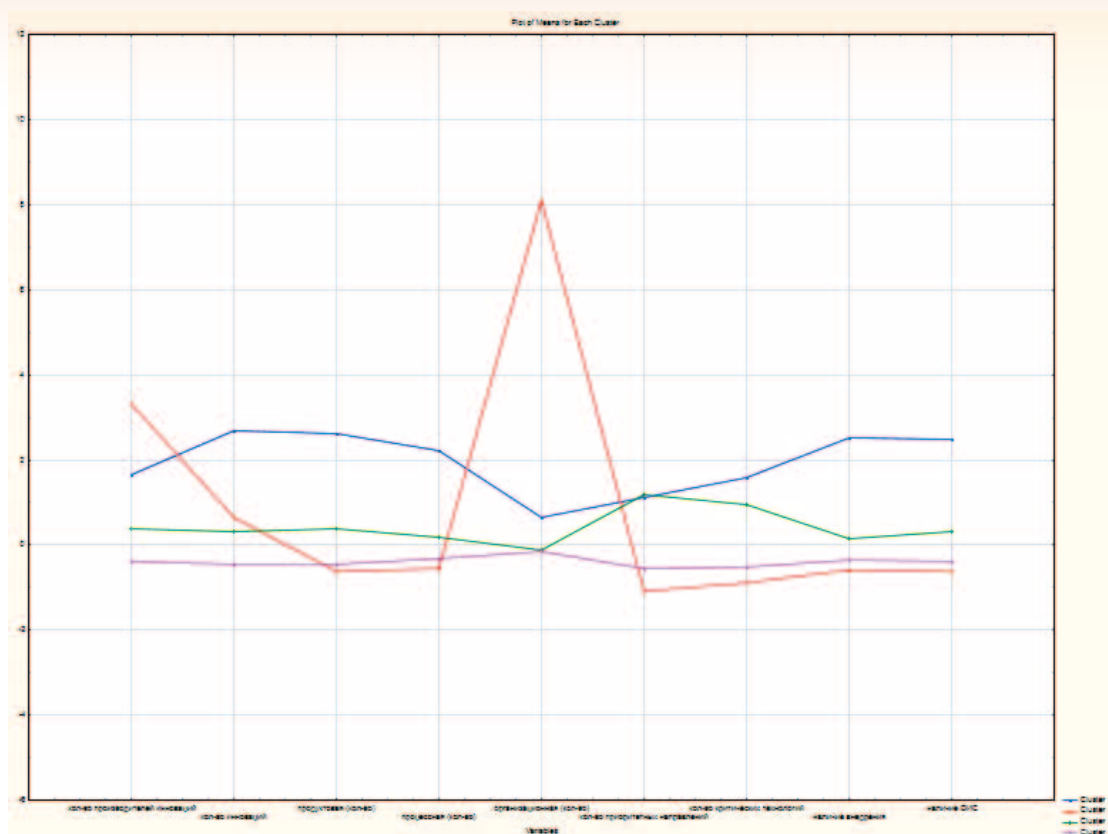


Рис. 2. Графики показателей каждого из 4-х кластеров

Четко видно, что каждая из четырех групп вузов отличается по уровню инновационной работы: синим цветом выделена первая группа, имеющая лучшие показатели по всем критериям; зеленым – вторая группа, имеющая несколько более низкие, но все же положительные, т.е.

выше среднего значения; лиловым – третья группа, имеющая еще более слабые, близкие к нулю, т.е. средние, значения.

Красным же цветом показан график четвертой группы вузов, имеющих самые низкие показатели почти по всем параметрам, среди кото-

Таблица 2
Показатели каждого кластера

Переменные (Показатели)	1-й кластер (синий график)	4-й кластер (красный график)	2-й кластер (зеленый график)	3-й кластер (лиловый график)
Кол-во производителей инноваций	1.650464	3.31193	0.385587	0.384032
Кол-во инноваций	2.688101	0.65530	0.320146	-0.450831
Кол-во продуктовых инноваций	2.623361	-0.62519	0.391812	-0.452744
Кол-во процессных инноваций	2.228947	-0.54704	0.179661	-0.327253
Кол-во организационных инноваций	0.649130	8.10109	-0.121488	-0.140555
Кол-во приоритетных направлений	1.100450	-1.09298	1.166735	-0.553062
Кол-во критических технологий	1.580839	-0.89361	0.947700	-0.531594
Кол-во внедренных инноваций	2.512277	-0.57077	0.147137	-0.348794
Кол-во ОИС	2.479092	-0.62525	0.305410	-0.403174

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

рых выделяется аномально высокий уровень инноваций в организационной области (он равен 8, в то время как лучшие по всем показателям вузы имеют этот показатель на уровне единицы, а остальные две группы на уровне нуля).

Разница более чем на 7 СКО статистически неправдоподобна. Это заставляет критически подойти к отчетам таких вузов. Завышенное количество организационных инноваций привело к завышению и первых двух показателей: общее число производителей инноваций и общее количество инноваций. Тем более, что высокий уровень этих показателей противоречит низким показателям по внедрению инноваций и по наличию свидетельств.

Графики можно количественно дополнить данными *таблицы 2*, в которой приведены показатели для каждого кластера по всем 9 рубрикам (показателям) инновационного процесса.

Таким образом, предложенная методика и рассмотренный пример показывают, что подобным способом можно получить реальную классификацию большого числа организаций на основе множественного набора показателей (в рассмотренном примере – 9 показателей), в совокупности всесторонне характеризующих качество их работы в той или иной области. Кластеризация на четыре группы – передовую, хорошую, среднюю и аномальную, – позволяет выя-

вить инновационно-инвестиционную привлекательность направлений и отраслей развития науки и образования, объективно и целенаправленно применять средства управления, поддержки и помощи с целью повышения эффективности работы по этим направлениям.

Литература

1. Умников В.Н., Заводчикова М.Г., Царьков А.Н. Современная кластеризация как комплементарно развивающийся управляемый системно-инновационный социально-экономический процесс // Известия Института инженерной физики, 2013. №2(28) С. 89-94.
2. Умников В.Н., Царьков А.Н., Заводчикова М.Г. Кластеризация – синергетический модернизационный процесс // Известия Института инженерной физики, 2013. №1(27). С. 93-96.
3. Емелин Н.М., Володина Е.Д., Голодкова О.В. Систематизация инноваций в образовательной деятельности // Известия Института инженерной физики, 2014. №1(31). С. 86-89.
4. Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н., Мелихов В.О. Каталог научно-образовательных центров национальной нанотехнологической сети. М.: Российские нанотехнологии, 2011. Том 6. №7-8.
5. Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н., Володина Е.Д. Каталог малых инновационных предприятий российских вузов в сфере нанотехнологий. М.: Российские нанотехнологии, 2012. Том 7. №3-4.
6. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2003. 688 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 37.0

ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ПРЕДМЕТ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ СООТНОШЕНИЯ

Николай Иванович Котов

заслуженный работник
высшей школы РСФСР,
кандидат 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: naviserp@gmail.com

Валентина Васильевна Котова

младший научный сотрудник
филиал ВА РВСН имени Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(962)905-94-17
E-mail: exus201@mail.ru

В статье рассмотрены такие категории методологии научных исследований как объект, цель и предмет. Показано, что определяя объект, следует дать ответ на вопрос: что рассматривается? Предмет же обозначает аспект рассмотрения. Соотношение объекта и предмета исследования базируется на принципах системности и целостности. Приведены примеры формулировок рассматриваемых категорий для кандидатских и докторских диссертаций и их анализ.

The article we considered methodologies category of science research, such as object, purpose and subject. Subject is a consideration aspect. In this paper shows that a ratio between object and subject of research to bases of the systemacity and integrity principal. We demonstrate formulation example science category for candidate and doctoral dissertation and their analysis.

Ключевые слова: объект, цель, предмет, системность.
Key words: object, purpose, subject, systemacity.

Введение

Для повышения эффективности научных исследований в педагогике, как и в любом другом виде деятельности, необходимо на ранней стадии определять для себя объект, предмет и цель исследования. В дальнейшем эти категории могут уточняться и даже изменяться, но начинать исследования просто так, «обо всем», не имеет смысла. При этом необходимо руководствоваться научно-обоснованными положениями (методологией) применительно к конкретной предметной области, в частности методологией педагогических наук.

Методология [1, 3, 4] образуется той частью науки, которая представляет собой учение о способах системного познания окружающего мира, и в этом смысле представляет науку о науке данной предметной области. Как система знаний, методология обеспечивает анализ имеющихся и возникающих методов и теорий предметных наук, выявление закономерностей их построения и разработку методологических выво-

дов и рекомендаций по развитию методов и теорий соответствующей предметной области, а также по их практическому использованию. Исследователь (разработчик) для достижения поставленных целей, руководствуясь методологией, которая может включать как ранее известные элементы, так и вновь предлагаемые, и, как правило, сочетая процессы исследования с процессами разработки, добивается той или иной организации знаний в виде совокупности избираемых известных, а также вновь предлагаемых элементов научно-методического аппарата. Совокупность таких элементов, приобретающая (в их логической взаимосвязи и взаимообусловленности) в простейшем случае форму частного либо более или менее общего метода решения конкретной научной задачи, а в более сложных случаях – форму теории, выступают в качестве инструмента, с помощью которого выполняется исследование (разработка), а конкретный способ проведения исследования (разработки) находит выражение в той или иной методике.

Методика исследования (разработки) представляет собой выбранную исследователем (разработчиком) совокупность взаимосвязанных элементов (методов, приемов, операций, средств, более элементарных методик) известного и предлагаемого научно-методического аппарата, применяемых в определенной логической последовательности в ходе проведения исследования (разработки) или его составной части, имеющей относительно самостоятельное значение (например, методика эксперимента), для решения конкретной научной задачи или научной проблемы.

Таким образом, методология как частная система знаний, возникающая на методологических стадиях познания, является в существенной степени (и это отражено в ее названии, происшедшем от «метод» и «логия») учением о методах (и теориях), возникающих на соответствующих ступенях познания

Наиболее важные составляющие этапы методологии [1, 4]:

- выявление объекта, цели и предмета исследования;
- постановка научной задачи или проблемы (именно здесь чаще всего совершаются методологические ошибки, приводящие, например, к выдвижению псевдопроблем, что существенно затрудняет получение результата);
- построение путем сочетания известных элементов научно-методического аппарата и/или создания новых элементов, пополняющих научно-методический аппарат науки, метода (или теории) решения рассматриваемой научной задачи (проблемы) и оценка его применимости;
- решение проблемы выбора между конкурирующими методами и теориями, поиск критерия истинной теории;
- анализ обоснованности и оценка достоверности получаемых результатов и выводов;
- оценка научно-технического уровня и значимости получаемых научных результатов.

Другими словами, методология формирует представление о последовательности движения исследователя в процессе решения научной задачи (проблемы): дает научное обоснование основных компонентов проводимого научного исследования – его объекта и предмета, методы анализа специфических особенностей задач (проблем) исследования, методы формирования совокупности исследовательских средств, необходимых для решения задачи (проблемы) заданного типа и проверки их применимости.

Целью данной статьи является раскрытие понятий таких составляющих методологии педагогики, как объект, цель и предмет исследования.

Основные понятия и определения

Следует отметить, что не существует единственно установленного строгого определения рассматриваемым категориям. Мы ограничимся общими определениями, приведенными в некоторых источниках.

Объект исследования [1] – это вполне определенная часть познаваемой предметной области (процесс, явление и т.п.), изучение которой является целью исследования.

Предмет исследования – та сторона объекта, которая рассматривается в данном исследовании.

В качестве **объекта** исследования выступают связи, отношения, свойства реального объекта, которые включены в процесс познания. **Объект** исследования [5] – это определенная совокупность свойств и отношений, которая существует независимо от познающего, но отражается им, служит конкретным полем поиска. Это делает объект научного познания некоторым единством объективного и субъективного.

Предмет – это соответствующие свойства и отношения объекта в научном исследовании, которые входят в состав процесса практической деятельности. В **предмете** исследования фиксируется то свойство или отношение в объекте, которое в данном случае подлежит глубокому специальному изучению. В одном и том же объекте могут быть выделены различные предметы исследования. В предмет включаются только те элементы, связи и отношения объекта, которые подлежат изучению в данной работе. Поэтому определение предмета исследования означает и установление границ поиска, и предположение о наиболее существенных в плане поставленной проблемы связях, и допущение возможности их временного вычленения и объединения в одну систему. В предмете в концентрированном виде заключены направления поиска, важнейшие задачи, возможности их решения соответствующими средствами и методами.

Объект научного исследования [2] – это часть объективной действительности, которая становится элементом практической и теоретической деятельности человека на данном этапе.

Предмет исследования – это своего рода ракурс, точка обозрения, позволяющая видеть специально выделенные отдельные стороны, связи изучаемого. Это определенный аспект изучения объекта. Чаще всего выделяют в качестве предмета целевой, содержательный, операционный, личностно-мотивационный и организационный аспекты.

Отметим, что в приведенных определениях объект не понимается в качестве материально-

го объекта, что можно часто видеть в некоторых научных работах, а представляет собой процесс или явление. Это хорошо прокомментировано в работе [5] «Объект исследования в педагогике и психологии – это некий процесс, некоторое явление, которое существует независимо от субъекта познания и на которое обращено внимание исследователя, например, на процесс развития субъектов воспитывающих отношений, на процесс становления новой образовательной системы, на эффективность определенной технологии. Вот почему не совсем корректно называть объектом исследования, например, начальную школу или подростковые клубы. Это не объект, а либо конкретная база, либо достаточно широкая сфера, далеко не все элементы которой подлежат изучению в данной работе».

Подводя итоги приведенным определениям, можно отметить, что, определяя объект, следует дать ответ на вопрос: что рассматривается? Предмет же обозначает аспект рассмотрения. Следует обязательно обратить внимание на то, что предмет ни в коем случае не предназначен для конкретизации объекта и тем более его «сужения». Предмет – это та сторона, с которой рассматривают объект.

Соотношение объекта и предмета исследования

Соотношение объекта и предмета исследования ни в коем случае не может рассматриваться как соотношение общего и частного. Это соотношение базируется на принципах системности и целостности, обеспечивающих предварительное всестороннее рассмотрение объекта и его связей, выделение интересующего нас аспекта, проведение исследований в требуемом объеме и заключительный анализ новых свойств объекта с учетом полученных результатов исследований.

Четкая логическая связь должна прослеживаться не только между объектом и предметом исследования, эта связь должна распространяться и на такие понятия, как тема, цель, научная задача (проблема) исследования [8]. При этом необходимо понимать, что формулировка темы научной работы несет на себе больше литературную нагрузку, чем научную.

Очень важно! Все названные компоненты рассматриваются в комплексе!

При работе над диссертациями выбранный объект исследований определяет специальность, по которой выполняется диссертация. Целесообразно, чтобы формулировка объекта и предмета совпадали с общими формулировками формулы специальности и областями исследований, приведенными в соответствующем па-

спорте специальности, применительно конкретным решаемым задачам. Для объекта формируется прагматическая цель в виде предложений совершенствования одного или нескольких показателей рассматриваемого процесса. Предмет исследования должен определять научную задачу, решение которой обеспечит достижение прагматической цели.

При формировании объекта и предмета исследования приходится выбирать рациональное решение по определению «масштабности» их представления. С одной стороны – чем «масштабнее» объект, тем проще обосновывать актуальность его совершенствования. С другой стороны – предмет должен своей «масштабностью» соответствовать объекту, что сильно усложнит проводимые исследования для получения соответствующих научных результатов. При «масштабном» объекте усложняется задача оценки практического эффекта, который обеспечивается полученными в ходе исследований научными результатами.

Целесообразно, приступая к исследованиям, конкретизировать в сторону сужения объект исследования, заблаговременно прогнозируя возможные результаты и возможность сравнения их с известными. Тем самым можно формулировать цель исследований, их актуальность и предполагаемый эффект от внедрения.

Приведем несколько примеров для специальности «Общая педагогика, история педагогики и образования» (шифр специальности 13.00.01).

Автор докторской диссертации [8] «Дидактическая подготовка студентов в учебном процессе педвуза» на основе анализа большого объема различного материала определяет проблему исследования как разработку концепции теории и практики дидактической подготовки студентов индустриально-педагогических факультетов педвузов. Основная цель заключается в выявлении главных факторов, тенденций, условий и способов совершенствования деятельности педагогического вуза по дидактической подготовке будущего учителя трудового обучения. Кроме этого, диссертант ставит цель разработать модель процесса эффективной дидактической подготовки педагогических кадров, разработать пути ее внедрения в учебный процесс индустриально-педагогического факультета. Объектом исследования объявляется учебный процесс вуза, а предметом – организационные, теоретико-методологические, психологические и профессионально-педагогические средства, методы и условия, обеспечивающие дидактическую подготовку будущих учителей.

В данной работе четко прослеживается связь между проблемой, целью, объектом и предме-

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

том исследования. В качестве предмета выделен аспект объекта, обусловленный целью исследования. Созданная на основе теоретических исследований модель процесса дидактической подготовки педагогических кадров с обоснованием конкретных путей ее внедрения позволяет объективно оценить степень совершенствования учебного процесса.

В теме кандидатской диссертации [6] «Особенности подготовки педагогических кадров в университете», актуальность которой обусловлена историческим процессом коренного изменения целей, содержания и методов подготовки педагогических кадров с университетским образованием и выходом высшего образования на качественно новый уровень целью исследования является системный анализ проблемы подготовки педагогических кадров с университетским образованием. Объект исследования – учебно-воспитательный процесс в педагогической системе «Университет». Предмет исследования – подготовка педагогических кадров с университетским образованием (на примере Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева).

В данной работе объект и предмет выбраны, на наш взгляд, формально:

- во-первых, в кандидатской диссертации объект совпадает с объектом исследований докторской диссертации, что требует от кандидатской диссертации соответствующего уровня исследований;

- во-вторых, предмет исследований кандидатской диссертации сформулирован даже общее, чем в докторской диссертации, что не позволяет судить о решаемой научной задаче;

- в-третьих, совокупность формулировок темы, задачи, объекта и предмета исследования не позволяет определить научной «изюминки» диссертации, а ведь диссертация представляет собой целостное историко-педагогическое исследование о чем можно догадаться только после ознакомления с ее содержанием.

Еще раз отметим, несмотря на важность рассматриваемых здесь понятий, они не являются определяющими. Их задача обеспечить целевой подход к исследованиям, содержание которых определяет важность и значимость результатов научных исследований. Место объекта, предме-



Рис. 1. Место объекта, цели и предмета в общей схеме научных исследований

та и цели исследований в общей схеме исследований, которая приведена на *рисунке 1*.

Заключение

Правильное обоснование объекта и предмета исследований обеспечивает целостный подход к проводимым исследованиям, а для квалификационных научных работ дает возможность объективно оценить степень выполнения требований, предъявляемым к этим работам.

Необходимо, чтобы совокупность формулировок темы, задачи, объекта и предмета исследования определяли и актуальность, и новизну и практическую значимость исследований уже на начальном их этапе.

Литература

1. Долгов А.И. Справочник исследователя Новочеркасск: Новочеркасский. военный институт связи, 2002. 246 с.
2. Лекция № 9. Научное исследование в педагогике, его основные характеристики [Электронный ресурс] / Интернет библиотека. Режим доступа xlibu.ru, свободный. Загл. с экрана.
3. Методологические основы педагогического исследования: Пособие для докторантов, аспирантов, соискателей и молодых исследователей / Сост. К.Ш. Ахияров, А.В. Ахияров, Г.Х. Валеев. Уфа. 2000. 98 с.
4. Методологические проблемы современной науки. М.: Политиздат, 1979. 304 с.
5. Объект, предмет, гипотеза и концепция психолого-педагогического исследования [Электронный ресурс] / Ю.И. Пономарева ГОУ ВПО «РГППИ». Екатеринбург, 2009. Режим доступа <http://Xreferat.ru>, свободный. Загл. с экрана.
6. Особенности подготовки педагогических кадров в университете / Беспалова Н.В. Автореферат дисс. канд. пед. наук [Электронный ресурс] / Библиотека диссертаций. Режим доступа <http://www.dissert.h10./dis/bespalova.html>, свободный. Загл. с экрана.
7. Педагогика: Учебное пособие для студентов педагогических учебных заведений / В.А. Сластенин, И.Ф. Исаев, А.И. Мищенко, Е.Н. Шиянов. М.: Школа-Пресс, 1997. 512 с.
8. Саранцев Г.И. Цель, объект и предмет педагогического исследования [Электронный ресурс] / Центр информ. технологий РГБ. Дата публикации 18 октября 2007. Опубликовал portalus.ru. Режим доступа <http://portalus.ru>, свободный. Загл. с экрана.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 81.322

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АФОРИСТИЧНОСТИ ПРОИЗВЕДЕНИЙ

Николай Николаевич Казаков

член Союза писателей России

начальник отдела – член редколлегии

редакция журнала «На боевом посту» МВД РФ

Адрес: 111250, Москва,

ул. Красноказарменная, д. 9а

Тел.: +7(917)560-20-15

E-mail: kazakov-nikolaj@mail.ru

Впервые в научное обращение вводится понятие «коэффициент афористичности произведения» и приводится алгоритм его расчета.
For the first time in the scientific treatment introduces the concept of the «coefficient of aphoristic works» and an algorithm for its calculation.

Ключевые слова: афоризм, коэффициент афористичности произведения, алгоритм.

Keywords: aphorism, the coefficient of aphoristic works, algorithm.

В учебном процессе при оценке творчества того или иного автора актуальным является вопрос об афористичности его произведений, под которым понимается насыщение произведений афоризмами. Речь, безусловно, идет о вводных, по классификации Н.Т. Федоренко и Л.И. Сокольской, афоризмах. В своей книге «Афористика» [1] они пишут: «Различают афоризмы вводные, то есть входящие в любой текст произведения, и обособленные, или самостоятельные, входящие в произведения, состоящие из одних афоризмов».

Желание быть афористичным, имманентно присуще многим (в том числе и современным) авторам. В предисловии к [2] Юрий Поляков заметил: «Всякий нормальный писатель так же хочет быть афористичным, как всякая нормальная женщина – привлекательной. Надо сознаться, женщинам это удастся гораздо чаще... Если после прочтения какой-нибудь книги в вашей голове задержалось хотя бы несколько авторских фраз и мыслей, значит, это приличный писатель и хорошая книга. От плохих в голове остается только желудочная тяжесть и обида на первопечатника Ивана Федорова».

Но возникают закономерные вопросы: «А как определить афористичность произведения? Существуют ли какие-то математические (как наиболее объективные и точные) показатели, характеризующие афористичность? Можно ли сказать, что один писатель более афористичный,

чем другой?». Ответы – к большому сожалению – однозначные, нет.

Первую, и пока единственную, попытку оценить афористичность произведений предприняла Н.М. Калашникова в своей диссертационной работе, посвященной современной российской писательнице Виктории Токаревой [3].

В своих исследованиях, проанализировав тексты В. Токаревой, Н.М. Калашникова пишет: «В среднем у В. Токаревой одно обобщающее высказывание приходится на 2,94 страницы, у Л. Петрушевской – на 17,88, у В. Войновича – на 21,29, у В. Аксенова – на 20,2. Основываясь уже на этих простейших статистических данных, можно утверждать, что афоризм – неотъемлемый и характерный элемент стиля В. Токаревой» [3].

Работа Н.М. Калашниковой, оговоримся сразу, безусловно, очень интересная, своевременная и нужная. Однако подсчет распределения «обобщающих высказываний» в ней ведется, исходя из насыщения ими страниц текста. Что, на наш взгляд, является достаточно неточным, ведущим к большим (до 50%) погрешностям.

А все потому, что если «мелкий шрифт – оружие мошенников» [4], то крупный шрифт – уловка издателей. И от издательства к издательству, от издания к изданию шрифт книги и ее формат могут изменяться, что соответственно ведет к существенному изменению количества афоризмов на страницу текста.

В качестве примера расчетов по методике Н.М. Калашниковой можно привести разные издания романа Юрия Полякова «Гипсовый трубоч» [4, 5]. Издание [4] дает нам численный показатель 1,239 (т.е. один афоризм на 1,239 страниц текста), издание [5] – 1,60. Таким образом, расхождение составляет около 25%.

Поэтому требуется найти более объективный показатель афористичности текста. На наш взгляд, таким показателем может стать *коэффициент афористичности произведения*.

Введение понятия «коэффициент афористичности произведения»

Определение. Коэффициент афористичности произведения ($K_{аф}$) – числовой показатель, характеризующий насыщение (наполнение) текста афоризмами.

Коэффициент афористичности текста равен отношению количества афоризмов в тексте к общему количеству предложений в тексте, умноженному на нормировочный коэффициент:

$$K_{аф} = \frac{Q_{аф}}{Q_{пр}} \times K_{нор}, \quad (1)$$

где $Q_{аф}$ – общее количество афоризмов в тексте;
 $Q_{пр}$ – общее количество предложений в тексте;
 \times – знак умножения;

$K_{нор}$ – нормировочный коэффициент ($K_{нор} = 100$).

При этом $K_{аф}$ принадлежит числовому отрезку от 0 до 100:

$$K_{аф} \in [0, 100],$$

т.е. $0 \leq K_{аф} \leq 100$ и показывает количество афоризмов на 100 предложений текста.

Алгоритм расчета коэффициента афористичности

Алгоритм расчета можно разделить на два этапа:

1. Творческий.
2. Технический.

На творческом этапе прочитывается произведение и методом «сплошной выборки» из него извлекаются все афоризмы: $Q_{аф} = ZZZ$, где ZZZ – полученное количество афоризмов.

Для реализации технического этапа необходимо иметь прочитанное произведение в электронном виде в любом формате, воспринимаемом текстовым редактором Word (.doc, .txt, .rtf).

Для подсчета количества предложений в тексте необходимо произвести ряд манипуляций, ведущих к унификации (однообразию) знаков препинания в конце каждого предложения. Важно строго придерживаться порядка замен – $?! - !? - ? - ! - \dots$ (отточие) - . (точка). Замены про-

изводятся на любой символ, например, @.

Для этого:

1. курсор помещаем в начало текста;
2. нажимаем клавиши Ctrl+N. Появляется окошко «Найти и заменить». В строку «Найти» заносим заменяемый(е) символ(ы), например, ?! (вопросительный и восклицательный знаки). В строку «Заменить на» заносим заменяющий символ – @, нажимаем «Заменить все» – появляется окошко «Поиск документа закончен. Произведено замен: XXX»;
3. повторяем п. 2 последовательно для заменяемых символов !? - ? - ! - ... (отточие) - . (точка), в результате выполнения этой процедуры происходит полная унификация знаков препинания в конце предложений.

4. повторяем п. 2 со следующими параметрами:

- заменяемый символ – @;
- заменяющий символ – #.

Информация в окошке «Поиск документа закончен. Произведено замен: YYY» говорит о том, что исследуемый текст состоит из $Q_{пр} = YYY$ предложений.

5. Вычисляем коэффициент афористичности по формуле (1), в которую подставляем общее количество афоризмов в тексте $Q_{аф} = ZZZ$, общее количество предложений в тексте $Q_{пр} = YYY$, $K_{нор} = 100$.

Осуществив расчеты по предлагаемой методике различных изданий одного и того же произведения [4, 5], получаем одинаковый коэффициент афористичности $K_{аф} = 2,696$, который означает, что на 100 предложений текста приходится без малого 2,7 афоризмов.

Таким образом, можно сделать вывод, что введение коэффициента афористичности позволит максимально объективно оценить афористическую составляющую творчества писателя. В настоящее время проводится работа по подготовке компьютерной программы расчета коэффициента афористичности, с помощью которой будет автоматизирован 2-й (технический) этап алгоритма расчета.

Литература

1. Федоренко Н.Т., Сокольская Л.И. Афористика. М.: Наука, 1990. 420 с.
2. Поляков Ю.М. Бахрома жизни. Афоризмы, мысли, извлечения для раздумий и для развлечения: [сборник цитат]. Сост. Н.Н. Казаков. М.: АСТ, 2013. 412 с.
3. Калашникова Н.М. Афористичность как черта идиостиля В.Токаревой: Дис. ... канд. филол. наук. Ростов-на-Дону, 2005. 246 с.
4. Поляков Ю.М. Гипсовый трубоч. М.: АСТ, 2013. 1088 с.
5. Поляков Ю.М. Гипсовый трубоч. В 3-х частях: М.: Астрель: АСТ, 2008. 382 с.; 2010. 488 с.; 2012. 672 с.

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

УДК 378.2

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА НАУЧНЫХ КАДРОВ СЕКТОРА ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Ирина Николаевна Тараброва

начальник отдела

ФГБНУ «Государственный
научно-методический центр»

Адрес: 117997, Москва, ул. Люсиновская, д. 51

Тел.: +7(499)706-81-24

E-mail: intar2005@yandex.ru

Рассмотрены модели и алгоритмы воспроизводства научных кадров сектора высшей школы с использованием математического аппарата марковских процессов и математического аппарата нечетких множеств. Данные модели и алгоритмы позволяют определить необходимый уровень кадрового наполнения каждого из состояний системы подготовки научных кадров для обеспечения заданных выходных характеристик, рассчитать возможные вероятности распределения потоков участников процесса воспроизводства и выбрать рациональные варианты такого распределения, установить необходимые пороги научной активности участников, претендующих на переход в «научный сектор», а также дать практические рекомендации по управлению системой воспроизводства научных кадров сектора высшей школы.

The article deals with models and algorithms of the reproduction of scientific personnel in high school sector using the mathematical apparatus of Markov processes and mathematical apparatus of fuzzy sets. These models and algorithms allow to determine the appropriate level of personnel filling of each states of training system of scientific personnel in order to ensure the specified output characteristics, to calculate possible probabilities of distribution of streams of reproduction process participants and to choose rational options of such distribution, to establish necessary thresholds of scientific activity of the participants pretending to change-over into «scientific sector», as well as to provide practical recommendations for system management of reproduction of scientific personnel in high school sector.

Ключевые слова: воспроизводство научных кадров, модель, алгоритм, марковские процессы, нечеткие множества, MathCAD/

Key words: reproduction of scientific personnel, model, algorithm, Markov process, fuzzy sets, MathCAD/

Одной из важнейших задач перехода к инновационному социально-ориентированному типу экономического развития страны является системное развитие кадрового потенциала национального сектора исследований и разработок и связанного с ним сектора высшей школы. В условиях негативного демографического прогноза задача воспроизводства научных кадров становится все более актуальной.

Графическая модель воспроизводства научных кадров сектора высшей школы, отражающая все уровни высшего образования в соответствии с Федеральным законом № 273-ФЗ от 29

декабря 2012 г. «Об образовании в Российской Федерации», представлена на *рисунке 1*.

Из *рисунка 1* очевидно смысловое содержание всех состояний и переходов. Каждый участник рассматриваемого процесса воспроизводства проходит индивидуальную траекторию из начальных состояний 1 «Обучение на бакалавра» или 2 «Обучение на специалиста» до возвращения в эти же состояния после завершения своей активной работы (после выхода на пенсию, завершения трудовой деятельности и т.д.). В этом случае система, освобождаясь от «выбывшего», готова принять на освободившееся место оче-

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

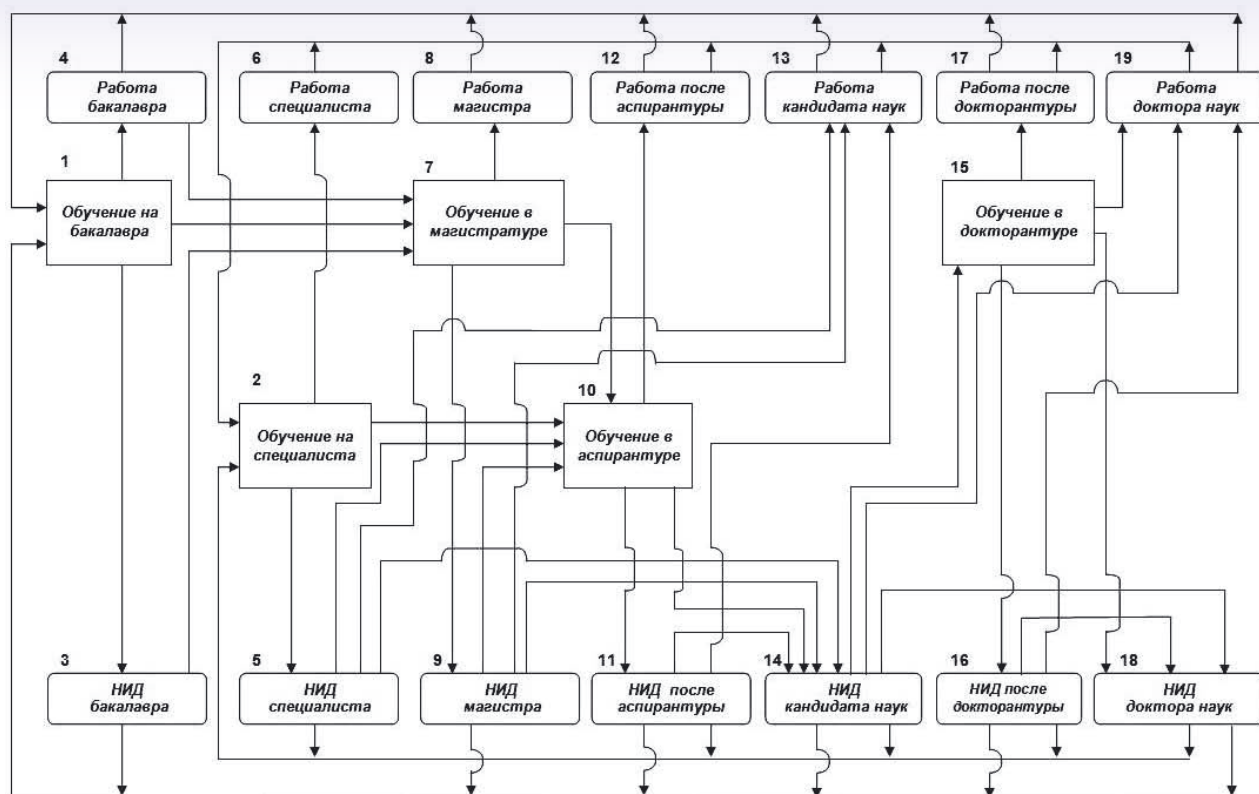


Рис. 1. Графическая модель воспроизводства научных кадров сектора высшей школы

редного участника. При этом работа «действующего» участника процесса воспроизводства научных кадров сектора высшей школы может быть как связанной с научной деятельностью (состояния 3, 5, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 18), так и не связанной с ней (состояния 4, 6, 8, 12, 13, 17, 19).

Как видно из рисунка 1, большинство состояний процесса предполагает несколько вариантов дальнейшего развития событий. Так, например, после завершения обучения на специалиста (состояние 2) участник процесса с той или иной вероятностью может: завершить обучение и начать производственную деятельность в качестве специалиста (состояние 6), заняться научно-исследовательской деятельностью (состояние 5) или продолжить свое обучение в аспирантуре (состояние 10). При этом таких состояний, предполагающих многовариантные переходы, в представленной модели – подавляющее большинство.

Учитывая случайный характер переходов, моделирование процесса воспроизводства можно провести с использованием математического аппарата полумарковских процессов (ПМП) как наиболее общего и не зависящего от закона распределения случайных величин, характеризующих рассматриваемый процесс.

Основу анализа ПМП составляет знание вероятностей P_i нахождения участника процесса

в i -х состояниях. Выражение для стационарной вероятности P_i имеет вид [1]:

$$P_i = \frac{\pi_i \cdot \mu_i}{\sum_j \pi_j \cdot \mu_j}, \quad (1)$$

где π_i – вероятности вложенной марковской цепи (ВМЦ) нашего ПМП; μ_i – безусловные времена пребывания в каждом состоянии.

Вероятности ВМЦ определяются из следующей системы уравнений с учетом нормировочного условия

$$\begin{cases} \pi_i = \sum_j \pi_j \cdot p_{ji}, \\ i = 1, 2, \dots, n-1; \\ j = 1, 2, \dots, n; \\ \sum_j \pi_j = 1, \end{cases} \quad (2)$$

где n – число возможных состояний; p_{ij} – вероятность перехода из i -го в j -е состояние.

Нетрудно видеть, что параметрами рассматриваемой системы являются величины, представляющие собой математические ожидания и использующиеся для нахождения вероятности $P_i(1)$. При этом отметим, что эти вероятности не зависят от вида функций распределения случай-

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

ных величин и, следовательно, реальные функции распределения могут быть заменены на любые при условии равенства их первых моментов.

Наиболее простыми с точки зрения аналитического исследования представляется случай, когда функции распределения являются экспоненциальными. Этот частный случай полумарковского процесса был изучен выдающимся русским математиком А.А. Марковым и известен как марковский процесс. С точки зрения описания сложных систем, функционирование которых носит случайный характер, широкое применение нашли марковские процессы с дискретными состояниями и непрерывным временем, в частности, при исследовании социальных [2, 3], экономических [4], технических систем [5, 6].

Вероятности состояния P_i находятся из системы уравнений А.Н. Колмогорова (для стационарного режима) [1]:

$$\begin{cases} -\sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \cdot P_i + \sum_{j=1}^n \lambda_{ji} \cdot P_j = 0; \\ i = 1, 2, \dots, n-1; \\ \sum_{j=1}^n P_j = 1, \end{cases} \quad (3)$$

где λ_{ij} – интенсивность перехода из i -го в j -е состояние, и вычисляется как

$$\lambda_{ij} = \frac{P_{ij}}{\mu_{ij}}, \quad (4)$$

где μ_{ij} – время нахождения субъекта в состоянии i до момента его перехода в состояние j .

В соответствии с моделью воспроизводства научных кадров сектора высшей школы (рисунки 1) мы можем добиться достижения необходимых значений вероятности нахождения участника процесса в i -ых состояниях P_i путем кор-

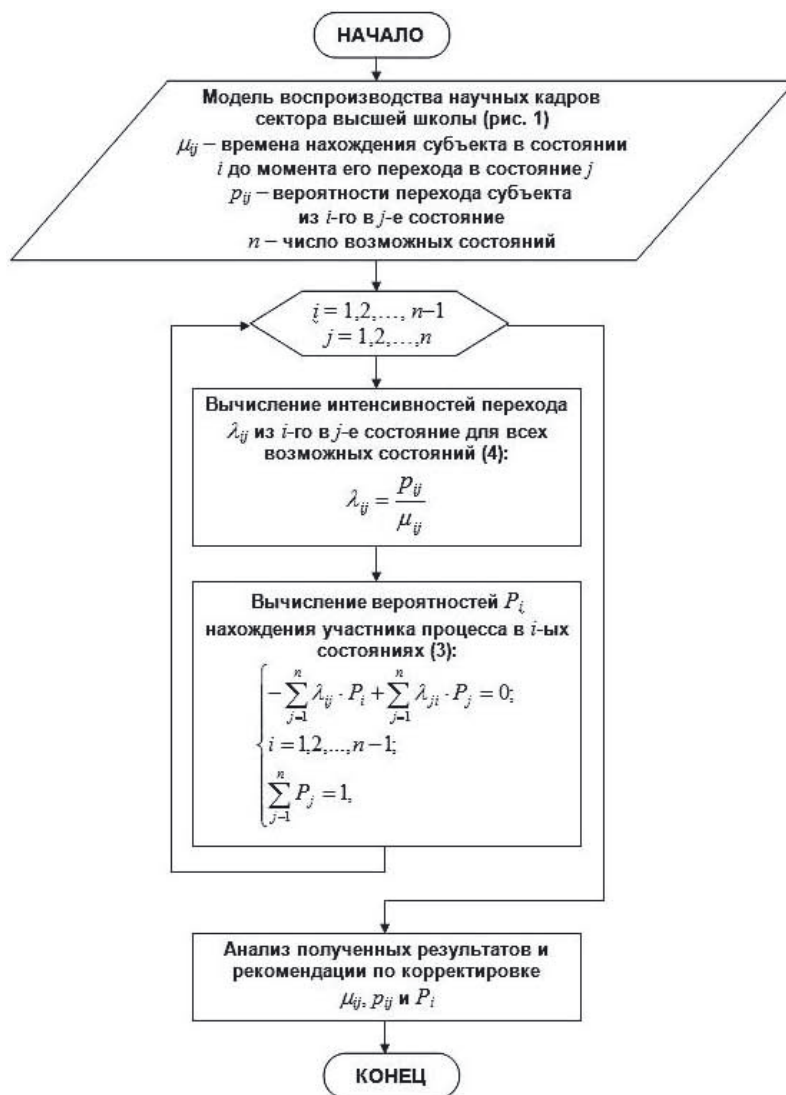


Рис. 2. Алгоритм определения вероятностей нахождения участников процесса воспроизводства научных кадров в каждом из его состояний

ректировки таких параметров как μ_{ij} (время нахождения субъекта в состоянии i до момента его перехода в состояние j) и p_{ij} (вероятность перехода субъекта из i -го в j -е состояние). Другими словами, мы можем корректировать объем потоков участников процесса, выходящих из определенных состояний, и время их нахождения в этих состояниях до момента перехода. Так, например, из состояния 2 «Обучение на специалиста» выходит три потока – переходы в состояния 5 «НИД специалиста», 6 «Работа специалиста» и 10 «Обучение в аспирантуре» и, в зависимости от вероятностей перехода в каждое из этих состояний, а также времени нахождения в состоянии 2 до перехода в состояния 5, 6 или 10, мы сможем скорректировать последующее развитие событий.

Алгоритм процедуры вычисления вероятностей P_i нахождения субъекта в i -х состояниях на основе заданных значений времени μ_{ij} нахождения в i -х состояниях до момента перехода в состояние j и вероятностей p_{ij} переходов из i -го состояния в j -ое представлен на *рисунке 2*.

Для апробации математической модели воспроизводства научных кадров сектора высшей школы в соответствии с графической моделью, представленной на *рисунке 1*, в среде MathCAD была разработана программа для вычисления вероятностей P_i на основе вышеизложенного математического аппарата (3, 4). На *рисунке 3* (а, б) представлены два варианта различных значений λ_{ij} при фиксированных значениях μ_{ij} , а также полученные значения P_i .

Анализируя полученные результаты, можно сказать следующее. Наблюдается зависимость конечного «наполнения» того или иного состояния от вероятностей переходов p_{ij} . Так, при относительно равном распределении участников процесса по потокам из состояний, где потоки «разветвляются» (*рисунок 3, а*), наибольшие значения вероятностей нахождения участников в i -х состояниях P_i приходятся на состояния 6 «Работа специалиста», 8 «Работа магистра», 12 «Работа после аспирантуры» и 13 «Работа кандидата наук» (0,168, 0,167, 0,138 и 0,125 соответственно). При распределении потоков, когда большая часть участников процесса перенаправляется в «научный сектор» (*рисунок 3, б*), количество состояний с наибольшими значениями вероятностей P_i уменьшается до следующих – 13 «Работа кандидата наук» и 18 «НИД доктора наук» (0,178 и 0,159 соответственно).

Мы видим, что если в первом случае «научный сектор» остается практически без кадров (значение вероятности нахождения участников процесса в соответствующих состояниях – 3, 5, 9, 11, 14, 16, 18 в среднем составляет около 0,022),

то во втором случае, перераспределив потоки, мы получаем уже совсем другую картину – значительно возрастает доля кадрового насыщения «научного сектора» и, в частности, состояния 18 «НИД доктора наук».

Таким образом, вычисление вероятностей P_i при различных значениях интенсивностей переходов λ_{ij} , определяющихся параметрами рассматриваемой системы воспроизводства научных кадров высшей квалификации, позволяет провести анализ функционирования этой системы при различных сочетаниях параметров. Рассмотренная модель позволяет путем задания определенных значений интенсивностей переходов между различными состояниями процесса получить количество участников в каждом из состояний, а также скорректировать это количество в соответствии с насущными потребностями российской экономики.

Однако далее возникает вполне логичный вопрос – если с помощью рассмотренной выше модели можно решить задачу определения необходимого количества участников в различных состояниях процесса воспроизводства научных кадров, то каким образом можно решить задачу качества этих научных кадров, как обеспечить необходимый уровень научных исследований, которые будут проводиться участниками процесса, перешедшими в «научный сектор»?

Сегодня, когда российская экономика переходит к инновационно-ориентированному типу развития, стране необходимы ученые, способные создавать действительно оригинальные инновационные разработки, решать научные задачи, открывающие новые направления знания и производства. И именно такими учеными необходимо наполнять «научный сектор». Но каким образом можно производить этот отбор? Какие механизмы можно использовать для определения того уровня активности ученого, при котором его научная деятельность будет эффективной и качественной? На какой высоте установить тот порог, который позволит направлять в «научный сектор» действительно наиболее перспективных участников процесса?

Основным затруднением при решении данных вопросов является то, что оценка эффективности труда научных кадров с точки зрения их возможного вклада в развитие науки – субъективна, единые подходы к вопросам измерения качества научной и инновационной деятельности на сегодняшний день не определены. К тому же, возвращаясь к модели воспроизводства научных кадров, надо сказать, что и набор показателей, по которым можно было бы оценить участников процесса, будет разным для разных

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Переход	P_{ij}	μ_{ij} , лет	P_i
1-3	0,3	4	0,047
1-4	0,4	4	
1-7	0,3	4	
2-5	0,3	5	0,056
2-6	0,4	5	
2-10	0,3	5	
3-1	0,5	38	0,014
3-7	0,5	2	
4-1	0,5	38	0,018
4-7	0,5	2	
5-2	0,2	37	0,024
5-10	0,2	4	
5-13	0,3	7	
5-14	0,3	7	
6-2	1,0	37	0,168
7-8	0,4	2	0,023
7-9	0,3	2	
7-10	0,3	2	
8-1	1,0	36	0,167
9-1	0,2	36	0,022
9-10	0,2	3	
9-13	0,3	5	
9-14	0,3	11	
10-11	0,3	3	0,031
10-12	0,4	3	
10-14	0,3	4	
11-1	0,2	33	0,010
11-2	0,2	33	
11-13	0,3	2	
11-14	0,3	2	
12-1	0,5	33	0,138
12-2	0,5	33	
13-1	0,5	32	0,125
13-2	0,5	32	
14-1	0,2	32	0,029
14-2	0,2	32	
14-15	0,2	2	
14-18	0,2	5	
14-19	0,2	5	
15-16	0,2	3	0,010
15-17	0,2	3	
15-18	0,3	4	
15-19	0,3	4	
16-1	0,2	28	0,002
16-2	0,2	28	
16-18	0,3	2	
16-19	0,3	2	
17-1	0,5	28	0,000
17-2	0,5	28	
18-1	0,5	27	0,055
18-2	0,5	27	
19-1	0,5	27	0,062
19-2	0,5	27	

Рис. 3. Исходные данные и результаты апробации математической модели воспроизводства научных кадров сектора высшей школы

состояний, поскольку невозможно подходить к оценке различных категорий участников процесса (бакалавров, специалистов, магистров, аспирантов, кандидатов наук, докторантов, докторов наук) с одинаковым набором критериев оценки. Поэтому для решения этой задачи целесообразно выбор показателей для оценки качества научной и инновационной деятельности каждой категории участников процесса воспроиз-

водства научных кадров осуществлять посредством методов экспертной оценки, когда из максимально возможного перечня показателей эксперт выбирает те, которые, на его взгляд, наиболее полно и достоверно характеризуют научный потенциал участника процесса для его перехода в каждое из определенных состояний «научного сектора» (рисунки 1).

Как показывает опыт, одной из основных

проблем, сопутствующих разработке любой экспертной системы, является проблема вербализации экспертами своих заключений и приведения их к такому виду, который может быть формализован с помощью формального аппарата, положенного в основу функционирования системы. Иными словами, экспертные оценки, получаемые в результате применения экспертно-ориентированного подхода, могут включать в себя нечеткие (приблизительные) рассуждения при описании оцениваемых процессов или объектов, т.е. мы имеем дело с так называемой «нечеткой информацией». Для решения задачи формализации и интерпретации экспертных знаний в данном случае с успехом может быть применен апробированный математический аппарат нечетких множеств с использованием понятия лингвистической переменной [7, 8, 9].

Для выбора наиболее значимых показателей для оценки научной активности участников процесса воспроизводства научных кадров вводится лингвистическая переменная «ВЕС», значениями которой являются понятия «низкий», «ниже среднего», «средний», «выше среднего» и «высокий» или термы терм-множества лингвистической переменной «ВЕС».

Определяющим в понятии нечеткого множества является функция принадлежности, показывающая насколько численное значение переменной соответствует понятию, формализованному нечетким множеством. Для определения семантики значений лингвистической переменной «ВЕС» применяется способ, основанный на использовании в качестве функции принадлежности p -функции, определяемой следующей системой уравнений [10]:

$$\mu_{c_j}(d) = \pi(d, \eta_j^n, \eta_j^a, d_j^n, d_j^a)^{2\varphi}, \quad (5)$$

$$\pi(d, \eta_j^n, \eta_j^a, d_j^n, d_j^a) = \begin{cases} s(d, d_j^n - 2\eta_j^n, d_j^n - \eta_j^n, d_j^a) & \text{при } d \leq d_j^n, \\ 1 & \text{при } d_j^n \leq d \leq d_j^a, \\ 1 - s(d, d_j^n, d_j^n + \eta_j^n, d_j^a + 2\eta_j^n) & \text{при } d \geq d_j^a, \end{cases} \quad (6)$$

$$S(d, \xi, \tau, \delta) = \begin{cases} 0 & \text{при } d \leq \xi, \\ \frac{2(d - \xi)^2}{(\delta - \xi)^2} & \text{при } \xi \leq d \leq \tau, \\ 1 - \frac{2(\delta - d)^2}{(\delta - \xi)^2} & \text{при } \tau \leq d \leq \delta, \\ 1 & \text{при } d \geq \delta, \end{cases} \quad (7)$$

где d_j^n и d_j^a – параметры, задающие интервал номинальных значений базовой переменной

ной d , степень принадлежности которых терму $T_j \in T \setminus \{T_1, T_j\}$ равна 1;

η_j^n и η_j^a – параметры, определяющие относительно значений d_j^n и d_j^a базовые значения d , степень принадлежности которых терму $T_j \in T \setminus \{T_1, T_j\}$ равна 0,5;

φ – параметр, определяющий вид функции принадлежности.

Для точной интерпретации полученной информации используется выражение:

$$\hat{T} = \frac{\int_{d=d^n-2\eta^n}^{d^n+2\eta^n} d \mu_T(d) dd}{\int_{d=d^n-2\eta^n}^{d^n+2\eta^n} \mu_T(d) dd}, \quad (8)$$

где \hat{T} – численная оценка для значения T лингвистической переменной «ВЕС»;

d – базовая переменная лингвистической переменной «ВЕС»;

$\mu_T(d)$ – значение принадлежности базового значения d нечеткому множеству \tilde{T} , формализующему понятие T ;

$d^n - 2\eta^n$, $d^n + 2\eta^n$ – левая и правая границы интервала базовой переменной, на котором определено формализующее понятие T .

Формула (8) позволяет нам переходить от функций принадлежности, формализующих значения лингвистической переменной, к точным количественным оценкам, компактно характеризующим суть параметров, используемых для оценки научной активности участника процесса воспроизводства научных кадров.

Алгоритм выбора показателей для оценки научной активности участников процесса воспроизводства научных кадров представлен на рисунке 4.

Очевидно, что набор показателей для оценки научной и инновационной активности различных категорий участников процесса воспроизводства должен быть различным, поскольку мы не можем по одним и тем же параметрам оценивать, например, бакалавра и кандидата наук. Поэтому для каждой категории перечень показателей для оценки научной активности осуществляется отдельно. Для реализации данной процедуры на основе вышеизложенного подхода с использованием аппарата нечетких множеств в среде MathCAD была разработана соответствующая программа, позволяющая каждому их экспертов с учетом имеющегося опыта и знаний о предметной области, определяя параметры p -функции, строить функции принадлежности с их последующей интерпретацией в количественные значения (5-8).

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

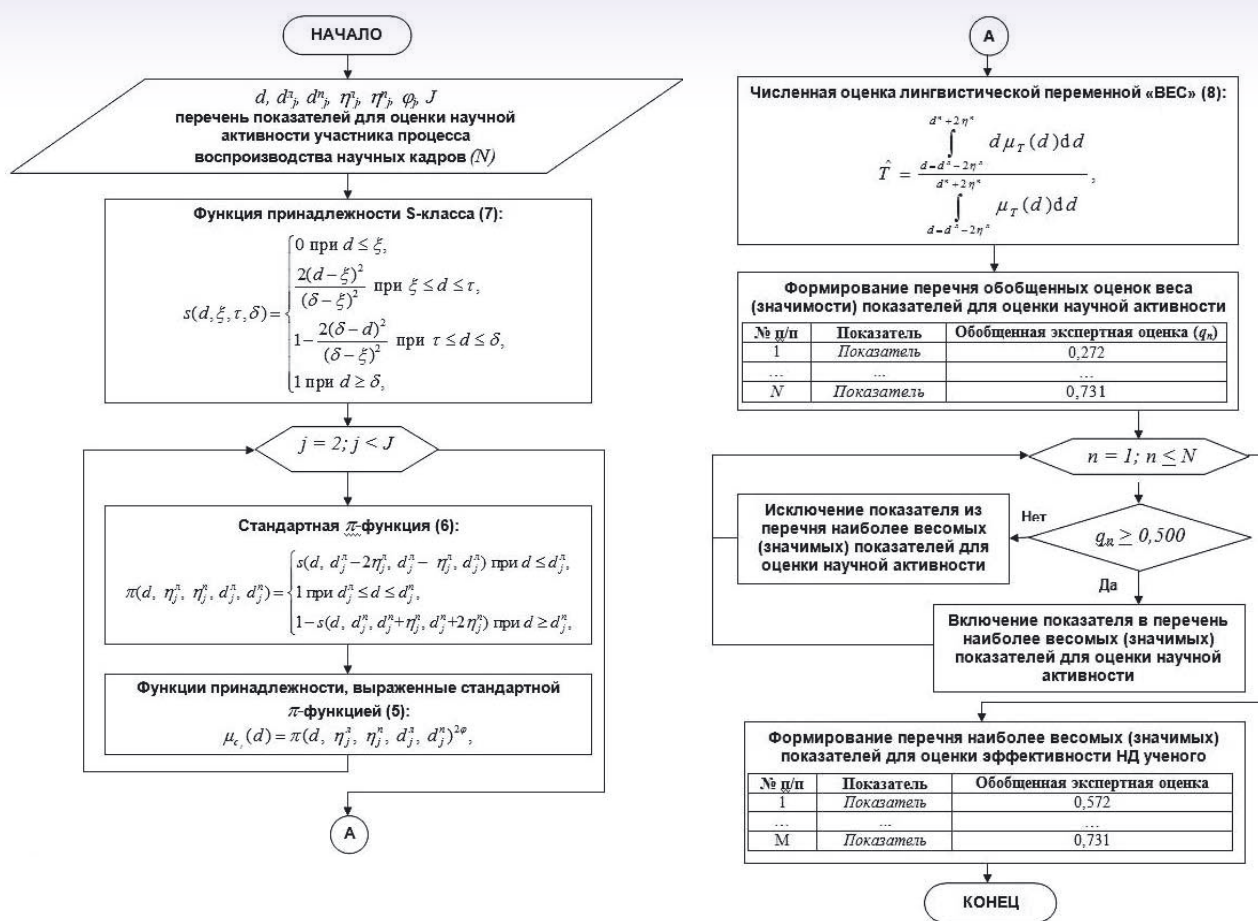


Рис. 4. Алгоритм выбора показателей для оценки научной активности участников процесса воспроизводства научных кадров

Из рассмотренных 50 показателей, наиболее часто используемых для такого рода оценки, эксперты выбирали те, которые, по их мнению, наиболее полно и достоверно могут характеризовать научную активность участника процесса для каждой из категорий. После процедуры экспертной оценки отбирались те показатели, обобщенная оценка которых превысила значение 0,5. На рисунке 5 в качестве примера представлен полученный перечень показателей оценки научной активности для уровня подготовки «специалист».

Как видим, с помощью аппарата нечетких множеств мы получаем возможность выбрать необходимый набор показателей для оценки научной активности по каждой категории участников процесса воспроизводства научных кадров. Так же представленный выше математический аппарат позволяет нам непосредственно оценить по выбранным показателям уровень научной активности участников, претендующих на переход в «научный сектор», и задать необходимый порог этого перехода для каждой категории.

Так, на рисунке 6 представлены результаты такой оценки участника процесса воспроизводства научных кадров уровня подготовки «специалист» в соответствии с выбранным перечнем показателей (рисунк 5). Средняя оценка участника процесса, претендующего на переход в «научный сектор», после проведенной экспертизы составила 0,270. Таким образом, при установленном пороге перехода, например, в 0,4 (рисунк 2, б, переходы 2-5 и 2-10), данный участник его не преодолевает. В этом случае ему может быть рекомендовано повысить свою научную и инновационную активность по тем показателям, по которым у него наблюдается существенное отставание (рисунк 6).

Таким образом, разработанные модели и алгоритмы воспроизводства научных кадров сектора высшей школы с использованием математического аппарата марковских процессов и математического аппарата нечетких множеств позволяет определить необходимый уровень кадрового наполнения каждого из состояний системы для обеспечения заданных выходных характеристик, рассчитать возможные вероятно-

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

№ п/п	Показатель научной и инновационной активности	Обобщенная экспертная оценка
1	2	3
1.	Публикационная активность (научные публикации, статьи и тезисы)	0,833
2.	Изобретательская активность	0,721
3.	Подготовка объектов интеллектуальной собственности (авторские свидетельства, патенты)	0,694
4.	Востребованность проводимых научных исследований	0,693
5.	Сотрудничество с МИП, технопарками, бизнес-инкубаторами и др.	0,675
6.	Участие в мировом и национальном научно-техническом сотрудничестве	0,649
7.	Частота появления информации о проводимых исследованиях в общедоступных средствах массовой информации	0,647
8.	Наличие доступа к уникальным научным объектам и центрам коллективного пользования	0,633
9.	Предложения от организаций и частных лиц о работе, сотрудничестве	0,632
10.	Награды, премии и другие документы общественного признания, связанные с осуществляемой научно-исследовательской деятельностью	0,598
11.	Участие в выставочной деятельности	0,578

Рис. 5. Набор показателей для оценки научной и инновационной активности участника процесса воспроизводства научных кадров сектора высшей школы уровня подготовки «специалист»

№ п/п	Показатель научной и инновационной активности	Обобщенная экспертная оценка
1	2	3
1.	Публикационная активность (научные публикации, статьи и тезисы)	0,307
2.	Изобретательская активность	0,347
3.	Подготовка объектов интеллектуальной собственности (авторские свидетельства, патенты)	0,000
4.	Востребованность проводимых научных исследований	0,459
5.	Сотрудничество с МИП, технопарками, бизнес-инкубаторами и др.	0,268
6.	Участие в мировом и национальном научно-техническом сотрудничестве	0,135
7.	Частота появления информации о проводимых исследованиях в общедоступных средствах массовой информации	0,297
8.	Наличие доступа к уникальным научным объектам и центрам коллективного пользования	0,516
9.	Предложения от организаций и частных лиц о работе, сотрудничестве	0,394
10.	Награды, премии и другие документы общественного признания, связанные с осуществляемой научно-исследовательской деятельностью	0,115
11.	Участие в выставочной деятельности	0,128

Рис. 6. Обобщенные экспертные оценки по показателям научной и инновационной активности участника процесса воспроизводства научных кадров сектора высшей школы уровня подготовки «специалист»

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

сти распределения потоков участников процесса воспроизводства и выбрать рациональные варианты такого распределения, установить необходимые пороги научной активности участников, претендующих на переход в «научный сектор», а также дать практические рекомендации по управлению системой воспроизводства научных кадров сектора высшей школы.

Литература

1. Беркетов Г.А., Блаженков В.В., Кравец Л.И., Оселедец В.И. Современные математические методы анализа и синтеза сложных систем. М.: МО СССР, 1984. 399 с.
2. Блаженков В.В., Морозов С.В. Марковская модель жизненного цикла профессиональной подготовки и деятельности специалиста // Известия Института инженерной физики, 2011. №3(21). С. 79-81.
3. Баева И.А., Емелин Н.М. К вопросу о критериях психологической безопасности личности // Материалы Всероссийской конференции «Психологическая культура и психологическая безопасность в образовании». С-Пб.: 2003. С. 176-178.
4. Емелин Н.М. Экономические модели надеж-

ности информационно-управляющих систем. М.: МО РФ, 2002. 130 с.

5. Емелин Н.М. Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1995. 128 с.

6. Емелин Н.М., Шведова Е.А. Модели мониторинга аналитических ведомственных целевых программ // Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2008, №7. С. 88-91.

7. Емелин Н.М., Тараброва И.Н. Подход к обоснованию показателей для оценки научной деятельности российских молодых ученых. – М.: Вестник МАИ, 2009. №4.

8. Емелин Н.М., Тараброва И.Н., Соколов Д.И. Оценивание эффективности научных исследований молодых ученых. – М.: Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2009. №12.

9. Данилюк С.Г., Маслов С.В. К вопросу о применении лингвистической переменной при оценке технического состояния строительных объектов // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С. 43-45.

10. Классификация и кластер // Под ред. Дж. Райзина. М.: Мир, 1980.

11. Володина Е.Д., Емелин Н.М., Голодкова О.В. Систематизация инноваций в образовательной деятельности // Известия Института инженерной физики, 2014. №1(31). С. 86-88.





Victor E. Aksionov. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. Branch of the Military academy of the Strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Alexey A. Aleksandrov. Senior lecturer. Moscow aviation institute. Moscow, Volokolamskoye h., 4.

Vitaly E. Ananiev. Scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

Sergey V. Antonov. Cand.Tech.Sci., associate professor. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

Viktor V. Blazhenkov. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. Leading researcher. FSBSI "GOSMETODCENTR". Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Vladimir I. Blizniuk. Lecturer. Academy of Federal security guard service of the Russian Federation. Orel, Priborostroitelnaya st., 35.

Eugeniy V. Boroday. Engineer. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

Vitaly V. Bortovik. Cand.Tech.Sci. Associate professor. Military Academy of Air Defence Force in the name of A.M. Vasilevskiy. Smolensk, Kotovskogo st., 2.

Nikolay M. Emelin. Honoured scientist of RSFSR, Dr.Sci.Tech., professor. FSBSI "GOSMETODCENTR". Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Tatiana L. Fomicheva. Cand.Tech.Sci., associate professor. Finacial university under the Government of the Russian Federation. Moscow, Leningradskiy av., 49.

Alexandr M. Gladkov. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Olga V. Golodkova. Deputy head of Department. Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Leonid A. Gulianskiy. Cand.Tech.Sci., associate professor. Moscow aviation institute. Moscow, Volokolamskoye h., 4.

Nikolay N. Kazakov. The member of the Union of Russian Writers. Head of department. «NA BOEVOM POSTU» journal. Moscow, Krasnokazarmennaya st., 9a.

Ilfat V. Khabibulin. Chief expert. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Sergey V. Kharchenko. Scientist. Academy of Federal security guard service of the Russian Federation. Orel, Priborostroitelnaya st., 35.

Denis A. Kichulkin. Chief engineer. Smolensk Research and Innovation center electronic systems «ZAVANT». Smolensk, Kirova st., 22-B.

Anna I. Kizhner. Cand.Tech.Sci., associate professor. Finacial university under the Government of the Russian Federation. Moscow, Leningradskiy av., 49.

Mikhail Y. Konyushev. Cand.Tech.Sci., associate professor. Academy of Federal security guard service of the Russian Federation. Orel, Priborostroitelnaya st., 35.

Nikolay I. Kotov. Cand.Tech.Sci., professor. Branch of the Military academy of the Strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Valentina V. Kotova. Jr. scientist. Branch of the Military academy of the Strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Alexander A. Kovalskiy. Postgraduate student. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Oleg O. Krasavtsev. Chief engineer. Smolensk Research and Innovation center electronic systems «ZAVANT». Smolensk, Kirova st., 22-B.

Alexander V. Kuzichkin. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. Television research institute. St.-Petersburg, Politehnicheskaya st., 22.

Roman R. Marchenkov. Academy of Federal security guard service of the Russian Federation. Orel, Priborostroitelnaya st., 35.

Dmitriy A. Mayorov. Cand.Tech.Sci. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Dmitriy G. Mitrofanov. Dr.Sci.Tech., professor. Military Academy of Air Defence Force in the name of A.M. Vasilevskiy. Smolensk, Kotovskogo st., 2.

Alexey G. Popov. Cand.Tech.Sci., senior scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

Dmitry V. Pryanishnikov. Postgraduate student. Moscow aviation institute. Moscow, Volokolamskoye h., 4.



Sergey Y. Pushkarev. Postgraduate student. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Alexey V. Safonov. Cand.Tech.Sci., associate professor. Tyumen Higher military engineering command school. Tyumen, L'va Tolstogo st., 1.

Sergey V. Smurov. Dr.Sci.Tech., professor. Deputy director general. General designer. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a

Denis Y. Sorokin. Scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Elena G. Suslova. Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Oleg B. Streltsov. Senior lecturer. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Semion V. Sukhanov. Graduate student. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Yuriy A. Sytniak. Cand.Tech.Sci. Head of Analytical Department FSBSI "GOSMETODCENTR", Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Dmitriy A. Tokarev. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Irina N. Tarabrova. Head of department. FSBSI "GOSMETODCENTR". Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Yuri V. Voynov. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Elena D. Volodina. Chief of department. State Research and Consulting Centre. Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Alexey V. Vassenkov. Cand.Tech.Sci. Chief expert. Military Science Committee Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow.

Andrey N. Vorobiov. Associate professor. Head of department. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Pavel V. Voronov. Cand.Tech.Sci. Deputy head of department. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Mikhail S. Zakatin. Cand.Tech.Sci. Deputy of department. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Sergey I. Zakatin. Cand.Tech.Sci. Senior scientist. Deputy of general director. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Sergey S. Zakatin. Cand.Tech.Sci. Senior lecturer. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Sergey V. Zakharkin. Cand.Tech.Sci., associate professor. Academy of Federal security guard service of the Russian Federation. Orel, Priborostroitel'naya st., 35.

Vladimir V. Zelenevskiy. Dr.Sci.Tech, professor. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Yuriy V. Zelenevskiy. Cand.Tech.Sci., associate professor. Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow, Kitaygorodskiy d., 9/5.

Salavat Kh. Zinnurov. Postgraduate student. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

Anatoliy V. Zolotariuk. Cand.Tech.Sci., associate professor. Finacial university under the Government of the Russian Federation. Moscow, Leningradskiy av., 49.

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 (Win Word 6.0 или 7.0). 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;
- имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (Литература) размещается в конце статьи.

После литературы помещается:

- список ключевых слов;
- краткая аннотация (1–2 абзаца, но не более одного листа А4) 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»

■ **Управление, вычислительная техника и информатика**

- Технологии обработки и передачи данных;
- Средства и методы защиты информации;
- Информационно-расчетные системы;
- Вычислительные методы;
- Тестирование и сертификация программно-аппаратного обеспечения;
- Компьютерные сети и системы;
- Новые информационные технологии;
- Электромагнитная безопасность систем и комплексов;
- Искусственный интеллект;
- Базы данных;
- Моделирование процессов управления и оптимизации;
- Информационные технологии проектирования;
- Информационные технологии в образовании;
- Геоинформационные системы;
- Программно-аппаратное обеспечение;
- Автоматизированные системы управления;
- Компьютерная графика.

■ **Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь**

- Методы и способы измерения, оценка погрешностей;
- Информационно-измерительные системы;
- Методы обработки сигналов;
- Диагностические системы;
- Радиоэлектронные системы;
- Антенны, распространение радиоволн;
- Элементная база;
- Радиотехническая аппаратура;
- Системы связи.

■ **Навигация.**

■ **Механика твердого тела.**

■ **Техника общего назначения.**

■ **Инновационные проекты.**

■ **Техническое регулирование.**

■ **Совершенствование образования.**

■ **Подготовка кадров.**

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.

«INTERPOLITEХ-2014»

МОУ «ИИФ» принял участие в XVIII Международной выставке средств обеспечения безопасности государства «INTERPOLITEХ-2014», в которой приняли участие предприятия и компании из 50 регионов России, стран СНГ и государств дальнего зарубежья.

Институт представил инновационные охранные системы: охранные извещатели нового поколения, кодоблокировочные устройства, электронные пломбирующие устройства, экспонировал светопрозрачные бронированные конструкции, аппаратуру расширения возможностей СКУД, а также систему «мобильный холод» для перевозки медицинских препаратов и органов с сохранением необходимой температуры внутри контейнера.

Особый интерес участников выставки вызвала разработанная учеными Института экипировка водолазного и сухопутного снаряжения с системой локального обогрева на основе металлизированных лавсановых нитей, которая позволяет создавать комфортные условия работы спасателям, сотрудникам силовых структур в условиях низких температур на суше и под водой.

Экспозицию МОУ «ИИФ» посетили более 400 представителей федеральных органов исполнительной власти РФ, иностранных государств, различных компаний. По итогам конкурса «Национальная безопасность» за разработку «системы термообогрева водолазного снаряжения на основе токопроводящих лавсановых нитей» Институт награжден дипломом и золотой медалью «Гарантия качества и безопасности».

МОУ «ИИФ» И «ВЕРТОЛЕТЫ РОССИИ»

В начале декабря Институт принял участие в конференции, организованной МО РФ и холдингом «Вертолеты России», которая была посвящена подведению итогов совместной работы холдинга и центральных органов военного управления МО РФ в 2014 году, а также определению основных направлений взаимодействия в 2015 году. В ней приняли участие представители Минпромторга России, главных командований ВВС и Сухопутных войск, командований ВДВ и Морской авиации ВМФ, других органов военного управления, Российской академии ракетных и артиллерийских наук, Госкорпорации Ростех, Объединенной двигателестроительной корпорации, концерна «Системпром», других предприятий и организаций.

В разделе «Безопасность» МОУ «ИИФ» представил экспозицию «В Арктике комфортные условия как дома», продемонстрировал экипировку военнослужащего с системами локального обогрева и комплекс медицинского оборудования (эвакуационный мешок, капельницу, термоконтейнер для перевозки медицинских препаратов), предназначенного для работы медиков в условиях низких температур.

Разработки ученых МОУ «ИИФ» вызвали интерес и одобрение руководящего состава силовых ведомств России. Институт был награжден дипломом и памятным подарком конференции «Вертолеты России».

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

МОУ «ИИФ» с рабочим визитом посетили руководители Фонда перспективных исследований: заместитель генерального директора – руководитель направления химико-биологических и медицинских исследований А.В. Панфилов и заместитель генерального директора – руководитель направления информационных исследований С.В. Гарбук. Целью визита руководителей Фонда в Институт стало знакомство с достижениями серпуховских ученых для выработки проектов дальнейшего сотрудничества.

Руководители Фонда проявили особый интерес к разработкам в области безопасности информации, специальных средств и систем ее защиты, систем связи, биотехнологии, броневых конструкций, навигации. В ходе встречи были намечены основные направления взаимодействия по внедрению инновационных разработок МОУ «ИИФ» в интересах силовых структур и государственных корпораций.

