



В НОМЕРЕ

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

- 2 **А.О. Назаров, С.В. Суханов, Д.А. Токарев.** Автоматизация процесса формирования пользовательских ролей на основе метода концептуальной кластеризации данных
- 7 **А.П. Галкин, Е.Г. Сулова, М.С. Ковалёв, Аль-Джабери Рамзи Хамид, Обади Хезам Мохаммед Али.** Выбор рациональной информационной защиты корпоративных сетей с криптографией
- 13 **Ю.В. Войнов, В.Б. Чернышев, Н.А. Букшин.** Логико-вероятностная модель процессов функционирования ЛСИО в составе специальной АС ВН в условиях ПАВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ

- 17 **А.В. Пантелеев, Д.А. Родионова.** Применение метода случайного поиска с последовательной редукцией области исследования в задачах оптимального управления детерминированными системами
- 23 **А.В. Гуляев.** Разработка нечеткой модели обработки слабоструктурированной информации в системе оперативного производственного мониторинга ресурса

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

- 30 **Ф.К. Алиев, А.М. Бородин, А.В. Вассенков, Е.А. Матвеев, А.Н. Царьков, И.А. Шеремет.** О способе дистанционного изменения меры несепарабельности квантовых систем и возможности его применения в области связи

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ

- 39 **И.Л. Иосилевский, И.А. Мартынова.** Пылевая плазма. Фазовые диаграммы, скачок плотности и неконгруэнтность фазовых переходов

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

- 45 **Д.Е. Сорокин.** Теоретические основы тестово-кодowego метода коррекции ошибок статических запоминающих устройств

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- 51 **К.В. Капелько, С.А. Коннов.** Модель комплексного диагностирования электроэнергетического оборудования сложных технических систем по фактическому состоянию

БАЗЫ ДАННЫХ

- 54 **О.Б. Стрельцов, А.С. Беляева.** Мониторинг содержания суперэктоксикантов в различных средах

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

- 58 **О.Р. Никитин, Али Аббас Мохсин Али, Т.Ф. Рау, Е.Г. Богаткина, В.Г. Рау.** Радиоактивные нанокластеры в радиосистемах

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

- 66 **О.Н. Андрух, А.С. Сидорова.** Компетентностная модель преподавателя вуза

МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

- 71 **Д.Б. Ерёмин.** Циклическое нагружение композиционных материалов
- 75 **А.В. Острик, А.А. Чепрунов, А.И. Алаторцев, А.А. Коробков, Ю.В. Гирин.** Результаты исследований действия нестационарных тепловых нагрузок на композитные оболочки нитяной намотки

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

- 85 **Ю.А. Сытняк, И.В. Цветкова.** Анализ деятельности государственных научных центров Российской Федерации

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

- 89 **М.И. Седова.** Социокультурная среда образовательного учреждения и ее влияние на социализацию и воспитание в современном образовании

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

- 93 **Е.Д. Володина.** Методика итеративного управления формированием в высшей школе кадрового потенциала науки

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ
Института инженерной физики
№3(33)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 06.09.2014. Дата выхода
в свет 12.09.2014. Тираж 2000 экз. Цена свободная.
© Межрегиональное общественное учреждение
«Институт инженерной физики» (ИИФ), 2014

Редакционный совет

Александр Иванович Аспидов

доктор технических наук, профессор
Заместитель директора Нижегородского филиала
Московского гуманитарного экономического о
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



**Игорь
Иванович
Алаторцев**

Вице-президент МОУ «ИИФ» –
директор СРЦСАВ
член-корреспондент АИО

Сегодня наше государство находится на важном этапе своего развития, когда появился шанс занять то место в мировой иерархии, которое реально заслуживает. Это возлагает на все наше общество, его социальные институты особую ответственность, требует максимальных усилий и ставит масштабные задачи.

Одним из важнейших факторов развития страны является нормальное функционирование социальной сферы, которая во многом влияет на проявление человеческого фактора, всегда игравшего определяющее значение в достижении военно-политических целей государства.

В России принята Стратегия социального развития. Это один из важнейших государственных программно-целевых документов, дающих сигнал обществу и его Вооруженным силам о повышении внимания к проблемам людей и вопросам обеспечения обороноспособности.

Важным элементом в стратегии нашего государства является система конкретных индикаторов достижения целей и задач, присущих любому учреждению и предприятию, к которым можно отнести: гласность, гибкость, оперативность, управляемость, отсутствие промежуточных звеньев, широкий спектр решаемых проблем в полном соответствии существующей законодательной базе и социальной значимости. Все эти индикаторы присущи и Институту инженерной физики.

Все, чего добился наш Институт, достигнуто упорным и целенаправленным трудом всего коллектива, основу которого составляют ученые и профессорско-преподавательский состав из числа уволенных генералов и офицеров, имеющих высокую научную подготовку. Это профессионалы с обостренной ответственностью за порученное дело, корпоративным духом, высокой требовательностью и принципиальностью при решении поставленных перед ними задач.

Широко известны успехи нашего Института в научном, образовательном и производственном направлениях деятельности. Хочу отметить, что одной из основ таких успехов является работа в социальной сфере. Институт создал Центр социальной адаптации военнослужащих, граждан, уволенных с военной службы, и членов их семей, который оказал огромную помощь в решении социальных проблем как в городе Серпухове, так и в Южном Подмосковье в целом. Прошли переподготовку и трудоустроены сотни уволенных военнослужащих и членов их семей. Центр активно продвигает разработки Института по информационно-аналитическому обеспечению процессов социальной адаптации. Центр создал систему социальной поддержки увольняемых военнослужащих и членов их семей и сыграл большую роль в развитии Института как инструмента решения социальных проблем.

Решение любой проблемы начинается с понимания ее значимости и отношения к людям. При этом, чем больше понимания и практических действий социального плана, тем ощутимее результат. Считаю, что внимание Института к людям, к решению их социальных проблем – важные элементы его успеха.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ РОЛЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ

Дмитрий Александрович Токарев

заместитель начальника отдела –
начальник группы УПМИ и СП
Министерство обороны России
Москва

Александр Олегович Назаров

соискатель
КНИТУ-КАИ
Адрес: 420111, Казань, ул. Карла Маркса, д. 10
Тел.: +7(987)297-65-58
E-mail: sas4406@yandex.ru

Семён Валерьевич Суханов

аспирант
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: neron1987@mail.ru

В статье предложен процесс автоматизации формирования пользовательских ролей в информационных системах. Пользовательские роли формируются на основе действий пользователей в информационной системе, с помощью разработанного метода концептуальной кластеризации данных. Разработанный метод способен работать с объектами, характеризуемыми множеством нечетких параметров и основан на классическом методе концептуальной кластеризации COBWEB.

The article proposes a process of automating the creation of the user roles in information systems. User roles are formed based on user actions in the information system, using the method developed conceptual clustering. The developed method is able to work with objects, characterized by a plurality of fuzzy parameters and is based on the classical method of conceptual clusterization COBWEB.

Ключевые слова: пользовательские роли, метод кластеризации, метод COBWEB, информационная система.

Keywords: user roles, clustering method, COBWEB method, information system.

Введение

В информационных системах (ИС) часто возникают инциденты, приводящие к проблемам информационной безопасности. Например, это могут быть пользователи, занимающиеся не своими обязанностями. Но еще опаснее, если эти пользователи нелегитимны и под пользователем аутентифицировался злоумышленник. В связи с этим существует необходимость в выявлении и пресечении данных фактов. Одним из способов решения данной проблемы является внедрение политики разграничения доступа к информационным ресурсам организации на основе ролевого разграничения доступа [1].

Грамотное разграничение доступа пользователей к ресурсам информационной системы максимально снижает возможность выполнения нелегитимных действий со стороны пользователей. В современных системах разграничение доступа достигается за счет использования пользовательских ролей [2].

Формирование ролей в системах с большим количеством пользователей и прав доступа является сложной, ресурсоемкой задачей, требующей больших временных затрат. Существуют различные методы автоматизация данного процесса [3, 4]. Наиболее оптимальным решением является использование методов кластеризации.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Интуитивно понятно, что применение метода кластеризации данных в качестве вспомогательного средства создания ролей заключается в том, что каждому пользователю, действующему в рамках роли, присущ доступ к некоторым приложениям, и комбинация этих прав неявно указывает на роль. Предполагается, что значительное число пользователей, имеющих одинаковый набор прав, объединяются в роль.

Набор прав является достаточно четким параметром, так как его можно описать четкими значениями, т.е. либо данное право у пользователя есть, либо его нет. Сложнее описать четкими значениями действия пользователей в ИС. В связи с этим, для кластеризации объектов, описанных нечеткими параметрами, в последнее время активно используются методы нечеткой кластеризации. В настоящее время известно множество нечетких аналогов классических алгоритмов кластеризации, таких как Fuzzy C-Means, FORTICS и др. [5]. Данные алгоритмы формируют нечеткие кластеры, границы которых размыты, а объект может принадлежать более чем одному кластеру с различными степенями принадлежности. Однако следует отметить, что большинство нечетких алгоритмов кластеризации работают с четкими значениями параметров объектов. Такой подход не позволяет эффективно осуществлять кластеризацию объектов с нечетко заданными значениями параметров. В связи с этим, актуальной задачей является разработка методов кластерного анализа, способных учитывать нечеткую природу объектов, то есть работать с параметрами, заданными в нечеткой форме в виде функций принадлежности.

Для решения многих практических задач в настоящее время используется концептуальная кластеризация данных, ярким представителем которой является метод SOBWEB. Классический вариант реализации метода SOBWEB не предполагает работу с параметрами, заданными в нечеткой форме, что актуализирует решение выше поставленной задачи для данного метода.

Метод нечеткой концептуальной кластеризации

В статье предложен метод нечеткой концептуальной кластеризации, основанный на методе SOBWEB, позволяющий работать с нечеткими объектами. Данный метод предполагает ре-

ализацию классического метода концептуальной кластеризации [6] в следующих условиях:

1. Множество распознаваемых объектов $O = \{O_i\}_{i=1}^m$ характеризуется нечеткими параметрами $\tilde{A} = \{\tilde{A}_j\}_{j=1}^m$,

2. Значение параметра \tilde{A}_j для объекта O_i определяется в виде функции принадлежности $\mu_{\tilde{A}_j}(x) \in [0;1]$.

3. Степень сходства двух функций принадлежности $\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x)$ и $\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x)$ определяется их наибольшей верхней границей, в виде:

$$v_{jit} = \sup_{x \in X} \min \{ \mu_{\tilde{A}_{ij}}(x), \mu_{\tilde{A}_{ij}}(x) \} \in [0,1], \quad (1)$$

где $\mu_{\tilde{A}_j}(x)$ – функция принадлежности параметра \tilde{A}_j для объекта O_i ; $\mu_{\tilde{A}_j}(x)$ – функция принадлежности параметра \tilde{A}_j для объекта O_i .

4. Основываясь на формуле полезности кластеризации классического метода концептуальной SOBWEB [6] и условиях 1-3, оценка полезности кластеризации осуществляется по модифицированной формуле (2)

$$CU^* = \frac{\sum_{k=1}^n P(C_k) \left[\sum_{j=1}^m \sum_{i=1, O_i \in C_k}^r \sum_{t=1, O_t \in C_k}^r v_{jit} / |C_k| - \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^r \sum_{t=1}^r v_{jit} / r \right]}{n}, \quad (2)$$

где n – количество кластеров.

Программная реализация метода нечеткой концептуальной кластеризации

Для практического решения задач на основе предложенного метода нечеткой концептуальной кластеризации был разработан программный комплекс в среде C#.

Архитектура системы, предназначенной для автоматизации построения пользовательских ролей, представлена на рисунке 1 и состоит из 4-х модулей.

1. Модуль сбора данных, предназначенный для сбора статистических данных об объектах. Для решения задачи кластеризации пользователей в ИС сбор данных осуществляется на основе анализа журналов событий. Статистические данные сохраняются на жестком диске в виде текстового файла с разделителями.

2. Модуль подготовки данных на основе полученных статистических данных, с привлечением эксперта, позволяет построить функции принадлежности для каждого объекта по каждому из параметров. Выходом данного модуля являются сформированные нечеткие описания объектов в виде функций принадлежности их параметров.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

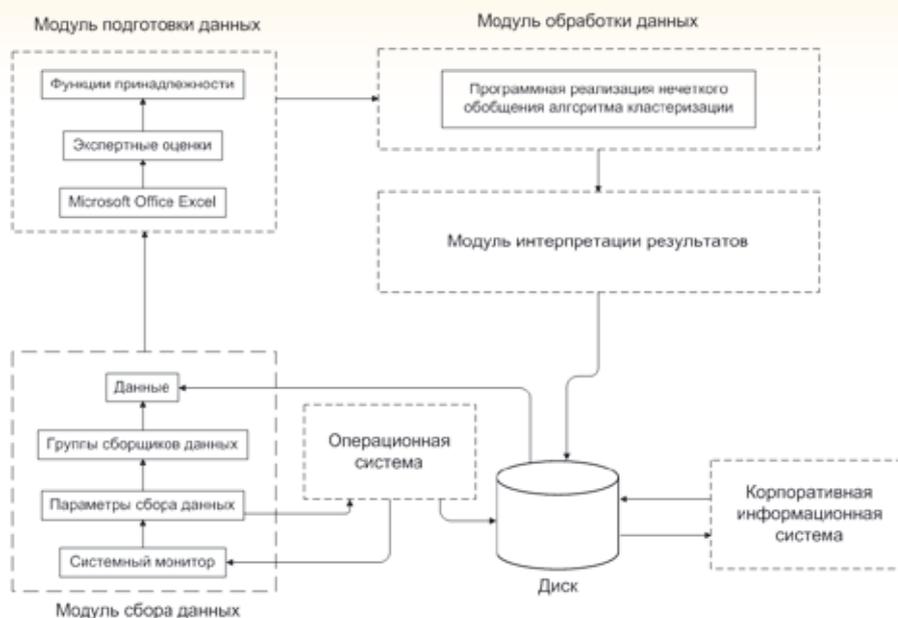


Рис. 1. Архитектура системы, предназначенной для автоматизации построения пользовательских ролей

3. Модуль обработки данных реализует разработанный метод нечеткой концептуальной кластеризации.

Результаты работы метода можно увидеть в отдельном окне, в котором представляются результаты кластеризации и полученная иерархия кластеров.

Автоматизация формирования пользовательских ролей

В качестве примера задача автоматизации формирования пользовательских ролей была решена на действующей информационной системе конкретной организации. Структура информационной системы представлена на рисунке 2. Она

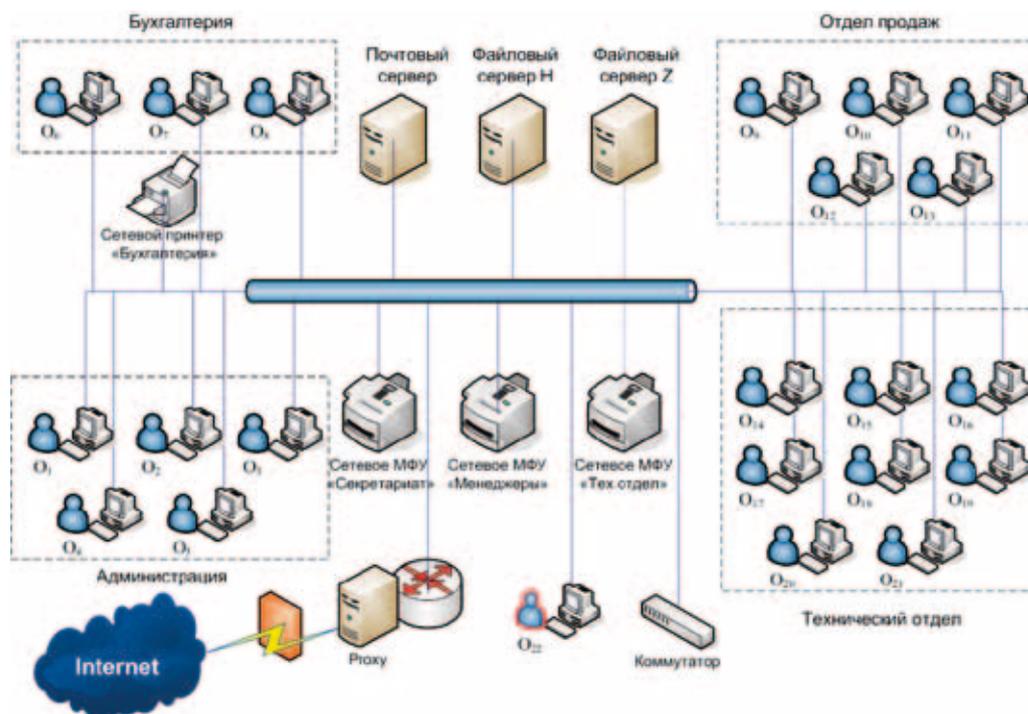


Рис. 2. Структура информационной системы организации

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Таблица 1
Пользователи ИС

Пользователь	Должность	Отдел
O1	Генеральный директор	Администрация
O2	Финансовый директор	
O3	Технический директор	
O4	Секретарь	
O5	Офис-менеджер	
O6	Главный бухгалтер	Бухгалтерия
O7	Зам. главного бухгалтера	
O8	Бухгалтер	
O9	Начальник отдела продаж	Отдел продаж
O10	Зам. начальника отдела продаж	
O11- O13	Менеджеры	
O14	Начальник технического отдела	Технический отдел
O15	Зам. начальника технического отдела	
O16 – O21	Технические специалисты	
O22	Администратор АВС	
		Отдел ИТ

Таблица 2
Параметры пользователей

Параметр	Описание параметра
A1	Количество обращений к почтовому серверу в сутки
A2	Количество обращений к файловому серверу Н в сутки
A3	Количество обращений к файловому серверу Z в сутки
A4	Количество обращений к коммутатору в сутки
A5	Количество обращений к сетевому принтеру «Бухгалтерия» в сутки
A6	Количество обращений к сетевому МФУ «Секретариат» в сутки
A7	Количество обращений к сетевому МФУ «Менеджеры» в сутки
A8	Количество обращений к сетевому МФУ «Тех.отдел» в сутки
A9	Количество обращений к прокси-серверу в сутки
A10	Количество принятых, отправленных писем через Microsoft Office Outlook в сутки
A11	Количество обращений к «ИС:Бухгалтерия 8» в сутки
A12	Количество обращений к «ИС:Документооборот» в сутки
A13	Количество обращений к «ИС:Предприятие 8» в сутки
A14	Количество обращений к «Microsoft Navision 3.60» в сутки
A15	Количество обращений к «ИС:Зарплата и управление персоналом 8» в сутки
A16	Количество обращений к модулю «Монитор сопровождения» в сутки
A17	Объем внешнего сетевого трафика в сутки
A18	Средний процент загрузки центрального процессора в сутки

включает в себя четыре отдела: Администрация, Бухгалтерия, Отдел продаж, Технический отдел. В состав ЛВС входит один почтовый и два файловых сервера, коммутатор, сетевой принтер, 3 МФУ. Осуществляется выход во внешнюю сеть через прокси-сервер.

Осуществлялась кластеризация 22 пользователей $O = \{O_i\}_{i=1}^{22}$, представленных в таблице 1.

Для описания поведения пользователей было выделено 18 параметров $A = \{A_j\}_{j=1}^{18}$, представленных в таблице 2.

На основании анализа поведения пользователей по выше перечисленным параметрам осуществлялась кластеризация и распределение пользователей по кластерам. Результаты кластеризации представлены в таблице 3.

Анализируя таблицу 3, можно сделать вывод, что программа сформировала 10 кластеров. Первые три кластера описывают действия пользователей руководящего состава: генерального директора, финансового директора и технического директора соответственно. Кластер С4 описывает поведение объектов О4 и О5 – пользователи: секретарь и офис-менеджер.

В связи с функциональными обязанностями администратора ЛВС, его действия в ИС отличны от действий других пользователей. Поэтому для администратора ЛВС (О22) был создан отдельный кластер.

Так же были выделены кластеры, характеризующие поведение пользователей, входящих в различные структурные подразделения организации:

Бухгалтерия – С5;

Отдел продаж – С6;

Технический отдел – С8.

Пользователи, относящиеся к кластерам С7 и С9, были выделены в отдельные кластеры, что свидетельствует об их аномальном поведении. Проведя детальный анализ, было выявлено, что объем внешнего сетевого трафика объекта О12 превышает показатели использованного трафика других пользователей отдела продаж, что и формирует подобную аномалию. А пользователь О17 обращался к программам, использование которых не является необходимым при выполнении функциональных обязанностей сотрудника технического отдела, что также сформировало соответствующую аномалию. Выявление подобных инцидентов позволяет администратору безопасности своевременно отреагировать на них.

Таблица 3

Результаты проведенной кластеризации

Кластер	Объект (Пользователь)
С1	О1
С2	О2
С3	О3
С4	О4, О5
С5	О6, О7, О8
С6	О9, О10, О11, О13
С7	О12
С8	О14, О15, О16, О18, О19, О20, О21
С9	О17
С10	О22

Выводы

С помощью разработанного метода нечеткой концептуальной кластеризации решена практическая задача по автоматизации построения пользовательских ролей в ИС. Решение данной задачи позволяет, с одной стороны, значительно упростить работу администратора информационной безопасности по формированию пользовательских ролей в ИС, с другой стороны, позволяет обнаруживать аномальное поведение пользователей в ИС, выявляя недобросовестных сотрудников, использующих информационные ресурсы организации не только для выполнения своих функциональных обязанностей, но и в личных целях.

Литература

1. Гайдамакин Н.А. Разграничение доступа к информации в компьютерных системах. Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2003. 328 с.
2. Девянин П.Н. Модели безопасности компьютерных систем: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2005. 144 с.
3. Han J., Pei J., Yin Y., and Mao R. Mining frequent patterns without candidate generation: A frequent-pattern tree approach. Data Mining and Knowledge Discovery, 2004.
4. Zhang D. Data Mining for Role Based Access Control. Master-to-PhD Conversion Report, 2006.
5. Sato M., Sato Y., and Jain L. Fuzzy Clustering Models and Applications. Physica-Verlag, Heidelberg, 1997.
6. Fisher D. Knowledge Acquisition Via Incremental Conceptual Clustering, 1987. С. 142-153.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

УДК 519.81

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ С КРИПТОГРАФИЕЙ

Александр Павлович Галкин

доктор технических наук, профессор

профессор кафедры радиотехники и радиосистем

Владимирский государственный университет

Адрес: 600000, г. Владимир,

ул. Горького, д. 87

Тел.: +7(4922)47-97-95, +7(905)145-98-98

E-mail: galkin@vlsu.ru

Максим Сергеевич Ковалёв

научный сотрудник

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,

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

Тел.: +7(4967)35-31-93

Елена Геннадьевна Сулова

Аль-Джабери Рамзи Хамид (Йемен)

Обади Хезам Мохаммед Али (Йемен)

аспиранты кафедры

радиотехники и радиосистем

Владимирский государственный университет

Адрес: 600000, г. Владимир,

ул. Горького, д. 87

Рассматривается синтез структур с криптографией в информационных корпоративных сетях. Предложен рациональный системный уровень информационной защиты с использованием криптографических ключей.

The synthesis of structures with cryptography in information corporate networks. Proposed rational system level information protection using cryptographic keys.

Ключевые слова: защита информации в сетях, криптография, синтез криптографических ключей.

Keywords: safe information in the networks, cryptography, synthesis of cryptographic keys.

При проектировании защищенных корпоративных сетей возникают проблемы выбора рациональной защиты (и бюджетной, и эффективной). Обоснуем и приведем разработанный нами подход, удовлетворяющий этим условиям. Предварительно проведем целевую классификацию. Алгоритмы шифрования с использованием ключей предполагают, что данные не сможет прочитать никто, кто не обладает ключом для их расшифровки. Они могут быть разделены на два класса, в зависимости от того, какая методология криптосистем напрямую поддерживается ими [1-3].

Симметричные алгоритмы. Для шифрования и расшифровки используются одни и те же алгоритмы. Один и тот же секретный ключ используется для шифрования и расшифровки. Этот тип алгоритмов используется как симметричными, так и асимметричными криптосистемами

(см. таблицу 1). *Асимметричные алгоритмы* используются в асимметричных криптосистемах для шифрования симметричных сеансовых ключей (которые используются для шифрования самих данных).

Используется два разных ключа – один известен всем, а другой держится в тайне. Обычно для шифрования и расшифровки используется оба этих ключа. Но данные, зашифрованные одним ключом, можно расшифровать только с помощью другого ключа (см. таблицу 2).

С использованием ключа. В соответствии с основными алгоритмами шифрования существуют две методологии с использованием ключей – симметричная (с секретным ключом) и асимметричная (с открытым ключом). Каждая методология использует свои собственные процедуры, свои способы распределения ключей, типы ключей и алгоритмы шифрования и расшифров-

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Таблица 1

Тип	Описание
DES (Data Encryption Standard)	Популярный алгоритм шифрования, используемый как стандарт шифрования данных правительством США. Шифруется блок из 64 бит, используется 64-битовый ключ (требуется только 56 бит), 16 проходов. Может работать в 4 режимах: <ul style="list-style-type: none"> • Электронная кодовая книга (ECB-Electronic Code Book) - обычный DES, использует два различных алгоритма. • Цепочечный режим (CBC-Cipher Block Chaining), в котором шифрование блока данных зависит от результатов шифрования предыдущих блоков данных. • Обратная связь по выходу (OFB-Output Feedback), используется как генератор случайных чисел. Обратная связь по шифратору (CFB-Cipher Feedback), используется для получения кодов аутентификации сообщений.
3-DES или тройной DES	64-битный блочный шифратор, использует DES 3 раза с тремя различными 56-битными ключами. Достаточно стоек ко всем атакам
Каскадный 3-DES	Стандартный тройной DES, к которому добавлен механизм обратной связи, такой как CBC, OFB или CFB. Очень стоек ко всем атакам.
FEAL (быстрый алгоритм шифрования)	Блочный шифратор, используемый как альтернатива DES. Вскрыт, хотя после этого были предложены новые версии.
IDEA (международный алгоритм шифрования)	64-битный блочный шифратор, 128-битовый ключ, 8 проходов. Предложен недавно; хотя до сих пор не прошел полной проверки, чтобы считаться надежным, считается более лучшим, чем DES
Skipjack	Разработано АНБ в ходе проектов правительства США "Clipper" и "Capstone". До недавнего времени был секретным, но его стойкость не зависела только от того, что он был секретным. 64-битный блочный шифратор, 80-битовые ключи используются в режимах ECB, CFB, OFB или CBC, 32 прохода
RC2	64-битный блочный шифратор, ключ переменного размера. Приблизительно в 2 раза быстрее, чем DES. Может использоваться в тех же режимах, что и DES, включая тройное шифрование. Конфиденциальный алгоритм, владельцем которого является RSA Data Security
RC4	Потоковый шифр, байт-ориентированный, с ключом переменного размера. Приблизительно в 10 раз быстрее DES. Конфиденциальный алгоритм, которым владеет RSA Data Security
RC5	Имеет размер блока 32, 64 или 128 бит, ключ с длиной от 0 до 2048 бит, от 0 до 255 проходов. Быстрый блочный шифр. Алгоритм, которым владеет RSA Data Security
CAST	64-битный блочный шифратор, ключи длиной от 40 до 64 бит, 8 проходов. Неизвестно способов вскрыть его иначе как путем прямого перебора.
Blowfish	64-битный блочный шифратор, ключ переменного размера до 448 бит, 16 проходов, на каждом проходе выполняются перестановки, зависящие от ключа, и подстановки, зависящие от ключа и данных. Быстрее, чем DES. Разработан для 32-битных машин
Устройство с одноразовыми ключами	Шифратор, который нельзя вскрыть. Ключом (который имеет ту же длину, что и шифруемые данные) являются следующие 'n' бит из массива случайно созданных бит, хранящихся в этом устройстве. У отправителя и получателя имеются одинаковые устройства. После использования биты разрушаются, и в следующий раз используются другие биты.
Поточные шифры	Быстрые алгоритмы симметричного шифрования, обычно оперирующие битами (а не блоками бит). Разработаны как аналог устройства с одноразовыми ключами, и хотя не являются такими же безопасными, как оно, по крайней мере, практичны.

ки ключей. *Симметричная (секретная) методология.* В этой методологии и для шифрования, и для расшифровки отправителем и получателем применяется один и тот же ключ, об использовании которого они договорились до начала взаимодействия. Если ключ не был скомпрометирован, то при расшифровке автоматически вы-

полняется аутентификация отправителя, так как только отправитель имеет ключ, с помощью которого можно зашифровать информацию, и только получатель имеет ключ, с помощью которого можно расшифровать информацию. Так как отправитель и получатель – единственные люди, которые знают этот симметричный ключ,

Таблица 2

Тип	Описание
RSA	Популярный алгоритм асимметричного шифрования, стойкость которого зависит от сложности факторизации больших целых чисел.
ECC (криптосистема на основе эллиптических кривых)	Использует алгебраическую систему, которая описывается в терминах точек эллиптических кривых, для реализации асимметричного алгоритма шифрования. Является конкурентом по отношению к другим асимметричным алгоритмам шифрования, так как при эквивалентной стойкости использует ключи меньшей длины и имеет большую производительность. Современные его реализации показывают, что эта система гораздо более эффективна, чем другие системы с открытыми ключами. Его производительность приблизительно на порядок выше, чем производительность RSA, Диффи-Хеллмана и DSA.
Эль-Гамаль.	Вариант Диффи-Хеллмана, который может быть использован как для шифрования, так и для электронной подписи.

при компрометации ключа будет скомпрометировано только взаимодействие этих двух пользователей. Проблема, которая будет актуальна и для других криптосистем, заключается в том, как безопасно распространять симметричные (секретные) ключи. Алгоритмы симметричного шифрования используют ключи не очень большой длины и могут быстро шифровать большие объемы данных.

Порядок использования систем с симметричными ключами [4, 5]:

1. Безопасно создается, распространяется и сохраняется симметричный секретный ключ.

2. Отправитель создает электронную подпись с помощью расчета хэш-функции для текста и присоединения полученной строки к тексту.

3. Отправитель использует быстрый симметричный алгоритм шифрования-расшифровки вместе с секретным симметричным ключом к полученному пакету (тексту вместе с присоединенной электронной подписью) для получения зашифрованного текста. Неявно, таким образом, производится аутентификация, так как только отправитель знает симметричный секретный ключ и может зашифровать этот пакет.

4. Только получатель знает симметричный секретный ключ и может расшифровать этот пакет.

5. Отправитель передает зашифрованный текст. Симметричный секретный ключ никогда не передается по незащищенным каналам связи.

6. Получатель использует тот же самый симметричный алгоритм шифрования-расшифровки вместе с тем же самым симметричным ключом (который уже есть у получателя) к зашифрованному тексту для восстановления исходного текста и электронной подписи. Его успешное восстановление аутентифицирует кого-то, кто знает секретный ключ.

7. Получатель отделяет электронную подпись от текста.

8. Получатель создает другую электронную подпись с помощью расчета хэш-функции для полученного текста.

9. Получатель сравнивает две этих электронных подписи для проверки целостности сообщения (отсутствия его искажения).

Доступными сегодня средствами, в которых используется симметричная методология, являются:

- Kerberos, который был разработан для аутентификации доступа к ресурсам в сети, а не для верификации данных. Он использует центральную базу данных, в которой хранятся копии секретных ключей всех пользователей.

- Сети банкоматов (ATM Banking Networks). Эти системы являются оригинальными разработками владеющих ими банков и не продаются. В них также используются симметричные методологии.

Асимметричная (открытая) методология. В этой методологии ключи для шифрования и расшифровки разные, хотя и создаются вместе. Один ключ делается известным всем, а другой держится в тайне. Хотя можно шифровать и расшифровывать обоими ключами, данные, зашифрованные одним ключом, могут быть расшифрованы только другим ключом. Все асимметричные криптосистемы являются объектом атак путем прямого перебора ключей, и поэтому в них должны использоваться гораздо более длинные ключи, чем те, которые используются в симметричных криптосистемах, для обеспечения эквивалентного уровня защиты. Это сразу же сказывается на вычислительных ресурсах, требуемых для шифрования, хотя алгоритмы шифрования на эллиптических кривых могут смягчить

Таблица 3

Длина симметричного ключа	Длина открытого ключа
56 бит	384 бит
64 бита	512 бит
80 бит	768 бит
112 бит	1792 бита
128 бит	2304 бита

эту проблему. Приведем [1, 2] следующие данные об эквивалентных длинах ключей (см. таблицу 3).

Порядок использования систем с асимметричными ключами, проверенный и отлаженный нами [4, 5]:

1. Безопасно создаются и распространяются асимметричные открытые и секретные ключи (см. ниже). Секретный асимметричный ключ передается его владельцу. Открытый асимметричный ключ хранится в базе данных X.500 и администрируется центром выдачи сертификатов (по-английски – Certification Authority или CA). Подразумевается, что пользователи должны верить, что в такой системе производится безопасное создание, распределение и администрирование ключами. Более того, если создатель ключей и лицо или система, администрирующие их, не одно и то же, то конечный пользователь должен верить, что создатель ключей на самом деле уничтожил их копию.

2. Создается электронная подпись текста с помощью вычисления его хэш-функции. Полученное значение шифруется с использованием асимметричного секретного ключа отправителя, а затем полученная строка символов добавляется к передаваемому тексту (только отправитель может создать электронную подпись).

3. Создается секретный симметричный ключ, который будет использоваться для шифрования только этого сообщения или сеанса взаимодействия (сеансовый ключ), затем при помощи симметричного алгоритма шифрования/расшифровки и этого ключа шифруется исходный текст вместе с добавленной к нему электронной подписью – получается зашифрованный текст (шифр-текст).

4. Теперь нужно решить проблему с передачей сеансового ключа получателю сообщения.

5. Отправитель должен иметь асимметричный открытый ключ центра выдачи сертификатов (CA). Перехват незашифрованных запросов на получение этого открытого ключа является распространенной формой атаки. Может существовать целая система сертификатов, под-

тверждающих подлинность открытого ключа CA. Стандарт X.509 описывает ряд методов для получения пользователями открытых ключей CA, но ни один из них не может полностью защитить от подмены открытого ключа CA, что наглядно доказывает: нет такой системы, в которой можно было бы гарантировать подлинность открытого ключа CA.

6. Отправитель запрашивает у CA асимметричный открытый ключ получателя сообщения. Этот процесс уязвим к атаке, в ходе которой атакующий вмешивается во взаимодействие между отправителем и получателем и может модифицировать трафик, передаваемый между ними. Поэтому открытый асимметричный ключ получателя «подписывается» CA. Это означает, что CA использовал свой асимметричный секретный ключ для шифрования асимметричного открытого ключа получателя. Только CA знает асимметричный секретный ключ CA, поэтому есть гарантии того, что открытый асимметричный ключ получателя получен именно от CA.

7. После получения асимметричный открытый ключ получателя расшифровывается с помощью асимметричного открытого ключа CA и алгоритма асимметричного шифрования/расшифровки. Естественно, предполагается, что CA не был скомпрометирован. Если же он оказывается скомпрометированным, то это выводит из строя всю сеть его пользователей. Поэтому можно и самому зашифровать открытые ключи других пользователей, но где уверенность в том, что они не скомпрометированы?

8. Теперь шифруется сеансовый ключ с использованием асимметричного алгоритма шифрования-расшифровки и асимметричного ключа получателя (полученного от CA и расшифрованного).

9. Зашифрованный сеансовый ключ присоединяется к зашифрованному тексту (который включает в себя также добавленную ранее электронную подпись).

10. Весь полученный пакет данных (зашифрованный текст, в который входит помимо исходного текста его электронная подпись, и зашифрованный сеансовый ключ) передается получателю. Так как зашифрованный сеансовый ключ передается по незащищенной сети, он является очевидным объектом различных атак.

11. Получатель выделяет зашифрованный сеансовый ключ из полученного пакета.

12. Теперь получателю нужно решить проблему с расшифровкой сеансового ключа.

13. Получатель должен иметь асимметричный открытый ключ центра выдачи сертификатов (CA).

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Таблица 4

Процедура	Комментарии
Физическая раздача ключей	Курьеры и ручная выдача – вот два распространенных примера этой процедуры. Конечно, из них двоих лучше ручная выдача. Серьезные организации имеют инструкции, описывающие порядок выдачи ключей. Раздача ключей может аудироваться и протоколироваться, но это все-таки не защитит ее до конца от компрометации отдельными людьми. Используется как симметричными, так и асимметричными криптосистемами. Несмотря на заявления о том, что в асимметричных криптосистемах не возникает проблем, связанных с физической доставкой ключей, на самом деле они есть. X.509 предполагает, что создатель ключей будет передавать асимметричный секретный ключ пользователю (и/или асимметричный открытый ключ СА) физически безопасным способом, и что предприняты соответствующие меры физической безопасности, чтобы защитить создателя и проводимые им операции с данными от атак.
Выдача общего ключа участникам взаимодействия центром выдачи ключей	Может использоваться как симметричными, так и асимметричными криптосистемами. Так как при данном способе каждый пользователь должен каким-то образом безопасно взаимодействовать с центром выдачи ключей в самом начале работы, то это просто еще один случай, когда начальный обмен ключами является проблемой. Если центр скомпрометирован, то обеспечение безопасности последующих запросов на выдачу ключей проблематично, а безопасность ранее выданных ключей зависит от криптосистемы.
Предоставление центром сертификации ключей доступа к открытым ключам пользователей и выдача секретных ключей пользователям	Предоставление центром сертификации ключей доступа к открытым ключам пользователей и выдача секретных ключей пользователям
Сеть доверия	Используется в асимметричных криптосистемах. Пользователи сами распространяют свои ключи и следят за ключами других пользователей; доверие заключается в неформальном способе обмена ключами.
Метод Диффи-Хеллмана	Обмен секретным ключом по незащищенным каналам связи между двумя пользователями, которые до этого не имели общего секретного ключа. Не может использоваться для шифрования или расшифровки сообщений. Основывается на сложности взятия логарифма в конечных полях. При правильном выборе достаточно больших элементов полей решить проблему расчета дискретного логарифма невозможно. Уязвим к атаке "активное вмешательство в соединение". Запатентован РКР (Public Key Partners)

14. Используя свой секретный асимметричный ключ и тот же самый асимметричный алгоритм шифрования, получатель расшифровывает сеансовый ключ.

15. Получатель применяет тот же самый симметричный алгоритм шифрования-расшифровки и расшифрованный симметричный (сеансовый) ключ к зашифрованному тексту и получает исходный текст вместе с электронной подписью.

16. Получатель отделяет электронную подпись от исходного текста.

17. Получатель запрашивает у СА асимметричный открытый ключ отправителя.

18. Как только этот ключ получен, получатель расшифровывает его с помощью открытого ключа СА и соответствующего асимметричного алгоритма шифрования-расшифровки.

19. Затем расшифровывается хэш-функция текста с использованием открытого ключа от-

правителя и асимметричного алгоритма шифрования-расшифровки.

20. Повторно вычисляется хэш-функция полученного исходного текста.

21. Две эти хэш-функции сравниваются для проверки того, что текст не был изменен.

Распространение ключей. Одной из задач, встающей в каждой из методологий ключевого шифрования – это безопасное распространение ключа [3]. В *таблице 4* приведены основные способы распространения, апробированные нами.

Заключение

Изучив и апробировав вышеупомянутые методики, в компании ОАО «Ай-Ди Технологии Управления», нами [4, 5] был выработан комплексный подход к защите информации в сфере электронного документооборота на платфор-

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

ме EMC Documentum и ее интеграцией с Системой Oracle IRM (в рамках реализации проекта по защите информации модуля «Конфиденциальная тайна» в АСУД (автоматизированная система управления документооборотом) ОАО «ФСК ЕЭС»), который включает в себя использование криптографической шифрования документов, а также использование электронного ключа eToken как персональное средство авторизации, аутентификации и защищенного хранения данных, аппаратно поддерживающее работу с цифровыми сертификатами и электронной цифровой подписью (ЭЦП).

Разработанное решение позволило осуществить централизованное управление правами на документы, формирование контекстов документов КТ, в рамках которых задаются права доступа, а именно:

- динамическое шифрование документов КТ при записи в репозиторий АСУД (системы электронного документооборота) или когда они покидают его;
- динамическое шифрование версий документа КТ;
- полнотекстовая индексация документов КТ

и версий, поиск по зашифрованным документам и версиям;

- шифрование и снятие защиты, при движении документа по жизненному циклу в СЭД;
- контроль:
 - доступа к набору (согласно классификации) или к любому конкретному документу;
 - начала и конца доступа с возможностью отмены права доступа в любой момент;
 - того, как именно пользователи АСУД работают с документами на своих рабочих станциях.

Литература

1. Алферов А.П., Зубов А.Ю., Кузьмин А.С., Черемушкин А.В. Основы криптографии: Учебное пособие. 3-е изд., испр. и доп. М.: 2005. 480 с.
2. Введение в криптографию / Под общ. ред. В.В. Яценко. 3-е изд., доп. М.: 2000. 288 с.
3. Нечаев В.И. Элементы криптографии (Основы теории защиты информации): Учеб. пособие для ун-тов и пед. вузов. / Под ред. В.А. Садовничьего. М.: Высшая школа, 1999. 109 с.
4. <http://www.intuit.ru/studies/courses/57/57/lecture/1688?page=3>
5. <http://www.aladdin-rd.ru/catalog/ios/java/>

удк 004.7

ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛСИО В СОСТАВЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ АС ВН В УСЛОВИЯХ ПАВ

Юрий Витальевич Войнов

начальник 3 Центра
в/ч 31659, Москва

Николай Александрович Букшин

адъюнкт
ФГУК «4 ЦНИИ» МО РФ
Адрес: 141091, Московская обл.,
г. Юбилейный, ул. Тихонравова, д. 29

Валерий Борисович Чернышев

главный научный сотрудник
ФГУК «4 ЦНИИ» МО РФ
Адрес: 141091, Московская обл.,
г. Юбилейный, ул. Тихонравова, д. 29

В статье рассмотрены особенности внедрения ложных сетевых информационных объектов, имитирующих работу реальных сетевых информационных объектов в автоматизированные системы.

This article describes the features of network implementation false information object that simulates real network data objects in the automated system.

Ключевые слова: автоматизированная система, имитация, программно-аппаратное воздействие, ложный сетевой информационный объект, реальный сетевой информационный объект.

Keywords: automated system, simulation, software and hardware effects, false information to the network, the actual network data object.

В современных АС ВН остро встает вопрос необходимости защиты их элементов от постоянно развивающихся программно-аппаратных воздействий (ПАВ) и атак. В данной работе предлагается проанализировать эффективность внедрения в АС ВН ложных сетевых информационных объектов (ЛСИО), имитирующих работу реальных сетевых информационных объектов (РСИО) АС ВН.

Рассмотрим процесс реализации ПАВ в специальной АС ВН, имеющей в своем составе один или несколько ЛСИО, имитирующих реальные автоматизированные рабочие места и серверы АС ВН.

Для более удобного восприятия картины воздействия ПАВ введем следующие предпосылки.

Во-первых, при попадании ПАВ в АС ВН оно способно анализировать ее элементы с целью выделения ЛСИО и РСИО, которые в связи с различными причинами могут иметь некоторые отличительные признаки.

Во-вторых, ПАВ не обладает информацией о количестве ЛСИО и РСИО. Но при этом имеет

целью вывести из строя РСИО АС ВН, обходя ЛСИО, которые для него небезопасны.

В-третьих, результаты анализа каждого элемента сводятся к схеме четырех исходов. Если программно-аппаратное воздействие анализирует РСИО, то возможно либо правильное его распознавание, либо ошибочное принятие его за ложный объект (пропуск). Если ПАВ анализирует ЛСИО, возможны либо идентификация его как ложного объекта, либо принятие его за РСИО (ошибка второго рода).

В случае если ПАВ проникает в АС ВН, оно может быть нейтрализовано за заданное время средствами ЛСИО, а может преодолеть ложный объект и перейти к анализу следующего элемента.

Процесс анализа продолжается до тех пор, пока не будет уничтожен РСИО АС ВН, или ПАВ не будет нейтрализовано каким-нибудь ЛСИО или объектовыми СЗИ, имеющимися в составе каждого РСИО. Таким образом, благоприятный исход процесса возможен, когда РСИО не обнаружен или ПАВ нейтрализовано ЛСИО или

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

СЗИ. Остальные исходы являются неблагоприятными и приводят, в конечном итоге, к выводу АС ВН из строя.

Прежде чем перейти к разработке модели функционирования ЛСИО, рассмотрим схему взаимодействия ПАВ с РСИО АС ВН. Данная схема приведена на *рисунке 1*.

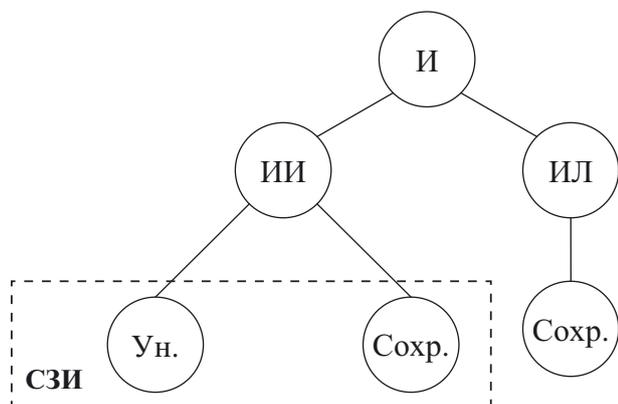


Рис. 1. Схема событий реализации ПАВ в АС ВН с системой защиты (1 РСИО, объективные СЗИ). И – попадание ПАВ на РСИО АС ВН; ИИ – распознавание ПАВ РСИО АС ВН истинным; ИЛ – определение ПАВ РСИО АС ВН ложным; Ун. – уничтожение ПАВ РСИО; Сохр. – сохранение РСИО

На данной схеме показаны два варианта исхода анализа признаков рассматриваемого РСИО (правильное определение и пропуск) и соответственно два варианта исхода воздействия ПАВ на РСИО АС ВН, имеющего в общем случае некие средства защиты.

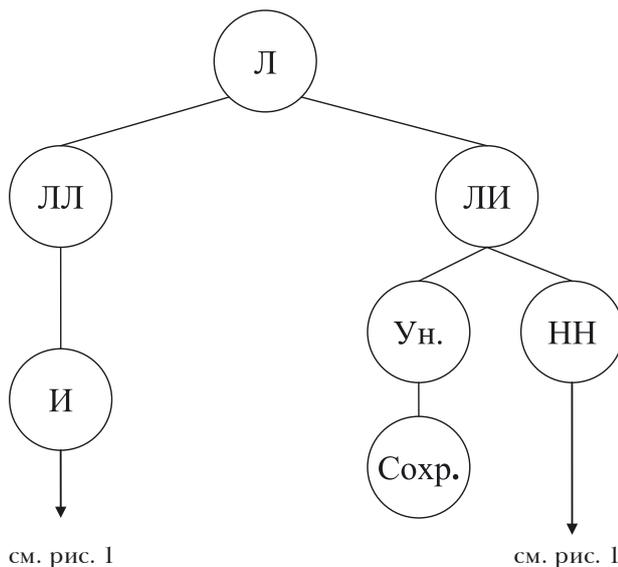


Рис. 2. Схема событий реализации ПАВ в АС ВН с системой защиты (1 РСИО, 1 ЛСИО, объективные СЗИ) при первоначальном выборе ЛСИО

Логическая функция неблагоприятного исхода записана в виде формулы:

$$A_{10} = A(I/I)A_y, \quad (1)$$

где A_{10} – событие выхода из строя АС ВН, имеющей в своем составе один РСИО и ни одного ЛСИО;

$A(I/I)$ – событие правильного распознавания РСИО;

A_y – событие вывода из строя РСИО АС ВН, имеющего объективные СЗИ при реализации ПАВ.

На следующем этапе рассмотрим АС ВН, в состав которой входят один РСИО и один ЛСИО. Здесь возможно два варианта начала реализации ПАВ: выбор для анализа либо ЛСИО, либо РСИО АС ВН. Схемы возможных событий для двух вариантов начала реализации ПАВ приведены на *рисунках 2, 3*.

При выборе для анализа ЛСИО (см. *рисунок 2*) возможно либо правильная идентификация ЛСИО, либо ошибка второго рода с принятием

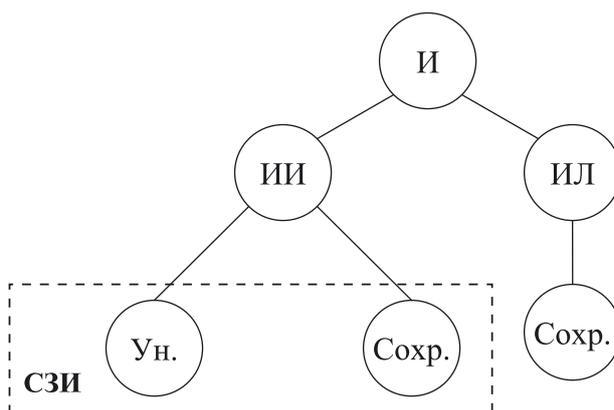


Рис. 3. Схема событий реализации ПАВ в АС ВН с системой защиты (1 РСИО, 1 ЛСИО, объективные СЗИ) при первоначальном выборе РСИО

его за РСИО. В первом случае ПАВ переходит к анализу следующего сетевого объекта (который является истинным) и далее процесс идет по схеме, приведенной на *рисунке 1*. Во втором случае при ошибке второго рода ЛСИО может нейтрализовать ПАВ, и РСИО АС ВН сохранится в исходном состоянии. Если же ЛСИО не удастся нейтрализовать ПАВ, то оно все равно переходит к РСИО АС ВН, и процесс далее идет по схеме, приведенной на *рисунке 1*.

Логическая функция неблагоприятного исхода записана в виде формулы:

$$A_{11}^L = A(L/L)A_{10}^I + \bar{A}(L/L)\bar{A}nA_{10}^I, \quad (2)$$

где A_{11}^L – событие выхода из строя АС ВН, имеющей в своем составе один РСИО и один ЛСИО при выборе для анализа ЛСИО;

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

$A(L/L)$ – событие правильного распознавания ЛСИО;

$\bar{A}(L/L)$ – событие ошибочного распознавания ЛСИО как РСИО АС ВН;

\bar{A}_H – событие обратное событию нейтрализации ПАВ средствами ЛСИО.

При анализе РСИО (см. рисунок 3) возможны либо его правильная идентификация, либо ошибка первого рода (пропуск). Логическая функция неблагоприятного исхода записана выше в виде формулы (1).

Логическая функция неблагоприятного исхода для общего случая (выбор для анализа одного из сетевых информационных объектов) записана в виде формулы:

$$A_{11} = B_{11}^L A_{11}^L + B_{11}^I A_{10}^I, \quad (3)$$

где B_{11}^L, B_{11}^I – события выбора для анализа соответственно ЛСИО и РСИО.

Рассмотрим теперь АС ВН, включающую один РСИО и два ЛСИО. Здесь возможны три исхода реализации ПАВ: выбор для анализа ПАВ либо одного из двух ЛСИО, либо РСИО. Поскольку первые два случая идентичны, схема возможных событий при реализации ПАВ для этих случаев приведена на рисунке 4, а для третьего случая на рисунке 5.

При выборе для анализа ЛСИО (см. рисунок 4) получается логическая функция неблагоприятного исхода, записанная в виде формулы:

$$A_{12}^L = A(L/L)A_{11} + \bar{A}(L/L)\bar{A}_H A_{11}, \quad (4)$$

где A_{12}^L – событие выхода из строя АС ВН, имеющей в своем составе один РСИО и два ЛСИО при выборе для анализа ЛСИО.

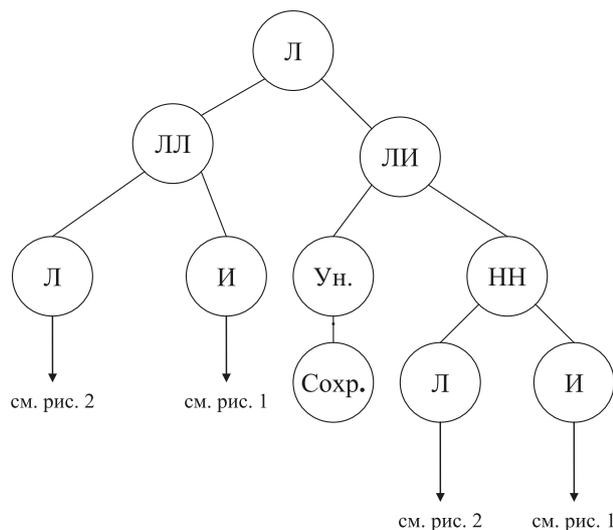


Рис. 4. Схема событий реализации ПАВ в АС ВН с системой защиты (1 РСИО, 2 ЛСИО, объективные СЗИ) при первоначальном выборе одного из ЛСИО

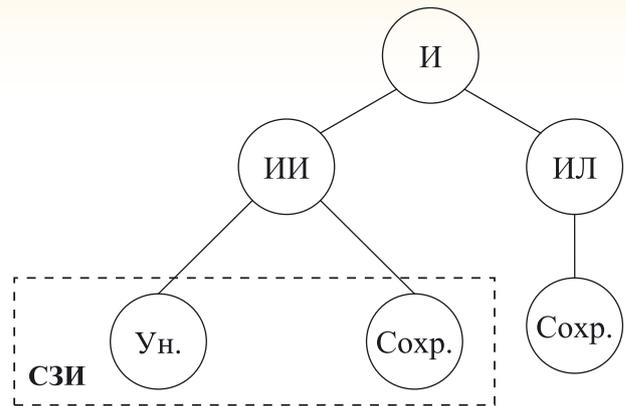


Рис. 5. Схема событий реализации ПАВ в АС ВН с системой защиты (1 РСИО, 2 ЛСИО, объективные СЗИ) при первоначальном выборе РСИО

При анализе РСИО (см. рисунок 5) логическая функция неблагоприятного исхода записана выше в виде формулы (1).

Логическая функция неблагоприятного исхода для общего случая (выбор для анализа одного из сетевых информационных объектов) записана в виде формулы:

$$A_{12} = B_{12}^L A_{12}^L + B_{12}^I A_{10}^I, \quad (5)$$

где B_{12}^L, B_{12}^I – события выбора для анализа соответственно РСИО и ЛСИО.

Таким образом, используя этот способ, можно построить логические функции для любого состава и количества РСИО и ЛСИО АС ВН.

Зная логические функции событий и учитывая, что рассмотренные события несовместны (ортогональны), можно получить вероятностные функции событийных схем, приведенных на рисунках 1-5.

Введем следующие исходные данные по вероятностям рассмотренных событий:

$P(I/I)$ – условная вероятность распознавания РСИО при его анализе ПАВ за заданное время;

$P(L/L)$ – условная вероятность распознавания ЛСИО при его анализе ПАВ за заданное время;

P_y – вероятность вывода из строя ПАВ РСИО, имеющего объективные СЗИ, за заданное время;

P_H – вероятность нейтрализации ПАВ ЛСИО за заданное время;

K_H – количество уязвимых РСИО АС ВН;

K_L – количество ЛСИО в АС ВН.

С учетом введенных обозначений вероятностная функция для события A_{10} будет иметь вид:

$$P(A_{10}) = P_{10} = P(I/I)P_y.$$

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

В данном случае время реализации ПАВ складывается из времени реализации одного РСИО и времени вывода его из строя.

Соответственно для варианта АС ВН, имеющих в своем составе один РСИО и один ЛСИО, вероятностные функции будут иметь следующий вид:

$$P(A_{11}^I) = P_{11}^I = P(L/L)P_{10} + (1 - P(L/L))(1 - P_H)P_{10},$$

$$P(A_{11}^{II}) = P_{11}^{II} = P_{10},$$

$$P(A_{11}) = P_{11} = \frac{K_I}{K_I + K_L} P_{11}^I$$

$$+ \frac{K_L}{K_I + K_L} P_{11}^L = \frac{1}{2} P_{11}^I + \frac{1}{2} P_{11}^L.$$

В данном случае возможны два времени реализации ПАВ. При попадании на РСИО АС ВН время аналогично предыдущему случаю. При попадании на ЛСИО время анализа элементов удваивается и соответственно увеличивается общее время реализации ПАВ.

Соответственно для вариантов АС ВН, имеющих в своем составе один РСИО и два ЛСИО, вероятностные функции будут иметь следующий вид:

$$P(A_{12}^I) = P_{12}^I = P(L/L)P_{11} + (1 - P(L/L))(1 - P_H)P_{11},$$

$$P(A_{12}^{II}) = P_{12}^{II} = P_{10},$$

$$P(A_{12}) = P_{12} = \frac{K_I}{K_I + K_L} P_{12}^I$$

$$+ \frac{K_L}{K_I + K_L} P_{12}^L = \frac{1}{3} P_{12}^I + \frac{2}{3} P_{12}^L.$$

В данном случае предельное время реализации ПАВ возрастает за счет увеличения времени анализа сетевых информационных объектов АС ВН (для трех элементов).

Для иллюстрации работоспособности логико-вероятностной модели проведены расчеты по формулам вероятностных функций для каждого из рассмотренных составов АС ВН. Результаты расчетов представлены на рисунках 6-8.

Из анализа полученных данных видно, что модель чувствительна к характеристикам ПАВ и характеристикам ЛСИО, а также к соотношению РСИО и ЛСИО в составе АС ВН, так как при увеличении количества ЛСИО вероятность реализации ПАВ заметно уменьшается. Разра-

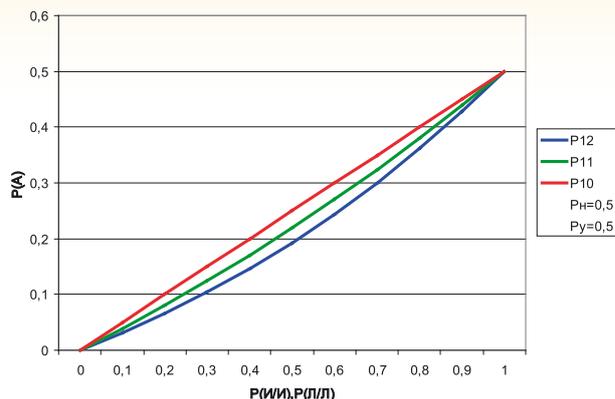


Рис. 6. Зависимость вероятности реализации ПАВ от условных вероятностей распознавания РСИО и ЛСИО

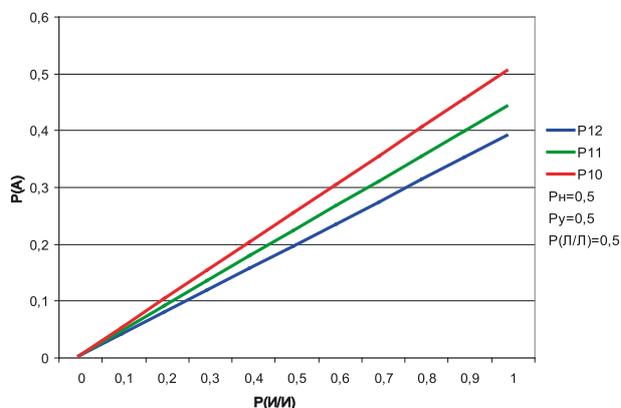


Рис. 7. Зависимость вероятности реализации ПАВ от условных вероятностей распознавания РСИО

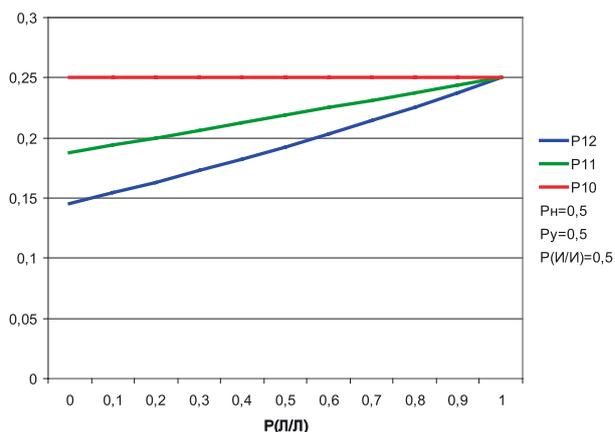


Рис. 8. Зависимость вероятности реализации ПАВ от условной вероятности распознавания ЛСИО

ботанную модель целесообразно использовать в дальнейшем в методике оценки защищенности АС ВН при реализации ПАВ.

УДК 519.8

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЛУЧАЙНОГО ПОИСКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ РЕДУКЦИЕЙ ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ

Андрей Владимирович Пантелеев

доктор физико-математических наук,
профессор

заведующий кафедрой
«Математическая кибернетика»
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4
Тел.: +7(499)158-48-11 E-mail: dep805@mai.ru

Дарья Андреевна Родионова

студентка
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4
Тел.: +7(903)596-75-57
E-mail: erunsaccre@gmail.com

В работе предложены алгоритмы применения метода Luus-Jakola (метода случайного поиска глобального условного экстремума с последовательной редукцией области исследования) к задачам нахождения оптимального программного управления нелинейными детерминированными дискретными и непрерывными системами. Приведены примеры, демонстрирующие их эффективность.

Algorithms for finding solution to the problem of nonlinear deterministic discrete and continuous systems optimal control using the Luus-Jakola method (random search with systematic reduction in the size of search region global optimization method) are suggested. Examples demonstrating their efficiency are provided.

Ключевые слова: случайный поиск, оптимальное управление, непрерывные системы, дискретные системы, итерационное динамическое программирование.

Keywords: random search method, optimal control, continuous time systems, discrete time systems, iterative dynamic programming.

Введение

В работе рассмотрено применение метода Luus-Jakola [1] (метода случайного поиска глобального условного экстремума с последовательной редукцией области исследования) к задачам нахождения оптимального управления нелинейными дискретными и непрерывными детерминированными системами [2-5]. Подробно описаны предложенные алгоритмы решения, на основе которых создано программное обеспечение, позволяющее находить искомое оптимальное управление. Решено несколько модельных задач, где полученные результаты сравниваются с аналогичными результатами, найденными с помощью других методов, и делается вывод о применимости разработанного алгоритмического и программного обеспечения к решению рассма-

триваемого класса задач. Полученные результаты используются в проектно-конструкторских работах по синтезу оптимального управления летательными аппаратами в сложных авиационно-космических комплексах [5]. Метод Luus-Jakola используется при решении задачи оптимизации целевой функции $f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, определенной на множестве допустимых решений $D = \{x | x_i \in [a_i, b_i], i = 1, 2, \dots, n\} \subseteq R^n$, и позволяет найти ее условный глобальный минимум на заданном множестве, т.е. такую точку $x^* \in D$, что $f(x^*) = \min_{x \in D} f(x)$. Для решения задачи поиска максимума достаточно изменить знак перед функцией на противоположный. При применении данного метода строится последовательность итераций из заданной начальной точки так, что в некоторой окрестности текущей точки с использованием равномерного распределения генериру-

ется определенное количество случайных точек с учетом размеров множества допустимых решений. Среди полученных точек выбирается наилучшая, и из нее процесс продолжается. При этом размер множества поиска сокращается от итерации к итерации вплоть до достижения их заданного числа. Как только заданное число итераций выполнено, завершается «проход». При переходе к следующему проходу размер множества поиска восстанавливается, а далее снова выполняется заданное число итераций. На каждой итерации размеры исследуемой области сокращаются, что позволяет обеспечить сходимость последовательности полученных таким образом приближенных решений к искомой точке глобального экстремума.

1. Задача нахождения оптимального программного управления дискретными системами

Постановка задачи.

Поведение модели объекта управления описывается разностным уравнением

$$x(t+1) = f(t, x(t), u(t)),$$

где t – дискретное время, $t \in T = [0, 1, \dots, N-1]$;

x – вектор состояния системы, $x \in R^n$;

u – вектор управления, $u \in U(t) \subseteq R^q$;

$U(t)$ – множество допустимых значений управления, для каждого значения t представляющее собой прямое произведение отрезков $[a_i(t), b_i(t)]$, $i = 1, 2, \dots, q$;

число шагов дискретного времени N задано;

$f(t, x, u) = (f_1(t, x, u), \dots, f_n(t, x, u))^T$ – непрерывная вектор-функция.

Правый конец траектории $x(N)$ свободен. Начальное состояние задано: $x(0) = x_0$. Множество допустимых процессов $D(0, x_0)$ – это множество пар $d = (x(\cdot), u(\cdot))$, включающих траекторию $x(\cdot) = \{x_0, x(1), \dots, x(N)\}$ и допустимое управление $u(\cdot) = \{u(0), u(1), \dots, u(N-1)\}$, где $u(t) \in U(t)$, удовлетворяющих уравнению модели объекта и начальному условию.

На множестве $D(0, x_0)$ определен функционал

$$I(d) = F(x_0, x(1), \dots, x(N); u(0), \dots, u(N-1)),$$

где $F(\cdot)$ – заданная непрерывная функция.

Требуется найти такую пару

$$d^* = (x^*(\cdot), u^*(\cdot)) \in D(0, x_0), \text{ что } I(d^*) = \max_{d \in D(0, x_0)} I(d).$$

Алгоритм решения задачи.

При использовании метода Luus-Jakola целевой функцией будет являться функционал $I(d) = I(x(\cdot), u(\cdot))$. Управление (решение) $u(\cdot)$ в процессе поиска представляется вектором-столбцом

$$u^j = (u_1^j(0), \dots, u_q^j(0), u_1^j(1), \dots, u_q^j(1), u_1^j(N-1), \dots, u_q^j(N-1))^T = (u_1^j, u_2^j, \dots, u_n^j)^T,$$

где $n = N \cdot q$; j – номер итерации. Здесь число n соответствует числу переменных, от которых зависит целевая функция. Приведем пошаговый алгоритм решения.

Шаг 1. Задать параметры метода: R – число генерируемых решений; r_{in} – вектор, характеризующий размер множества допустимых значений управления; γ – коэффициент уменьшения размера множества поиска; η – коэффициент восстановления начального множества поиска; P – максимальное число проходов; $ITER$ – число итераций, выполняемых за один проход. Положить $q=0$ (число проходов), $j=1$ (число итераций). Задать u^0 – начальное решение (приближение). Положить $u_{best}^j = u^0$.

Шаг 2. Положить $r^j = \eta^q \cdot r_{in}$ (вектор, характеризующий размеры текущей области поиска по управлению).

Шаг 3. Генерировать R решений:

$$u^{j+1,k} = u_{best}^j + D^k \cdot r^j, \quad k = 1, \dots, R,$$

где D^k – диагональная матрица со случайными взаимно независимыми элементами, равномерно распределенными на отрезке $[-1, 1]$;

u_{best}^j – наилучшее решение на j -й итерации. Если $u^{j+1,k} < a_i$, то $u^{j+1,k} = a_i$; если $u^{j+1,k} > b_i$, то $u^{j+1,k} = b_i$.

Шаг 4. Подсчитать значения функционала для R полученных решений и сравнить их с $I(x_{best}^j, u_{best}^j)$. Наилучшее решение принять в качестве $x_{best}^{j+1}, u_{best}^{j+1}$.

Шаг 5. Уменьшить размер множества поиска: $r^{j+1} = \gamma r^j$.

Шаг 6. Если $j < ITER$, то положить $j=j+1$ и перейти к шагу 3. Если $j \geq ITER$, то перейти к шагу 7.

Шаг 7. Положить $q=q+1$. Если $q < P$, положить $j=1$ и перейти к шагу 2. Иначе процесс завершить: в качестве решения u^* выбрать наилучшее достигнутое решение. В качестве приближенного решения выбрать пару $d^* = (x^*(\cdot), u^*(\cdot))$, где управление $u^*(\cdot)$ определяется компонентами вектора u^* .

2. Задача нахождения оптимального программного управления непрерывными системами

Постановка задачи.

Поведение модели объекта управления описывается дифференциальным уравнением

$$\dot{x} = f(t, x(t), u(t)),$$

где x – вектор состояния системы, $x \in R^n$;

u – вектор управления, $u = (u_1, \dots, u_q)^T \in U(t) \subseteq R^q$;

$U(t)$ – множество допустимых значений управ-

ления, для каждого значения t представляющее собой прямое произведение отрезков $[a_i(t), b_i(t)]$, $i=1, 2, \dots, q$;

t – непрерывное время, $t \in T = [t_0, t_N]$, начальный t_0 и конечный t_N моменты времени заданы;

$f(t, x, u) = (f_1(t, x, u), \dots, f_n(t, x, u))^T$ – непрерывно-дифференцируемая вектор-функция. Начальное состояние задано: $x(t_0) = x_0$.

Множество допустимых процессов $\mathbf{D}(t_0, x_0)$ – это множество пар $d = (x(t), u(t))$, включающих траекторию $x(t)$ и кусочно-непрерывное допустимое управление $u(t)$, где $u(t) \in U(t)$, удовлетворяющих дифференциальному уравнению модели объекта и начальному условию. На множестве допустимых процессов $\mathbf{D}(t_0, x_0)$ определен функционал качества управления

$$I(d) = \int_{t_0}^{t_N} f^0(t, x(t), u(t)) dt + F(x(t_N)),$$

где $f^0(t, x, u)$ и $F(x)$ – заданные непрерывные функции.

Требуется найти такую пару

$$d^* = (x^*(t), u^*(t)) \in \mathbf{D}(t_0, x_0),$$

что $I(d^*) = \min_{d \in \mathbf{D}(t_0, x_0)} I(d)$.

Стратегии поиска решения.

Первая стратегия – переход к соответствующей дискретной системе и ее оптимизация. Для решения задачи поиска оптимального программного управления непрерывной системой предлагается осуществить переход к задаче поиска оптимального программного управления дискретной детерминированной системой, а затем построить решение исходной задачи путем интерполяции значений в узлах сетки. При этом приближенное решение задачи (управление) ищется в виде кусочно-постоянных вектор-функций, поэтому результатом решения является субоптимальное управление. При использовании метода Luus-Jakola для решения поставленной задачи оптимизируется управление $u(\cdot)$. Целевой функцией является функционал $I(d) = I(x(\cdot), u(\cdot))$. Приведем пошаговый алгоритм.

Шаг 0. Переход к дискретной системе.

0.1. На отрезке $[t_0, t_N]$ выбрать N точек, в которых будет искаться оптимальное дискретное управление. Вычислить величину шага

$$h = \frac{t_N - t_0}{N}.$$

В результате формируется равномерная сетка $\{0, h, 2h, \dots, Nh\}$. Непрерывному управлению $u(t)$ соответствует дискретное управление $u(\cdot) = \{u(0), u(1), \dots, u(N-1)\}$, где $u(\hat{t}) = u(t_0 + \hat{t}h)$, $\hat{t} = 0, 1, \dots, N-1$, а траектории $x(t)$ – дискретный аналог: $x(\cdot) = \{x(0), x(1), \dots, x(N)\}$, где $x(\hat{t}) = x(t_0 + \hat{t}h)$, $\hat{t} = 0, 1, \dots, N$.

0.2. Дифференциальные уравнения модели объекта управления приближенно заменяются разностными с помощью численных методов [6]. Таким образом, состояние $x(\hat{t})$, $\hat{t} = 0, 1, \dots, N$, определяется численным методом решения дифференциального уравнения: $x(\hat{t}+1) = x(\hat{t}) + \Delta x(\hat{t})$, где приращение $\Delta x(\hat{t})$ определяется соотношениями выбранного численного метода, $\hat{t} = 0, 1, \dots, N-1$. Начальное условие при этом примет следующий вид: $x(0) = x_0$.

0.3. Значение функционала качества приближенно вычисляется с помощью численного метода интегрирования (методом трапеций).

Шаг 1. Задать параметры метода и начальное решение (приближение). Положить $q=0$ (число проходов), $j=1$ (число итераций).

Шаг 2. Определить вектор r^j , характеризующий размеры текущей области поиска по управлению.

Шаг 3. Генерировать R решений $u^{j+1,k}$.

Шаг 4. Подсчитать значения целевой функции для R полученных решений и сравнить их с $I(x_{best}^j, u_{best}^j)$. Наилучшее решение принять в качестве $x_{best}^{j+1}, u_{best}^{j+1}$.

Шаг 5. Уменьшить размер множества поиска.

Шаг 6. Если $j < ITER$, то положить $j=j+1$ и перейти к шагу 3.

Если $j < ITER$, то перейти к шагу 7.

Шаг 7. Положить $q=q+1$. Если $q < P$, положить $j=1$ и перейти к шагу 2. Иначе процесс завершить: в качестве решения u^* выбрать наилучшее достигнутое решение.

Шаг 8. Находится приближенное решение задачи: управление $u^*(t)$ в виде кусочно-постоянных вектор-функций и соответствующая траектория.

Шаги 1-7 изложенной выше методики применения метода Luus-Jakola совпадают с шагами 1-7 методики применения метода Luus-Jakola к задаче нахождения оптимального программного управления дискретными системами, поэтому здесь лишь кратко описаны их результаты.

Обычно полагают $\gamma \in [0, 75; 0, 95]$. Если R невелико, то γ можно уменьшить до 0,7; если R велико, лучше выбирать γ ближе к 0,9. В качестве начального приближения можно выбрать:

$$u^0 = \{u^0(0), \dots, u^0(N-1)\},$$

где $u_i^0(k) = \frac{a_i(t_0 + kh) + b_i(t_0 + kh)}{2}, k = 0, 1, \dots, N-1$,

а координаты вектора r_m задать следующим образом: $r_{m_i} = \max_{t \in [t_0, t_N]} [b_i(t) - a_i(t)]$.

Для предотвращения существенного сокращения координат вектора r^j можно установить минимальный порог ($10^{-7} \div 10^{-11}$), по дости-

жении которого значения координат вектора r^j далее не уменьшаются. Параметр η можно сначала взять поменьше ($\eta=0,89$) для первых нескольких десятков проходов, а затем увеличить ($\eta=0,91$). Размер множества поиска по каждой координате можно выбирать следующим образом:

$$r_{ini} = \left| u_{best\ pi}^q - u_{best\ pi}^{q+1} \right|, \text{ где } u_{best\ pi}^q > u_{best\ pi}^{q+1}$$

соответствующие координаты лучших решений в конце каждого прохода.

Вторая стратегия – применение итерационного метода динамического программирования (итерационного метода Лууса) [1]. Приведем пошаговый алгоритм.

Шаг 0. Разбить интервал времени $[t_0, t_N]$ на N стадий длиной $L = \frac{t_N - t_0}{N}$.

Считать управление кусочно-постоянным: $u(t_{k-1}) = \text{const}$ при $t \in [t_{k-1}, t_k]$, $k=1, \dots, N$.

Тогда
$$I = \sum_{k=1}^N \int_{t_{k-1}}^{t_k} f^0(t, x(t), u(t_{k-1})) dt + F(x(t_N)).$$

Шаг 1. Задать параметры: N – число стадий по времени; P – число проходов; $ITER$ – число итераций, выполняемых за один проход; r_{in} – вектор, характеризующий размер множества допустимых решений; γ – коэффициент уменьшения размера области поиска по управлению; η – коэффициент восстановления размера области поиска по управлению; R – число управлений, генерируемых в текущей точке. Положить $q=0$ (число проходов), $j=1$ (число итераций). Задать начальный закон управления $u^0(\cdot) = \{u(t_0), u(t_0 + L), \dots, u(t_N - L)\}$. Положить $u^{*j}(\cdot) = u^0(\cdot)$.

Шаг 2. Положить $r^j = \eta^q \cdot r_{in}$ (вектор, характеризующий размеры текущей области поиска по управлению).

Шаг 3. Решить уравнение $\dot{x} = f(t, x(t), u^{*j}(t_{k-1}))$, $k=1, \dots, N$, $x(0) = x_0$. Результатом является траектория $x^*(\cdot)$. Подсчитать значение функционала $I(x^*(\cdot), u^*(\cdot))$. Запомнить координаты вектора состояния $x^{*j}(t_{N-1})$.

Шаг 4. Реализовать поиск наилучшего решения на каждой стадии, выполняя попятное движение от конца (времени t_N) к началу (времени t_0).

4.1. На N -й стадии ($t \in [t_{N-1}, t_N]$):

– генерировать R допустимых векторов управления:

$$u^{j+1,m}(t_{N-1}) = u^{*j}(t_{N-1}) + D^m \cdot r^j, \quad m=1, \dots, R$$

с проверкой условия

$$u_i^{j+1,m}(t_{N-1}) \in [a_i(t_{N-1}), b_i(t_{N-1})], \quad i=1, \dots, q, \text{ где } D^m - \text{ди}$$

агональная матрица со случайными взаимно независимыми элементами, равномерно распределенными на отрезке $[-1, 1]$;

– решить R раз уравнение

$$\dot{x}(t) = f(t, x(t), u^{j+1,m}(t_{N-1})), \quad t \in [t_{N-1}, t_N]$$

с начальным условием $x(t_{N-1}) = x^{*j}(t_{N-1})$. В результате получить решения

$$x^{j+1,m}(t), \quad t \in [t_{N-1}, t_N], \quad m=1, \dots, R;$$

– вычислить R соответствующих значений функционала

$$I(x^{*j}(t_{N-1}), 1) = \int_{t_{N-1}}^{t_N} f^0(t, x^{j+1,m}(t), u^{j+1,m}(t_{N-1})) dt + F(x^{j+1,m}(t_N)); \quad m=1, \dots, R;$$

– среди полученных значений выбрать наименьшее, а соответствующее ему управление на N -й стадии обозначить $u^{*j+1}(t_{N-1})$.

4.2. На k -й стадии ($t \in [t_{k-1}, t_k]$):

– генерировать R допустимых векторов управления

$$u^{j+1,m}(t_{k-1}) = u^{*j}(t_{k-1}) + D^m \cdot r^j, \quad m=1, \dots, R$$

с проверкой условия

$$u_i^{j+1,m}(t_{k-1}) \in [a_i(t_{k-1}), b_i(t_{k-1})], \quad i=1, \dots, q;$$

– решить R раз уравнение модели с начальным условием $x(t_{k-1}) = x^{*j}(t_{k-1})$ и управлением $\{u^{j+1,m}(t_{k-1}), u^{*j+1}(t_k), \dots, u^{*j+1}(t_{N-1})\}$, где управления $u^{*j+1}(t_k), \dots, u^{*j+1}(t_{N-1})$ получены на предыдущих стадиях. В результате получить решения

$$x^{j+1,m}(t), \quad t \in [t_{k-1}, t_N], \quad m=1, \dots, R;$$

– вычислить R соответствующих значений функционала

$$\begin{aligned} I(x^{*j}(t_{k-1}), N-k+1) &= \\ &= \int_{t_{k-1}}^{t_k} f^0(t, x^{j+1,m}(t), u^{j+1,m}(t_{k-1})) dt + \\ &+ \sum_{s=k+1}^N \int_{t_{s-1}}^{t_s} f^0(t, x^{j+1,m}(t), u^{*j+1}(t_{s-1})) dt + \\ &+ F(x^{j+1,m}(t_N)); \end{aligned}$$

– среди полученных значений выбрать наименьшее, а соответствующее ему управление на k -й стадии обозначить $u^{*j+1}(t_{k-1})$.

4.3. На 1-й стадии ($t \in [t_0, t_1]$):

– генерировать R допустимых векторов управления:

$$u^{j+1,m}(t_0) = u^{*j}(t_0) + D^m \cdot r^j, \quad m=1, \dots, R$$

с проверкой условия $u_i^{j+1,m}(t_0) \in [a_i(t_0), b_i(t_0)]$, $i=1, \dots, q$;

– решить R раз уравнение модели с начальным условием $x(t_0) = x_0$ и управлением $\{u^{*,j+1}(t_0), u^{*,j+1}(t_1), \dots, u^{*,j+1}(t_{N-1})\}$, где управления $u^{*,j+1}(t_1), \dots, u^{*,j+1}(t_{N-1})$ найдены на предыдущих стадиях. В результате получить решения $x^{j+1,m}(t)$, $t \in [t_0, t_N]$, $m = 1, \dots, R$;

– вычислить R соответствующих значений функционала

$$I(x_0, N) = \int_{t_0}^{t_1} f^0(t, x^{j+1,m}(t), u^{j+1,m}(t_0)) dt + \\ + \sum_{s=2}^N \int_{t_{s-1}}^{t_s} f^0(t, x^{j+1,m}(t), u^{*,j+1}(t_{s-1})) dt + \\ + F(x^{j+1,m}(t_N));$$

– среди полученных значений выбрать наименьшее, а соответствующее ему управление на 1-й стадии обозначить $u^{*,j+1}(t_0)$. Итерация завершена.

Шаг 5. Уменьшить размер области поиска: $r^{j+1} = \gamma \cdot r^j$.

Шаг 6. Положить $j = j + 1$. Если $j < ITER$, то перейти к шагу 3. Иначе перейти к шагу 7.

Шаг 7. Положить $q = q + 1$. Если $q < P$, положить $j = 1$ и перейти к шагу 2. Иначе процесс завершить. В качестве решения выбрать последнее найденное управление и соответствующую ему траекторию.

3. Примеры

Пример 1. Поведение дискретной модели объекта управления описывается системой разностных уравнений:

$$x(1) = x(0)u^{(0)}; \\ x(2) = [1 + u(1)]x(1); \\ x(3) = x(2) + u(2).$$

Начальное условие: $x(0) = 15$. Ограничения на управление: $-1 \leq u(k) \leq 1$. Критерий качества управления:

$$I = \left[x^2(0) + x^2(1) + (2x^2(2) + x^2(3)) \exp(x^2(1)) \right] \cdot \\ \cdot \left[50 + u^2(0) + (u^2(1) + u^2(2)) \exp(u^2(0)) \right]^{1/2}.$$

Необходимо минимизировать критерий при помощи выбора управления, удовлетворяющего заданным ограничениям. Решим поставленную задачу при помощи предложенного метода.

Выберем следующие параметры метода: число генерируемых точек $R = 10$; число проходов $P = 10$; число итераций за один проход $ITER = 10$; коэффициент уменьшения размера множества поиска $\gamma = 0,85$; коэффициент восстановления начального множества поиска $\eta = 0,89$.

При $N = 3$ минимальное значение функци-

онала $I = 1595,78$ (в [1] приведено значение $I = 1596,47967$), оптимальное управление и траектория системы представлены в *таблице 1*.

Таблица 1

t	0	1	2	3
$u^*(t)$	-0,4253	-0,1028	-0,0849	-
$x^*(t)$	15	0,3059	0,2871	0,2017

Пример 2. Поведение непрерывной модели объекта управления описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_1 = u_4 - qx_1 - 17,6x_1x_2 - 23x_1x_6u_3; \\ \dot{x}_2 = u_1 - qx_2 - 17,6x_1x_2 - 146x_2x_3; \\ \dot{x}_3 = u_2 - qx_3 - 73x_2x_3; \\ \dot{x}_4 = -qx_4 + 35,2x_1x_2 - 51,3x_4x_5; \\ \dot{x}_5 = -qx_5 + 219x_2x_3 - 51,3x_4x_5; \\ \dot{x}_6 = -qx_6 + 102,6x_4x_5 - 23x_1x_6u_3; \\ \dot{x}_7 = -qx_7 + 46x_1x_6u_3; \\ \dot{x}_8 = 5,8(qx_1 - u_4) - 3,7u_1 - 4,1u_2 + \\ + q(23x_4 + 11x_5 + 28x_6 + 35x_7) - 5u_3^2 - 0,099,$$

где $q = u_1 + u_2 + u_4$, $0 \leq t \leq t_N = 0,2$.

Начальное условие:

$$x(0) = [0,1883; 0,2507; 0,0467; 0,0899; \\ 0,1804; 0,1394; 0,1046; 0]^T.$$

Ограничения на управление:

$$0 \leq u_1 \leq 20, 0 \leq u_2 \leq 6, 0 \leq u_3 \leq 4, 0 \leq u_4 \leq 20.$$

Критерий качества управления:

$$I = x_8(t_N).$$

Необходимо максимизировать критерий при помощи выбора управления, удовлетворяющего заданным ограничениям. Решим поставленную задачу при помощи двух описанных стратегий. Для численного решения системы дифференциальных уравнений выберем метод Рунге-Кутты 4-го порядка. Решим задачу при различном числе N точек разбиения при переходе к дискретной системе. Выберем следующие параметры метода: число генерируемых решений $R = 100$; число проходов $P = 10$; число итераций за один проход $ITER = 10$; коэффициент уменьшения размера множества поиска $0,8 \leq \gamma \leq 0,96$; коэффициент восстановления начального множества поиска $\eta = 0,89$. Результаты решения задачи представлены в *таблице 2* (в скобках даны значения, полученные в [1]).

При применении генетических алгоритмов для решения данной задачи наилучшее полученное значение функционала составило $I = 21,817$ [2].

Пример 3. Модель непрерывной детерминированной системы описывается системой диф-

Таблица 2

γ	1 стратегия			2 стратегия (ИДП)		
	N=11	N=27	N=40	N=11	N=27	N=40
0,80	21,176	21,263	21,376	21,472 (21,689)	21,461 (21,657)	21,583
0,83	21,262	21,457	21,472	21,506 (21,741)	21,560 (21,727)	21,681
0,87	21,347	21,533	21,503	21,693 (21,499)	21,673 (21,735)	21,737
0,90	21,512	21,652	21,631	21,692 (21,757)	21,692 (21,757)	21,767
0,93	21,637	21,676	21,681	21,745 (21,757)	21,759 (21,757)	21,774
0,96	21,623	21,652	21,683	21,754 (21,757)	21,754 (21,757)	21,772

дачи представлены в *таблице 3*. При применении генетических алгоритмов для решения данной задачи наилучшее полученное значение функционала составило $I=0,1342$ [2].

Заключение

В работе предложены алгоритмы нахождения оптимального программного управления нелинейными детер-

ференциальных уравнений:

$$\dot{x}_1 = -(2+u)(x_1 + 0,25) + (x_2 + 0,5) \exp\left(\frac{25x_1}{x_1 + 2}\right);$$

$$\dot{x}_2 = 0,5 - x_2 - (x_2 + 0,5) \exp\left(\frac{25x_1}{x_1 + 2}\right); \quad \dot{x}_3 = x_1^2 + x_2^2 + 0,1u,$$

где $0 \leq t \leq t_N = 0,78$.

Начальное условие: $x(0)=[0,09,0,09,0]^T$. Ограничения на управление: $-10 \leq u \leq 10$. Критерий качества управления: $I = x_3(t_N)$. Необходимо минимизировать критерий при помощи выбора управления, удовлетворяющего заданным ограничениям. Решим поставленную задачу при помощи двух описанных стратегий. Для численного решения системы дифференциальных уравнений выберем метод Рунге-Кутты 4-го порядка. Решим поставленную задачу при различном числе N точек разбиения при переходе к дискретной системе. Выберем следующие параметры метода: число генерируемых решений $R=100$; число проходов $P=10$; число итераций за один проход $ITER=10$; коэффициент уменьшения размера множества поиска $0,8 \leq \gamma \leq 0,96$; коэффициент восстановления начального множества поиска $\eta=0,89$. Результаты решения за-

нированными системами на основе метода Luus-Jakola (метода случайного поиска глобального условного экстремума с последовательной редукцией области исследования). Приведены модельные примеры, демонстрирующие применимость алгоритмов.

Литература

1. Luus R. Iterative dynamic programming. Mono-graphs and Surveys in Pure and Applied Mathematics, CHAPMAN & HALL/CRC, 2000.
2. Пантелеев А.В. Применение эволюционных методов глобальной оптимизации в задачах оптимального управления детерминированными системами. М.: Изд-во МАИ, 2013.
3. Пантелеев А.В., Метлицкая Д.В. Применение генетических алгоритмов с бинарным и вещественным кодированием для приближенного синтеза субоптимального управления детерминированными системами // Автоматика и телемеханика, 2011. №11. С. 117-129.
4. Пантелеев А.В., Метлицкая Д.В. Применение метода динамических сеток в задачах поиска оптимального управления дискретными детерминированными системами // Научный вестник МГТУ ГА, 2013. №195. С. 21-28.
5. Пантелеев А.В., Метлицкая Д.В. Применение генетических алгоритмов к задаче оптимального управления дальностью полета летательного аппарата типа воздух-воздух // Вестник Московского авиационного института, 2011. №4. Т. 18. С. 102-113.
6. Киреев В.И., Пантелеев А.В. Численные методы в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 2008.

Таблица 3

γ	1 стратегия			2 стратегия (ИДП)		
	N=11	N=30	N=40	N=11	N=30	N=40
0,80	0,13145	0,13225	0,13232	0,1323	0,1335	0,1334
0,83	0,13156	0,13303	0,13383	0,1332	0,1335	0,1336
0,87	0,13232	0,13324	0,13362	0,1339	0,1340	0,1342
0,90	0,13345	0,13384	0,13452	0,1341	0,1345	0,1347
0,93	0,13392	0,13472	0,13467	0,1351	0,1347	0,1351
0,96	0,13409	0,13475	0,13489	0,1355	0,1356	0,1356

УДК 621

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА РЕСУРСА

Анатолий Васильевич Гуляев

Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир,
ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)47-97-95



Проведено теоретическое обоснование основных положений формализации и обработки нечеткой информации в системе оперативного производственного мониторинга остаточного ресурса промышленного предприятия.

The theoretical justification of the main provisions of formalizing and processing fuzzy information in the system of operational industrial monitoring the residual life of the industrial enterprise.

Ключевые слова: базовая переменная, лингвистическая переменная, логическая переменная, мониторинг наличия ресурса, нечеткое множество, степень принадлежности, степень соответствия, производственный процесс, ресурс, степень уверенности, тип ресурса, функция принадлежности.

Keywords: basic variable, linguistic variable, boolean, monitoring of the availability of the resource, fuzzy set, degree of membership, the degree of compliance, manufacturing process, resource, degree of confidence, resource type, membership function.

Рассмотрим одно из предприятий, реализующее процесс производства во взаимодействии с другими, образующими систему

$$M_{\Pi} = \{ \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_s, \dots, \Pi_S \}, \quad (1)$$

где Π – общее обозначение предприятия (объекта);

s – порядковый номер объекта в множестве M_{Π} ;
 $s = |M_{\Pi}|$ – число объектов в множестве M_{Π} .

Для предприятия Π_s из множества M_{Π} на основе анализа его производственной деятельности могут быть сформированы следующие множества и определены следующие существенные характеристики.

Может быть сформировано множество выполняемых операций (реализуемых функций) в процессе целевого функционирования

$$M_f^s = \{ f_1^s, f_2^s, \dots, f_i^s, \dots, f_{J^s}^s \}, \quad s \in \overline{1, S}, \quad (2)$$

где f_i^s – выполняемая на s -м объекте i -я функция (операция);

i – номер функции в перечне выполняемых, без всякой привязки к технологическому процессу производства;

I^s – число функций, реализуемых на предприятии (объекте) Π_s при его функционировании (в общем случае $I^s \neq I^k$).

Множество различных типов ресурсов (номенклатура материалов), включая аналоги, необходимых для реализации всего заданного множества операций M_f^s при целевом функционировании объекта Π_s

$$M_r^s = \{ r_1^s, r_2^s, \dots, r_j^s, \dots, r_{J^s}^s \}, \quad s \in \overline{1, S}, \quad (3)$$

где r_j^s – некоторый j -й ресурс, который необходим на s -м объекте для реализации определенного подмножества функций $\{f_i^s\}^r$ из M_f^s в ходе производства;

j – номер типа ресурса;

J^s – число различных типов ресурса, имеющихся на предприятии (объекте) Π_s для обеспечения его функционирования (в общем случае $J^s \neq J^k$).

Множество объема ресурсов по типам, имеющихся на предприятии (объекте) Π_s для обеспечения его функционирования

$$M_v^s = \{ v_1^s, v_2^s, \dots, v_j^s, \dots, v_{J^s}^s \}, \quad s \in \overline{1, S}, \quad (4)$$

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ

где v_j^s – объем ресурса типа r_j^s , имеющегося на предприятии (объекте) Π_s для обеспечения его функционирования. Множество моментов времени, соответствующих реализации производства на предприятии (объекте) Π_s

$$M_t^s = \{t_1^s, t_2^s, \dots, t_l^s, \dots, t_{L^s}^s\}, \quad s \in \overline{1, S}, \quad (5)$$

где $t_1^s, t_{L^s}^s$ – моменты начала и конца процесса производства на предприятии (объекте) Π_s .

Необходимо отметить, что множество типов ресурсов M_r^s фактически представляет собой номенклатуру электронной компонентной базы, которая используется на предприятии (объекте) Π_s вообще, обеспечивая возможность реализации любой из функций (операций) $f_i^s \in M_f^s$. При этом объем имеющегося типа ресурса r_j^s определяется характеристикой v_j^s . Таким образом, r_j^s – наименование ресурса в номенклатуре используемых ресурсов на предприятии (объекте) Π_s , а v_j^s – численное выражение его имеющегося количества.

Очевидно, что для реализации функции f_i^s необходима не вся номенклатура, используемого на предприятии Π_s при производстве ресурса, а только некоторое ее подмножество. Таким образом, можно утверждать, что существует отображение множества функций (операций) M_f^s в множество типов ресурсов M_r^s . При реализации функции f_i^s в ряде случаев (при определенных условиях) различные типы ресурсов (различные номенклатуры). Так, например, при производстве радиоэлектронной аппаратуры электронная компонентная база (ЭКБ) одного типа, но разных поставщиков, аналогичных типов или вариантов исполнения. Использование аналога при производстве приводит либо к изменению ее свойств, т.е. качества, либо ведет к изменению стоимости производства.

С учетом изложенного выше может быть введено нечеткое отображение вида

$$M_f^s \xrightarrow{\mu_{fr}^s} M_r^s, \quad (6)$$

где μ_{fr}^s – нечеткое отображение, устанавливающее соответствие между элементами f_i^s и r_j^s для процесса производства, реализуемого на предприятии (объекте) $\Pi_s, s \in \overline{1, S}$.

Введем обозначение $P_{ri\lambda}^s, \lambda = \overline{1, \Lambda_i}$ для множеств типов ресурсов, допустимых для обеспечения реализации функции f_i^s . Здесь Λ_i – число множеств типов ресурсов, которые могут использоваться для реализации функции f_i^s . Тогда имеет место следующее строгое соотношение

$$P_{ri\lambda}^s \subset M_r^s. \quad (7)$$

Подмножество $P_{ri\lambda}^s$ имеет вид

$$P_{ri\lambda}^s = \left\{ r_{j_1}^{si_\lambda}, r_{j_2}^{si_\lambda}, \dots, r_{j_k}^{si_\lambda}, \dots, r_{j_{K_i}}^{si_\lambda} \right\}, \quad (8)$$

где $\{j_1, j_2, \dots, j_k, \dots, j_{K_i}\}$ – маргинальная подпоследовательность последовательности

$\{1, 2, \dots, j, \dots, J^s\}$, т.е. множество тех номеров типов ресурсов из M_r^s , которые вошли в $P_{ri\lambda}^s$. При этом обозначение (si_λ) в верхнем индексе указывает на то, что рассматривается тип ресурса $r_{j_k}^{si_\lambda}$, который допустим к использованию на предприятии (объекте) Π_s для обеспечения реализации функции f_i^s , т.е. l – порядковый номер аналога из числа допустимых типов ресурса.

Множество подмножеств $P_{ri\lambda}^s$ обозначим как $M_{P_r}^s$

$$M_{P_r}^s = \left\{ P_{ri\lambda}^s \mid i = \overline{1, I^s}; \lambda = \overline{1, \Lambda_i} \right\}, \quad (9)$$

оно содержит возможные сочетания типов ресурсов, в том числе сочетания с допустимыми аналогами типов ресурса, которые могут быть использованы на предприятии Π_s для реализации каждой из функций $f_i^s \in M_f^s$. При этом

$$M_{P_r}^{*s} = \left\{ P_{ri\lambda}^s \mid i = \overline{1, I^s}; \lambda = 1 \right\} \quad (10)$$

является множеством типов ресурсов, наилучшим образом обеспечивающих реализацию функций $f_i^s, i = \overline{1, I^s}$, которые предусмотрены целевым функционированием предприятия (объекта) Π_s . Условие (10) не предусматривает варианты с использованием аналогов, т.е. вариантов вида

$$\left\{ P_{ri\lambda}^s \mid i = \overline{1, I^s}; \lambda = \overline{2, \Lambda_i} \right\}$$

обеспечения реализации функций $f_i^s, i = \overline{1, I^s}$.

Необходимо отметить, что рассматривается организация производства, при которой тип ресурса $r_{j_k}^{si_\lambda, \lambda \geq 2}$ выступает как аналог при обеспечении функции f_i^s , но как основной $r_{j_k}^{si_\lambda, \lambda=1}$ при обеспечении функции

$$f_y^s \left(r_{j_k}^{si_{\lambda-1}} \equiv r_{j_k}^{si_{\lambda-2}} \right).$$

Будем считать, нечеткая характеристическая функция

$$\mu_{fr}^s = \begin{cases} \mu_1^s, & \text{если } i = k; i, k \in \overline{1, I^s}; \\ 1 - \mu_1^s, & \text{если } i \neq k; i, k \in \overline{1, I^s}. \end{cases} \quad (11)$$

где

$$\mu_1^s \in \left[\mu_{1\text{доп}}^s; 1 \right], \quad (12)$$

при этом $\mu_{1\text{доп}}^s$ – нижняя степень соответствия подмножества $P_{ri\lambda}^s$ типов ресурсов, которые допускаются при производстве для реализации функции (операции) f_i^s на предприятии (объекте) Π_s .

Будем исходить из того, что нечеткая степень соответствия μ_1^s определяется как минимальная

на множестве типов ресурсов использованных для обеспечения реализации функции (операции) f_i^s на предприятии (объекте) Π_s , т.е.

$$\mu_1^s(P_{r_{i\lambda}}^s) = \min_{j_k \in \{j_1, j_2, \dots, j_{K_i}\}} [\mu^s(r_{j_k}^{s i \lambda}) \geq \mu_{j_{\text{доп}}}^{s i}], \quad (13)$$

при этом $\mu_{j_{\text{доп}}}^{s i}$ – нижняя степень допустимости использования типа ресурса $r_{j_k}^{s i \lambda}$ при производстве для реализации функции (операции) f_i^s на предприятии (объекте) Π_s .

Тогда с учетом изложенного выше нечеткое множество вида

$$\mu_1^s(P_{r_{i\lambda}}^s) = \left\{ \langle \mu^s(r_{j_1}^{s i \lambda}) / r_{j_1}^{s i \lambda} \rangle, \langle \mu^s(r_{j_2}^{s i \lambda}) / r_{j_2}^{s i \lambda} \rangle, \dots \right. \\ \left. \dots, \langle \mu^s(r_{j_k}^{s i \lambda}) / r_{j_k}^{s i \lambda} \rangle, \dots, \langle \mu^s(r_{j_{K_i}}^{s i \lambda}) / r_{j_{K_i}}^{s i \lambda} \rangle \right\} \quad (14)$$

представляет собой нечеткую характеристику номенклатур, обеспечивающих реализацию функции (операции) f_i^s на предприятии (объекте) Π_s .

Очевидно, что актуальными при производстве для реализации функции (операции) f_i^s на предприятии (объекте) Π_s являются такие подмножества $P_{r_{i\lambda}}^s$ типов ресурсов, для которых

$$\mu_1^s(P_{r_{i\lambda}}^s) \geq \mu_1^s. \quad (15)$$

Если условие (11) выполняется, то это позволяет утверждать, что эксперт-технолог «хорошо» определил допустимость использования подмножеств $P_{r_{i\lambda}}^s$ типов ресурсов для реализации функций (операции) f_i^s на предприятии (объекте) Π_s . Для количественной характеристики реализуемости заданного перечня функций (операции) f_i^s , $i = \overline{1, I^s}$ на предприятии (объекте) Π_s используем отображение следующего вида

$$M_r^s \xleftrightarrow{\mu_{rv}^{si}} M_v^s, \quad (16)$$

которое сопоставляет каждому типу ресурса $r_{j_k}^{s i \lambda}$ его наличествующий на предприятии (объекте) Π_s объем $v_{j_k}^{s i \lambda}$,

$$\mu_{rv}^{si} \in \begin{cases} [\mu_2^s; 1], & \text{если } v_{j_k}^{s i \lambda} \geq v_{j_k \text{ доп}}^{s i \lambda}; \\ [0; (1 - \mu_2^s)], & \text{если } v_{j_k}^{s i \lambda} < v_{j_k \text{ доп}}^{s i \lambda}. \end{cases} \quad (17)$$

$$\hat{\mu}_{rv}^{si} \in \begin{cases} 1, & \text{если } \mu_{rv}^{si} \in [\mu_2^s; 1], \text{ т.е. } \mu_2^s \leq \mu(r_{j_k}^{s i \lambda}, v_{j_k}^{s i \lambda}) \leq 1; \\ 0,5, & \text{если } \mu_{rv}^{si} \in [(1 - \mu_2^s); \mu_2^s], \text{ т.е. } (1 - \mu_2^s) \leq \mu(r_{j_k}^{s i \lambda}, v_{j_k}^{s i \lambda}) < \mu_2^s; \\ 0, & \text{если } \mu_{rv}^{si} \in [0; (1 - \mu_2^s)], \text{ т.е. } 0 \leq \mu(r_{j_k}^{s i \lambda}, v_{j_k}^{s i \lambda}) < (1 - \mu_2^s). \end{cases} \quad (22)$$

$$\text{где } \mu_2^s \in [\mu_{2 \text{ доп}}^s; 1], \quad (18)$$

при этом $\mu_{2 \text{ доп}}^s$ – нижняя граница степени уверенности, что имеющегося объема $v_{j_k}^{s i \lambda}$ ресурса типа $r_{j_k}^{s i \lambda}$ достаточно для обеспечения реализации функции (операции) f_i^s на предприятии (объекте) Π_s в течении промежутка времени, необходимого для его восполнения (до очередной поставки).

Степень уверенности (нечеткость) в формуле (18) учитывает неопределенность, присущую задаче поставок ресурса заданного типа. Эта неопределенность обусловлена случайностью потребности ресурса другими предприятиями Π_z , $z \neq s$, $z = \overline{1, S}$. Принимая во внимание изложенное выше, выражение (17) можно переписать в следующем виде

$$\mu_{rv}^{si} \in \begin{cases} \mu(r_{j_k}^{s i \lambda}, v_{j_k}^{s i \lambda}) \geq \mu_2^s; \\ \mu(r_{j_k}^{s i \lambda}, v_{j_k}^{s i \lambda}) < (1 - \mu_2^s). \end{cases} \quad (19)$$

Проанализируем условия выражения (19). Его частный случай, при котором

$$\mu(r_{j_k}^{s i \lambda}, v_{j_k}^{s i \lambda}) = 0 \quad (20)$$

соответствует полному отсутствию ресурса типа $r_{j_k}^{s i \lambda}$ на предприятии (объекте) Π_s ($v_{j_k}^{s i \lambda} = 0$).

В том случае, если выполняется условие

$$\mu(r_{j_k}^{s i \lambda}, v_{j_k}^{s i \lambda}) \in [0; (1 - \mu_2^s)], \quad (21)$$

то это свидетельствует о снижении запаса ресурса $r_{j_k}^{s i \lambda}$ на предприятии (объекте) Π_s ниже предельно допустимого уровня $v_{j_k \text{ доп}}^{s i \lambda}$.

При этом μ_2^s – уровень, устанавливаемый для мониторинга наличия требуемого объема ресурса типа $r_{j_k}^{s i \lambda}$, надежно обеспечивающего процесс производства с требуемым качеством.

Выражения (17) и (19) являются основой для нечеткого подхода к мониторингу наличия требуемого объема ресурса типа $r_{j_k}^{s i \lambda}$. Для перехода к четкому варианту этой задачи целесообразно использовать следующий прием, при котором нечетким показателям устанавливаются в соответствие конкретные значения.

Принимая во внимание, что индексы i, k и l имеют смысл в обозначении имеющегося $v_{jk}^{si\lambda}$ объема ресурса как его соотношение с обеспечиваемыми функциями, то с учетом этого выражение (22) можно переписать в следующем виде.

$$\hat{\mu}_{rv}^s \in \begin{cases} 1, & \text{если } \mu_{rv}^s \in [\mu_2^s; 1], \text{ т.е. } \mu_2^s \leq \mu(r_j^s, v_j^s) \leq 1; \\ 0,5, & \text{если } \mu_{rv}^s \in [(1-\mu_2^s); \mu_2^s], \text{ т.е. } (1-\mu_2^s) \leq \mu(r_j^s, v_j^s) < \mu_2^s; \\ 0, & \text{если } \mu_{rv}^s \in [0; (1-\mu_2^s)], \text{ т.е. } 0 \leq \mu(r_j^s, v_j^s) < (1-\mu_2^s). \end{cases} \quad (23)$$

В форме (23) выражение имеет смысл как критерий для принятия управляющих решений по поддержанию ресурса типа r_j^s в объеме, гарантирующем выполнение всех необходимых функций, реализуемых на предприятии P_s , в том числе и с учетом использования ресурса этого типа в качестве аналогов при обеспечении функций, для которых он не является основным типом ресурса $r_{jk}^{si\lambda}$, $\lambda = \overline{2, \Lambda_i}$.

Из выражения (23) следует, что при $\hat{\mu}_{rv}^s = 1$ на предприятии P_s имеется запас типа ресурса r_j^s в объеме, превышающем требуемый уровень гарантированного обеспечения процесса производства $v_j^s \geq v_{j\text{доп}}^s$, при $\hat{\mu}_{rv}^s = 0$ он на предприятии P_s отсутствует ($v_j^s = 0$), что автоматически означает невозможность реализации функции f_i^s (см. выражение (6)), для которой данный тип ресурса является основным ($r_{jk}^{si\lambda=1}$), а также невозможность использования его в качестве аналогов для обеспечения реализации других функций, где это допустимо. Снижение $\hat{\mu}_{rv}^s$ до значения 0,5 является основанием (признаком) для организации работ по возобновлению ресурса типа r_j^s до объема $v_j^s \geq v_{j\text{доп}}^s$ гарантирующего обеспечение процесса производства.

Введем обозначение для множеств объемов ресурсов, обеспечивающих выполнение только функции f_i^s в ходе процесса производства на предприятии $P_s - P_{v_i}^s$. Тогда с учетом всего изложенного выше можно утверждать, что $P_{v_i}^s$ есть результат отображения M_v^s имеющихся на предприятии P_s объемов ресурсов по типам при отображении μ_{fv}^s

$$\mu_{fv}^s = \mu_{fv}^s \mu_{rv}^s, \quad (24)$$

т.е.

$$P_{v_i}^s = \{v_{j_1}^{si}, v_{j_2}^{si}, \dots, v_{j_k}^{si}, \dots, v_{j_{k_i}}^{si}\}, \quad i = \overline{1, I^s}, s = \overline{1, S}. \quad (25)$$

Можно утверждать, что декартовое произведение

$$M_f^s \times M_{P_r}^s \times M_v^s \quad (26)$$

охватывает все возможные сочетания кортежей вида

$$(f_i^s, P_{ri\lambda}^s, P_{vi\lambda}^s), \quad (27)$$

т.е. функции f_i^s , реализуемой в ходе процесса производства на предприятии P_s множества типов ресурсов $P_{ri\lambda}^s$, обеспечивающих ее реализацию и множеств объемов ресурсов $P_{vi\lambda}^s$, имеющихся на предприятии для этого.

Тогда подмножество F^s вида

$$F^s \subset M_f^s \times M_{P_r}^s \times M_v^s, \quad (28)$$

для которого имеет место соотношение (см. выражение 29).

$$F^s = \left\{ \left\langle \mu_F(f_i^s, P_{ri\lambda}^s, P_{vi\lambda}^s) / (f_i^s, P_{ri\lambda}^s, P_{vi\lambda}^s) \right\rangle \mid \left(f_i^s, P_{ri\lambda}^s, P_{vi\lambda}^s \right) \in M_f^s \times M_{P_r}^s \times M_{P_v}^s, \mu_{fv}^s \in [\mu_1^s; 1], i = \overline{1, I^s}, \lambda = \overline{1, \Lambda_i} \right\}. \quad (29)$$

Отображение вида

$$F^s \xrightarrow{\mu_i^{si}} M_i^s \quad (30)$$

устанавливает соответствие между кортежем (27) и временем начала реализации функции f_i^s , с использованием ресурса типа

$$r_{jk}^{si\lambda}, \quad j_k \in \{j_k \mid k = \overline{1, K_i}\}, \quad \lambda = \overline{1, \Lambda_i}$$

при его имеющемся объеме $v_{jk}^{si\lambda}$, $j_k \in \{j_k \mid k = \overline{1, K_i}\}$, $\lambda = \overline{1, \Lambda_i}$ на предприятии P_s . Для каждой функции f_i^s , выполняемой на предприятии P_s , существует некоторый временной интервал δ_i^s , требуемый для ее реализации. Он характерен для конкретного предприятия, поскольку определяется технологическим процессом и технологическим оснащением производства на предприятии P_s . Момент завершения реализации функции f_i^s может быть определен по формуле

$$t_{ki}^s = t_{hi}^s + \delta_i^s. \quad (31)$$

Поскольку учет объемов v_j^s , $j = \overline{1, J^s}$ вида сырья (типов ресурсов) при производстве на предприятии P_s , в частности радиоэлектронной аппаратуры, осуществляется в единицах, то при задании базового множества v_j^s можно рассматривать как целочисленную переменную. Прак-

тика показывает, что для каждого типа ресурса (вида сырья) r_j^s существует объем $v_{j\max}^s$, превышение которого нежелательно. Это обусловлено тем, что, во-первых, возрастают расходы на оборотные средства предприятия P_s ; во-вторых, при ограниченных складских мощностях предприятия P_s сокращаются возможности для содержания других типов ресурсов. В то же время, как уже отмечалось ранее, существует некоторый объем, обозначим его $v_{j\min}^s$, при снижении до которого имеющегося объема v_j^s вероятность прекращения производственного процесса по реализации функции f_i^s на предприятии P_s возрастает практически до единичного значения. Очевидно, что для величин $v_{j\min}^s$, $v_{j\max}^s$ и $v_{j\text{доп}}^s$ выполняется следующее соотношение

$$v_{j\min}^s < v_{j\text{доп}}^s < v_{j\max}^s. \quad (32)$$

Рассмотрим более детально процесс расходования типа ресурса (вида сырья) r_j^s в ходе производства конечной продукции. Очевидно, что его интенсивность зависит от производственных мощностей, потребности в готовой продукции, для которой ресурс типа r_j^s используется при ее производстве, т.е. от самого продукта, хранящегося на складе предприятия P_s .

Естественно предположить, что имеется отображение (обозначим его φ_{ij}^s) объема v_j^s ресурса типа r_j^s во временной интервал t_j^s . Суть введенной таким образом характеристики – продолжительность функционирования предприятия P_s по типу ресурса r_j^s .

$$\{v_j^s\} \xrightarrow{\varphi_{ij}^s} \{t_j^s\}, \quad j = \overline{1, J^s}. \quad (33)$$

Целесообразность использования t_j^s для организации процедуры мониторинга наличия ресурса типа r_j^s по сравнению с его объемом v_j^s обусловлена тем, что последняя характеристика (v_j^s) не учитывает «текущий режим потребления» ресурса типа r_j^s производством на предприятии P_s , т.е. φ_{ij}^s (интенсивность реализации функций вида f_i^s , для которых тип ресурса r_j^s используется как основное сырье или как аналог, производительность выпуска готовой продукции, а также такие особенности как время, необходимое на доставку сырья на предприятие P_s , время на проведение анализов по входному контролю качества сырья и закладку его на склад как ресурса типа r_j^s).

Для оценки производственного процесса, реализуемого на предприятии P_s , ресурсом типа r_j^s , т.е. мониторинга его наличного объема v_j^s , целесообразно ввести понятие состояние – E_j^s . Принимая во внимание выражения (32) и (33), определим понятие состояния E_j^s предпри-

ятия P_s по ресурсу типа r_j^s как длительность его целевого функционирования с использованием ресурса типа r_j^s . Тогда моменты времени $t_{j\min}^s$, $t_{j\max}^s$ практически полностью определяют интервал возможных значений объема v_j^s ресурса типа r_j^s на предприятии P_s .

Для описания состояния предприятия P_s по наличию ресурса r_j^s введем лингвистическую переменную [1, 3, 4, 5] «Наличие ресурса типа M ». Для ее краткого обозначения используем – R_j^s , т.е.:

$$R_j^s \equiv \text{«Наличие ресурса типа } r_j^s\text{»}. \quad (34)$$

Пусть V_j^s – терм-множество [1, 3, 4] лингвистической переменной R_j^s :

$$V_j^s = \{V_{jn}^s \mid n = \overline{1, N_j^s}\}, \quad (35)$$

где V_{jn}^s – n -е значение, которое может принимать лингвистическая переменная R_j^s , $V_{jn}^s \in V_j^s$.

Число значений N_j^s (мощность терм-множества $|V_j^s| = N_j^s$) лингвистической переменной R_j^s может быть определена исходя из практических потребностей детализации мониторинга наличия ресурса и длительности интервала $[t_{j\min}^s; t_{j\max}^s] = T_j^s$. При этом t_j^s является базовой переменной [1, 2, 4, 5] для лингвистической переменной R_j^s .

С учетом изложенного выше лингвистическая переменная «Наличие ресурса типа r_j^s » может быть представлена следующим кортежем

$$\left\langle R_j^s, V_j^s = \{V_{jn}^s \mid n = \overline{1, N_j^s}\}, T_j^s \right\rangle. \quad (36)$$

При этом значение V_{jn}^s , n -е значение, которое может принимать лингвистическая переменная R_j^s , представляет собой нечеткую переменную, формализуемую нечетким множеством

$$\tilde{V}_{jn}^s = \left\{ \left\langle \mu_{V_{jn}^s}(t_j^s) / t_j^s \right\rangle \mid t_j^s \in \text{supp } \tilde{V}_{jn}^s \right\}. \quad (37)$$

где $\mu_{V_{jn}^s}(t_j^s)$ – функция принадлежности, отображающая значения базовой переменной $t_j^s \in \text{supp } \tilde{V}_{jn}^s$ в интервал $[0; 1]$.

В качестве практического примера рассмотрим случай лингвистической переменной R_j^s , с терм-множеством V_j^s , включающим четыре понятия:

$$V_j^s = \{V_{jn}^s \mid n = \overline{1, 4}\} = \{V_{j1}^s, V_{j2}^s, V_{j3}^s, V_{j4}^s\},$$

каждое из которых характеризует состояние по типу ресурса r_j^s . Пусть термы $V_{jn}^s \in V_j^s$ формализованы соответствующими нечеткими множествами, графики функций принадлежности которых приведены на рисунке 1.

Тогда $\mu_{V_{j3}^s}(t_j^s)$ степень соответствия базового значения t_j^s лингвистическому значению $V_{j3}^s = \text{«хорошее»}$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ

$$\begin{aligned}
 V_{j1}^s &= \text{«неудовлетворительное»} & \tilde{V}_{j1}^s &= \left\{ \left\langle \mu_{V_{j1}^s}(t_j^s) / t_j^s \right\rangle \right\}; \\
 V_{j2}^s &= \text{«удовлетворительное»} & \tilde{V}_{j2}^s &= \left\{ \left\langle \mu_{V_{j2}^s}(t_j^s) / t_j^s \right\rangle \right\}; \\
 V_{j3}^s &= \text{«хорошее»} & \tilde{V}_{j3}^s &= \left\{ \left\langle \mu_{V_{j3}^s}(t_j^s) / t_j^s \right\rangle \right\}; \\
 V_{j4}^s &= \text{«отличное»} & \tilde{V}_{j4}^s &= \left\{ \left\langle \mu_{V_{j4}^s}(t_j^s) / t_j^s \right\rangle \right\}.
 \end{aligned}$$

Для того, чтобы определить состояние предприятия Π_s на предмет реализации функции f_i^s , необходимо рассмотреть этот вопрос в связи с множеством $P_{r_{i\lambda}}^s$ (см. выражения (6) – (8)). По аналогии с изложенным выше имеем

$$\tilde{P}_{r_i}^s = \left\{ \left\langle \mu_{P_{r_i}^s}(R_j^{si}) / R_j^{si} \right\rangle \right\}, R_j^{si} \mid r_j^{si} \in P_{r_i}^s, \quad (38)$$

$$\mu_{P_{r_i}^s}(R_j^{si}) = \left\{ \left\langle \mu_{\mu_{P_{r_i}^s}}(V_{jn}^s) / V_{jn}^s \right\rangle \right\}, R_j^{si} \mid r_j^{si} \in P_{r_i}^s. \quad (39)$$

Выражение (38), отражающее состояние предприятия Π_s в аспекте возможности реализации функции f_i^s , представляет собой нечеткое множество $\tilde{P}_{r_i}^s$ второго уровня.

Сопоставим функции f_i^s логическую переменную ϕ_i^s , которая принимает единичное значение, если условия для реализации, связанной с ней функции f_i^s , выполняются. Как следует из ранее изложенного, возможность реализации функции f_i^s на предприятии Π_s обеспечивается при условии наличия требуемых объемов хотя бы для одного из допустимых множеств типов ресурсов $P_{r_{i\lambda}}^s = \{r_{j_1}^{si}, r_{j_2}^{si}, \dots, r_{j_k}^{si}, \dots, r_{j_{k_i}}^{si}\}$:

$$\phi_i^s = \begin{cases} 0 \Leftrightarrow t_{r_{\zeta\lambda}}^s \leq t_{r_{\zeta\lambda}}^s \text{ доп} \mid P_{r_{\zeta\lambda}}^s \in M_r^s, \zeta = i, \lambda \in \{1, \dots, \Lambda_i\}. \\ 1 \Leftrightarrow \exists V_{r_{\zeta\lambda}}^s \mid P_{r_{\zeta\lambda}}^s \in M_r^s, \zeta = i, \lambda \in \{1, \dots, \Lambda_i\}. \end{cases} \quad (40)$$

$$(\Pi_s, r_j^s)$$

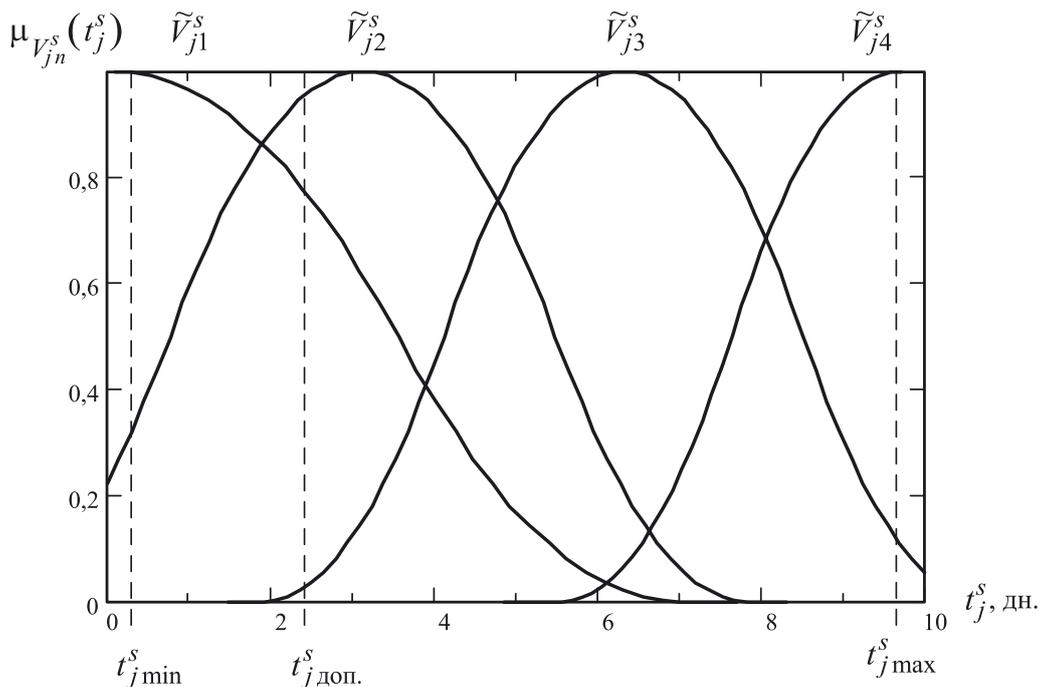


Рис. 1. Функции принадлежности для терм-множества $\{V_{j1}^s, V_{j2}^s, V_{j3}^s, V_{j4}^s\}$

Из этого следует, что возможность реализации функции f_i^s на предприятии P_s обеспечивается наименьшим объемом типа ресурса из тех, которые входят в P_{ri}^s , $\lambda = 1, \Lambda_i$.

Используя рисунок 1 и связанные с ним введенные ранее обозначения, рассмотрим подробнее структуру нечеткого множества (38). Оно имеет вид аналогичный приведенному ниже

$$\tilde{P}_{ri}^s = \{ \langle \text{отл. / ЭКБ}_1 \rangle, \langle \text{хор. / ЭКБ}_2 \rangle, \dots, \langle \text{хор. / ЭКБ}_q \rangle, \dots, \langle \text{удовл. / ЭКБ}_Q \rangle \}. \quad (41)$$

Таким образом, структура нечеткого множества \tilde{P}_{ri}^s следующая:

$$\tilde{P}_{ri}^s = \left\{ \left\langle \tilde{V}_{n_{jk}}^{si} / r_{jk}^{si} \right\rangle \mid j_k \in \{j_1, \dots, j_{K_i}\} \right\}, \quad (42)$$

В выражении (42) в соответствии с (37)

$$\tilde{V}_{n_{jk}}^{si} = \left\{ \left\langle \mu_{V_{n_{jk}}^{si}} \left(t_{jk}^{si} \right) / t_{jk}^{si} \right\rangle \right\}, \quad n_{jk} \in \{1, \dots, N_{jk}^{si}\}. \quad (43)$$

Поскольку по своей сути нечеткие множества (37) и (43) эквивалентны:

$$\tilde{V}_{n_{jk}}^{si} \equiv \tilde{V}_{jn}^s,$$

то с учетом выражения (42) имеем для степени обеспеченности возможности реализации функции f_i^s комплексом основных типов ресурсов (без использования аналогов) на предприятии P_s :

$$\mu(f_i^s) = \mu(P_{ri}^s) = \bigwedge_{j_k \in \{j_1, \dots, j_{K_i}\}} \tilde{V}_{n_{jk}}^{si} = \min_{j_k \in \{j_1, \dots, j_{K_i}\}} \tilde{V}_{n_{jk}}^{si}. \quad (44)$$

С учетом выражения (43) имеем

$$\mu(f_i^s) = \min_{j_k \in \{j_1, \dots, j_{K_i}\}} \min_{n_{jk} \in \{1, \dots, N_{jk}^{si}\}} \mu_{V_{n_{jk}}^{si}} \left(t_{jk}^{si} \right). \quad (45)$$

При использовании для выпуска конечной продукции аналогов рецептов (типов ресурсов) выражение (45) может быть уточнено следующим образом:

$$\mu(f_i^s) = \max_{\lambda=1, \Lambda_i} \min_{j_k \in \{j_1, \dots, j_{K_i}\}} \min_{n_{jk} \in \{1, \dots, N_{jk}^{si}\}} \mu_{V_{n_{jk}}^{si}} \left(t_{jk}^{si} \right). \quad (46)$$

Полученное выражение (46) позволяет оценить состояние обеспеченности ресурсом возможности реализации на предприятии P_s функции f_i^s . Тогда для множества функций, реализуемых в заданный момент времени $\{f_i^s\}^t = M_f^{st}$ на предприятии P_s , имеем

$$\begin{aligned} \mu(M_f^{st}) &= \min_{i \mid f_i^s \in \{f_i^s\}^t} \mu(f_i^s) = \\ &= \min_{i \mid f_i^s \in \{f_i^s\}^t} \max_{\lambda=1, \Lambda_i} \min_{j_k \in \{j_1, \dots, j_{K_i}\}} \min_{n_{jk} \in \{1, \dots, N_{jk}^{si}\}} \mu_{V_{n_{jk}}^{si}} \left(t_{jk}^{si} \right). \end{aligned} \quad (47)$$

С учетом всего изложенного выше можно сформулировать задачу. Необходимо, чтобы для произвольного момента времени t^* состояние обеспеченности по типам ресурсов, позволяющих надежно и с заданным качеством реализовать множество функций $\{f_i^s\}^t$, было максимальным

$$\mu(M_f^{st}) \rightarrow \max, \quad (48)$$

при этом необходимо по возможности минимизировать затраты на оборотные средства, т.е. обеспечить

$$\sum_{j=1}^{J^s} v_j^s \rightarrow \min, \quad (49)$$

при неизменном объеме V^s складских мощностей предприятия P_s .

Сформулированные требования находятся в отношении противоречия, поскольку снижение затрат на оборотные средства (выполнение условия (49)) и, соответственно, объемов v_j^s ресурсов типа r_j^s , хранящихся на предприятии P_s для обеспечения всех реализуемых $f_i^s \in M_f^s$, потенциально влечет за собой сокращение характеристик t_{jk}^{si} , $j_k \in \{j_1, \dots, j_{K_i}\}$, что, в свою очередь, приводит к уменьшению величины $\mu(M_f^{st})$. Это позволяет утверждать о существовании, если не оптимального в общепринятом смысле варианта заполнения объема V^s складских мощностей предприятия P_s различными типами ресурса, учитывающими важность заказчиков, заказываемую ими конечную продукцию, определяющую реализуемые функции $f_i^s \in M_f^s$, частоту реализации той или иной функции f_i^s на множестве M_f^s , объем и марку выпускаемой продукции.

Литература

1. Данилюк С.Г. Модели и алгоритмы формализации и обработки информации для экспертных систем поддержки поиска неисправностей на основе вероятностно-лингвистического метода диагностирования. Серпухов: Изд-во ВА РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухове), 2013. 224 с.
2. Данилюк С.Г., Гуляев А.В. Задача рационального управления доставкой ресурса при производстве продукции специального назначения в условиях наличия слабоструктурированной информации // Известия Института инженерной физики, 2013. №3(29). С. 37-40.
3. Данилюк С.Г., Звягинцев О.А., Форсов Г.Л., Якимов Д.А. Вероятностно-лингвистическая диагностическая модель: расширение возможностей // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С. 46-50.
4. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 168 с.
5. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.

УДК 621.395

О СПОСОБЕ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕНЕНИЯ МЕРЫ НЕСЕПАРАБЕЛЬНОСТИ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ОБЛАСТИ СВЯЗИ

Физули Камилевич Алиев

доктор физико-математических наук
главный научный сотрудник
ВНК ВС РФ, Москва

Алексей Викторович Вассенков

кандидат технических наук
главный эксперт отдела
ВНК ВС РФ, Москва

Игорь Анатольевич Шермет

доктор технических наук, профессор
член ВПК при Правительстве РФ
Москва

Андрей Михайлович Бородин

сотрудник издательства ТВП, Москва

Евгений Анатольевич Матвеев

директор НТП «Криптософт»
Адрес: 440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, д. 3
Тел.: +7(8412)99-10-96

Алексей Николаевич Царьков

заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
Президент Института – Председатель Правления
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская область,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

В статье изложен алгоритм дистанционного изменения меры несепабельности кубитов. Сформулирована гипотеза о состоянии квантовой системы, состоящей из двух изначально запутанных кубитов, после завершения квантового фазового перехода. Разработан метод передачи классической информации с использованием квантовых ресурсов.

The article describes the algorithm of a distant modification of entanglement measure of the qubits. The hypothesis about a state of the quantum system, consisting from two initially entangled qubits, after the end of quantum phase transition is formulated. The method of transmission of the classical information using quantum resource is developed.

Ключевые слова: квантовые вычисления, квантовая информация, кубит, квантовая система, несепабельные (запутанные) состояния, квантовая телепортация, мера несепабельности, квантовый фазовый переход.

Keywords: quantum computations, quantum information, qubit (quantum bit), quantum system, entangled states, quantum teleportation, entanglement measure, quantum phase transition.

Введение

Одной из характерных особенностей научно-практической области под общим названием «квантовые вычисления и квантовая информация» является то, что в ней для решения вычислительных задач и задач связи используются принципиально новые типы ресурсов квантовой физики, которые не имеют аналогов как в классической физике, так и в традиционной сфере вычислений, информации и связи. По-видимому, среди этих ресурсов наиболее впечатляющим является ресурс несепабельных

состояний квантовых систем. В качестве синонима понятия «несепабельность» используются также термины «запутанность», «сцепленность» и «перепутанность».

Несмотря на то, что несепабельные квантовые состояния не имеют аналога в классической физике, установлено, что они – не теоретическая абстракция, а объективный элемент окружающей действительности [4]. Это – то, что существует в природе независимо от наших представлений. Кратко это физическое явление можно описать следующим образом.

Несепарабельные квантовые состояния присущи квантовым системам, состоящим из двух и более взаимодействующих подсистем (или взаимодействовавших ранее, а затем разделенных). Эти состояния проявляются следующим образом. Изменение одной подсистемы в тот же момент времени сказывается на остальных подсистемах квантовой системы, даже если они (то есть подсистемы) разделены в пространстве вплоть до бесконечно больших расстояний.

В настоящее время наиболее весомым известным достижением, полученным с использованием ресурса несепарабельных квантовых состояний, является технология квантовой телепортации, позволяющая передать квантовые состояния между удаленными друг от друга абонентами, обладающими подсистемами квантовой системы в несепарабельном состоянии [10]. Неотъемлемой частью данной технологии является использование в ней наряду с квантовым каналом связи также и канала классической связи.

В связи с тем, что в технологии квантовой телепортации невозможно отказаться от канала классической связи, нельзя с помощью этой технологии осуществить мгновенную связь между удаленными абонентами, если даже они имеют в распоряжении подсистемы квантовой системы в несепарабельном состоянии [11].

Кроме технологии квантовой телепортации имеются и другие существенные продвижения в области информационных технологий, полученные путем использования новых квантовых ресурсов, например, квантовая криптография и сверхплотное кодирование [7, 10, 11]. И, казалось бы, естественным предположение о том, что дальнейшее развитие данного направления приведет к созданию систем мгновенной связи между удаленными абонентами, оснащенными подсистемами квантовых систем в несепарабельных состояниях. Однако в настоящее время считается установленным, что такую технологию невозможно создать, то есть невозможно реализовать так называемый «механизм сверхсветовой системы связи» [11].

Но, по нашему мнению, предыдущий тезис нуждается в уточнении. А именно, доказано (см., например, [5, 10, 11]), что невозможно предложить технологию мгновенной связи между двумя удаленными абонентами, оснащенными однокубитными подсистемами квантовой системы из **двух** кубитов в несепарабельном состоянии, где под кубитом понимается квантовая система, состояния которой принадлежат двумерному гильбертовому пространству. А по отношению к несепарабельным состояниям квантовых

систем из трех и более кубитов подобные доказательства отсутствуют. Имеются только высказывания типа: невозможность такой технологии связи «находится в полном согласии с теорией относительности» [5] или «из теории относительности следует, что передача информации быстрее света могла бы использоваться для отправки информации в прошлое» [10] и т.п.

Следует отметить, что изучение ресурса несепарабельных квантовых состояний находится в начальной стадии своего развития. Рано ставить точку в исследованиях по поиску и разработке новых информационных технологий (в том числе и технологий связи) на основе данного ресурса. В подтверждение этого уместно процитировать следующий тезис из известной монографии [10]: «... пока изучение запутанности только начинается, и не совсем ясно, насколько улучшится наше понимание квантовых вычислений и квантовой информации в результате изучения количественных мер запутанности. Мы сносно понимаем свойства чистых состояний квантовых систем из двух компонент, но очень плохо разбираемся в системах, состоящих из трех и более компонент, ... Улучшение понимания запутанности и распространение полученных результатов на квантовые алгоритмы, исправление квантовых ошибок и квантовую связь являются основными вопросами в области квантовых вычислений и квантовой информации». В русле сказанного находится и настоящая работа, в первой части которой предлагается способ дистанционного изменения меры запутанности [15] двухкубитных квантовых систем (способ представлен в виде алгоритма **A**).

Способ дистанционного изменения меры запутанности составляет основу технологии передачи информации (представленной в данной статье в виде метода **F**) с использованием ресурса несепарабельных состояний трехкубитных квантовых систем, главным отличием которой от технологии квантовой телепортации [10] является отсутствие классического канала связи (то есть исключается составляющая в виде классического канала). При этом используются некоторые предположения (совокупность которых названа гипотезой **T**) относительно такого физического явления, как **квантовый фазовый переход** [8, 16]. В работе приводятся определенные доводы в пользу справедливости этой гипотезы, что не исключает необходимости ее экспериментальной проверки.

Статья состоит из введения, двух частей и заключения. В первой части излагается способ дистанционного изменения меры несепарабельности квантовых систем. Способ представлен в

виде алгоритма А. Во второй части описывается явление квантового фазового перехода, формулируется гипотеза Т относительно его свойств и излагаются некоторые теоретические доводы в пользу этой гипотезы. В заключении статьи разработан и представлен метод F, позволяющий передавать информацию между взаимно удаленными в пространстве абонентами, оснащенными подсистемами квантовых систем из трех кубитов. При этом используются результаты, представленные в первых двух частях статьи, и предполагается, что справедлива гипотеза Т.

Часть 1

Описание способа дистанционного изменения меры несепарабельности квантовых систем осуществим в стиле, близком тому, которого придерживаются авторы известной монографии [10] при описании технологии квантовой телепортации.

Алиса и Боб, будучи вместе, приготовили квантовую систему из трех кубитов А, В и С в состоянии

$$|\Psi^{(3)}\rangle = \alpha|001\rangle + \beta|110\rangle, \quad (1)$$

где $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$;
 $|\alpha| > |\beta| > 0$;
 $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$.

В связи с равенством (1) обратим внимание на обозначение $|\kappa_1 \kappa_2 \dots \kappa_r\rangle$:

$$|\kappa_1 \kappa_2 \dots \kappa_r\rangle = |\kappa_1\rangle |\kappa_2\rangle \dots |\kappa_r\rangle = |\kappa_1\rangle \otimes |\kappa_2\rangle \otimes \dots \otimes |\kappa_r\rangle,$$

где $\kappa_1, \kappa_2, \dots, \kappa_r \in \{0, 1\}$;

$$|0\rangle = |\uparrow\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$|1\rangle = |\downarrow\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix};$$

r – произвольное натуральное число;

\otimes – знак тензорного произведения [10].

И при расставании у Алисы остается кубит А, а Боб берет кубиты В и С. Они договариваются о том, что через определенное, заранее оговоренное ими время Алиса возьмет дополнительно еще один кубит D в состоянии

$$|\Psi^{(1)}\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

и осуществит над кубитами D и А последовательность действий (названную в данной работе алгоритмом А), аналогичных тем, которые осуществляются Алисой в технологии квантовой телепортации [10]. В результате, как это покажут ниже соответствующие вычисления, пара кубитов Боба В и С будет представлять собою кван-

товую систему в несепарабельном состоянии. Предполагается, что между удаленными друг от друга Алисой и Бобом нет классического канала связи и поэтому исключена любая передача с использованием классического канала связи Бобу информации о результате последовательности действий Алисы. Что можно сказать о состоянии квантовой системы, состоящей из кубитов Боба, и мере его несепарабельности (запутанности) [15], предварительно не подвергая эту квантовую систему никаким воздействиям?

На этот вопрос предлагается следующий ответ: двухкубитная квантовая система ВС из кубитов Боба будет находиться в одном из четырех несепарабельных состояний

$$\begin{aligned} |\Psi_1^{(2)}\rangle &= \frac{\alpha^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}} |01\rangle + \frac{\beta^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}} |10\rangle, |\Psi_2^{(2)}\rangle = \frac{|01\rangle + |10\rangle}{\sqrt{2}}, \\ |\Psi_3^{(2)}\rangle &= \frac{\alpha^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}} |01\rangle - \frac{\beta^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}} |10\rangle, |\Psi_4^{(2)}\rangle = \frac{|01\rangle - |10\rangle}{\sqrt{2}} \end{aligned} \quad (2)$$

с вероятностями

$$\frac{|\alpha|^4 + |\beta|^4}{2}, |\alpha|^2 |\beta|^2, \frac{|\alpha|^4 + |\beta|^4}{2}, |\alpha|^2 |\beta|^2 \quad (3)$$

соответственно. Вычисления для обоснования данного ответа приведем ниже.

А здесь же обратим внимание на следующее. Модуль амплитуды при компоненте $|01\rangle$

$$\frac{|\alpha|^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}}$$

в состояниях $|\Psi_1^{(2)}\rangle$ и $|\Psi_3^{(2)}\rangle$ больше $|\alpha|$ и, кроме того, мера несепарабельности каждого из кубитов А, В и С с остальной частью квантовой системы ABC до выполнения действий Алисы, то есть тогда, когда квантовая система ABC находилась в состоянии $|\Psi^{(3)}\rangle$ (см. (1)) равна $2|\alpha||\beta|$, а после выполнения действий Алисы по алгоритму А мера несепарабельности кубита А равна нулю (и это естественно, так как ресурс несепарабельности израсходовался в результате действий Алисы); а мера несепарабельности каждого из кубитов Боба В и С либо равна

$$\frac{2|\alpha|^2 |\beta|^2}{|\alpha|^4 + |\beta|^4}$$

(с вероятностью $|\alpha|^4 + |\beta|^4$), что меньше первоначального значения $2|\alpha||\beta|$, либо равна 1 (с вероятностью $2|\alpha|^2 |\beta|^2$), что больше первоначального значения $2|\alpha||\beta|$.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: ресурс несепарабельности можно дис-

танционно как уменьшить, так и увеличить. Если уменьшение меры несепарабельности каждого из кубитов Боба в какой-то мере ожидаемо и объясняется тем, что ресурс несепарабельности уменьшается в результате разрушения (из-за действий Алисы при реализации алгоритма **A**) связи кубита **A** с остальной частью квантовой системы, то увеличение меры несепарабельности является удивительной неожиданностью (так как по сути дела получаем технологию сверхсветовой передачи физического ресурса в удаленную точку без среды передачи и без классического канала связи), что вселяет определенные надежды на возможные в будущем продуктивные практические приложения.

Однако при этом надо отметить следующие две особенности рассматриваемого явления: во-первых, «привязка ко времени», то есть изначально Алиса и Боб должны договориться о времени действий Алисы и Боб получает (или теряет) определенную часть соответствующего физического ресурса после завершения времени их выполнения; во-вторых, получение физического ресурса Бобом от Алисы является не детерминированным, а случайным явлением. И Боб не знает точно значения меры несепарабельности каждого из своих кубитов даже в предположении, что действия Алисы уже выполнены (то есть алгоритм **A** завершен) и ему об этом известно. Все, чем он располагает – это вероятностное

распределение случайной величины, равной мере несепарабельности каждого из его кубитов. Математическое ожидание этой случайной величины равно $4|\alpha|^2|\beta|^2$, что меньше первоначального значения $2|\alpha||\beta|$ меры несепарабельности каждого из кубитов Боба. Об этом свидетельствуют и графики на *рисунке 1*, наглядно иллюстрирующие соотношение между величинами $y=2|\alpha||\beta|=2|\alpha|\sqrt{1-|\alpha|^2}$ (график красного цвета) и $y=4|\alpha|^2|\beta|^2=4|\alpha|^2(1-|\alpha|^2)$ (график синего цвета) в зависимости от значения

$$x=|\alpha| \in \left(\frac{1}{\sqrt{2}}; 1\right);$$

на интервале $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}; 1\right)$

функция $y=2x\sqrt{1-x^2}-4x^2(1-x^2)$ (график розового цвета), являющаяся разностью предыдущих функций, достигает своего максимального значения при $x=|\alpha|=\frac{\sqrt{3}+1}{2\sqrt{2}}$.

Изложим теперь последовательность действий Алисы, осуществляемых ею по отношению к своим двум кубитам **D** и **A**, то есть приведем алгоритм **A**.

Алгоритм **A**.

На входе алгоритма имеется состояние

$$\begin{aligned} |\Psi_0^{(4)}\rangle &= |\Psi^{(1)}\rangle |\Psi^{(3)}\rangle = (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle)(\alpha|001\rangle + \beta|110\rangle) = \\ &= \alpha|0\rangle(\alpha|001\rangle + \beta|110\rangle) + \beta|1\rangle(\alpha|001\rangle + \beta|110\rangle) \end{aligned}$$

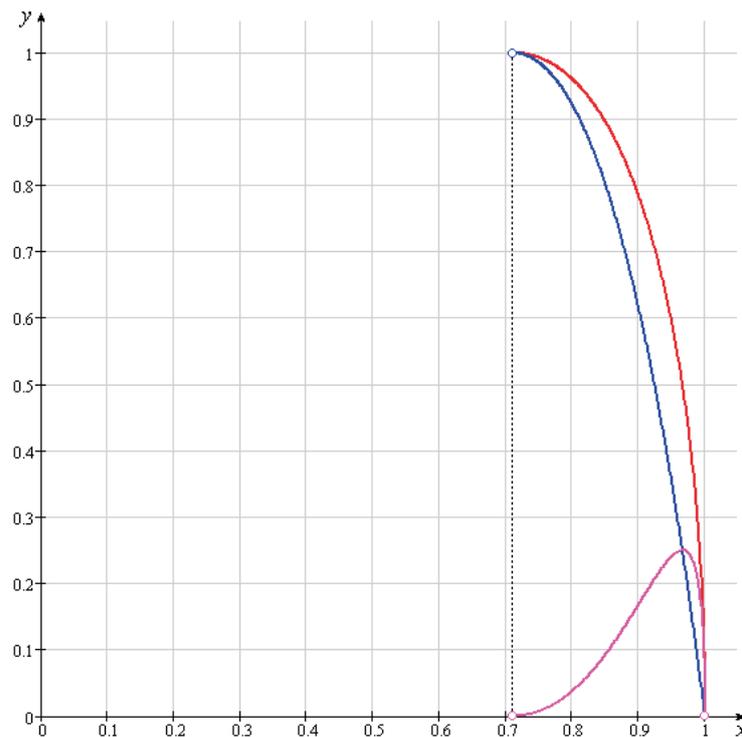


Рис 1.

квантовой системы DABC из четырех кубитов D, A, B и C, из которых кубиты D и A принадлежат Алисе, а кубиты B и C принадлежат Бобу.

Шаг 1. Алиса пропускает свои кубиты D и A через элемент CNOT [10]. Это равносильно тому, что к состоянию $|\psi_0^{(4)}\rangle$ применяется линейное преобразование с матрицей $\text{CNOT} \otimes I_2 \otimes I_2$, где \otimes – знак тензорного произведения,

$$\text{CNOT} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, I_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

В результате получается состояние $|\psi_1^{(4)}\rangle$ квантовой системы DABC, задаваемое равенством:

$$|\psi_1^{(4)}\rangle = \alpha|0\rangle(\alpha|001\rangle + \beta|110\rangle) + \beta|1\rangle(\alpha|101\rangle + \beta|010\rangle)$$

Шаг 2. Алиса пропускает свой кубит D через элемент Адамара H [10], что равносильно применению к состоянию $|\psi_1^{(4)}\rangle$ линейного преобразования с матрицей $H \otimes I_2 \otimes I_2 \otimes I_2$, где $H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$. В результате квантовая система DABC переходит в состояние $|\psi_2^{(4)}\rangle$, задаваемое равенством:

$$|\psi_2^{(4)}\rangle = \frac{\alpha}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)(\alpha|001\rangle + \beta|110\rangle) + \frac{\beta}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)(\alpha|101\rangle + \beta|010\rangle)$$

что, перегруппировав члены, можно переписать следующим образом

$$|\psi_2^{(4)}\rangle = \frac{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}}{\sqrt{2}}|00\rangle \left(\frac{\alpha^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}}|01\rangle + \frac{\beta^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}}|10\rangle \right) + \alpha\beta|01\rangle \left(\frac{|01\rangle + |10\rangle}{\sqrt{2}} \right) + \frac{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}}{\sqrt{2}}|10\rangle \cdot \left(\frac{\alpha^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}}|01\rangle - \frac{\beta^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}}|10\rangle \right) - \alpha\beta|11\rangle \left(\frac{|01\rangle - |10\rangle}{\sqrt{2}} \right).$$

Шаг 3. Алиса проводит измерение над своими двумя кубитами D и A в вычислительном базисе из векторов $|00\rangle$, $|01\rangle$, $|10\rangle$ и $|11\rangle$ [10]. В результате этого измерения квантовая система из четырех кубитов D, A, B и C может иметь следующие состояния своих подсистем:

с вероятностью $\frac{|\alpha|^4 + |\beta|^4}{2}$ подсистема из двух кубитов Алисы D и A в состоянии $|00\rangle$, а подсистема из двух кубитов Боба B и C в состоянии

$$|\psi_1^{(2)}\rangle = \frac{\alpha^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}}|01\rangle + \frac{\beta^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}}|10\rangle;$$

с вероятностью $|\alpha|^2|\beta|^2$ подсистема из двух кубитов Алисы D и A в состоянии $|01\rangle$, а подсистема из двух кубитов Боба B и C в состоянии

$$|\psi_2^{(2)}\rangle = \frac{|01\rangle + |10\rangle}{\sqrt{2}};$$

с вероятностью $\frac{|\alpha|^4 + |\beta|^4}{2}$ подсистема из двух кубитов Алисы D и A в состоянии $|10\rangle$, а подсистема из двух кубитов Боба B и C в состоянии

$$|\psi_3^{(2)}\rangle = \frac{\alpha^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}}|01\rangle - \frac{\beta^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}}|10\rangle;$$

с вероятностью $|\alpha|^2|\beta|^2$ подсистема из двух кубитов Алисы D и A в состоянии $|11\rangle$, а подсистема из двух кубитов Боба B и C в состоянии

$$|\psi_4^{(2)}\rangle = \frac{|01\rangle - |10\rangle}{\sqrt{2}}.$$

Таким образом, после применения алгоритма A квантовая система BC из кубитов Боба окажется в одном из состояний (2) с соответствующей вероятностью из (3).

Часть 2

Данную часть статьи начнем с формулировки следующей гипотезы.

Гипотеза Т. Существуют квантовая система из двух кубитов и действительное число $\alpha_{\text{кфп}} \geq \frac{1}{\sqrt{2}}$ такие, что состояния этой квантовой системы $a|01\rangle + b|10\rangle$ и $|01\rangle$ статистически неотличимы при измерениях в вычислительном базисе из векторов $|00\rangle$, $|01\rangle$, $|10\rangle$ и $|11\rangle$ при условии, что верно неравенство $|a| > \alpha_{\text{кфп}}$, где $a, b \in \mathbf{C}$, $|a| > |b| > 0$, $|a|^2 + |b|^2 = 1$.

Вычислительный базис из векторов $|00\rangle$, $|01\rangle$, $|10\rangle$ и $|11\rangle$ будем далее называть просто вычислительным базисом.

Если гипотеза Т верна и BC – соответствующая квантовая система из двух кубитов B и C, то число $\alpha_{\text{кфп}}$ назовем **амплитудной границей квантового фазового перехода** и при необходимости указать связь этого числа с квантовой системой BC будем применять для него также обозначение $\alpha_{\text{кфпBC}}$.

Состояние $|\psi^{(2)}\rangle = a|01\rangle + b|10\rangle$, где $a, b \in \mathbf{C}$, $|a| > |b| > 0$, $|a|^2 + |b|^2 = 1$, является несепарабельным состоянием квантовой системы AB и при этом мера несепарабельности $C_B(|\psi^{(2)}\rangle)$ кубита B с остальной частью квантовой системы BC (т.е. с кубитом C), когда BC находится в состоянии $|\psi^{(2)}\rangle$, равна $2|a||b|$. При условии, что

$$\alpha_{\text{кфпBC}} \geq \frac{1}{\sqrt{2}},$$

неравенство $|a| > \alpha_{\text{кфпВС}}$ равносильно неравенству

$$2|a||b| < 2\alpha_{\text{кфпВС}} \sqrt{1 - \alpha_{\text{кфпВС}}^2}.$$

Тогда гипотеза **Т** может быть переформулирована так: существуют квантовая система ВС из двух кубитов В и С и действительное число

$$\alpha_{\text{кфпВС}} \geq \frac{1}{\sqrt{2}}$$

такие, что состояния этой квантовой системы $a|01\rangle + b|10\rangle$ и $|01\rangle$ статистически неотличимы при измерениях в вычислительном базисе при условии, что квантовая система ВС в состоянии $a|01\rangle + b|10\rangle$ (где $a, b \in \mathbb{C}$, $|a| > |b| > 0$, $|a|^2 + |b|^2 = 1$) обладает мерой несепарабельности меньшей, чем

$$C_{\text{кфпВС}} = 2\alpha_{\text{кфпВС}} \sqrt{1 - \alpha_{\text{кфпВС}}^2}.$$

Именно этой формулировки гипотезы **Т** и будем далее придерживаться.

Число $C_{\text{кфпВС}}$ назовем **ресурсной границей квантового фазового перехода** или просто **границей квантового фазового перехода** квантовой системы ВС.

Покажем, что гипотеза **Т** не противоречит современным представлениям об известном физическом явлении под названием «**квантовый фазовый переход**» [8]. В этих целях заметим, что к естественным двухуровневым квантовым ячейкам – кубитам относятся электронные, протонные, нейтронные, ядерные и другие спины со спиновым числом $\frac{1}{2}$ [3], [6]. Проекция каждого спина на выбранное направление (например, как часто полагают, по оси Z) может быть направлена либо вверх (по направлению) (обозначается

$$|\uparrow\rangle = |0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix},$$

либо вниз (против направления) (обозначается

$$|\downarrow\rangle = |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Рассмотрим квантовую систему из двух таких кубитов, находящуюся в постоянном внешнем магнитном поле с вектором магнитной индукции \mathbf{M} , направленным по оси Z, то есть $\mathbf{M} = (0, 0, M)$, где M – модуль вектора магнитной индукции, $M \geq 0$. Будем полагать, что кубиты в квантовой системе ВС связаны между собой **изотропным гейзенберговским антиферромагнитным взаимодействием** (так называемая двухспиновая ХХХ-модель Изинга) [8] с константой спин-спинового взаимодействия (КССВ) $J > 0$ [12]. В этом случае квантовая система ВС имеет следующие стационарные состояния [1]:

$$|\psi_1^{(2)}\rangle = |11\rangle e^{-\frac{i}{\hbar}E_1 t}, \quad |\psi_2^{(2)}\rangle = |00\rangle e^{-\frac{i}{\hbar}E_2 t},$$

$$|\psi_3^{(2)}\rangle = (\sqrt{\varepsilon}|01\rangle + \sqrt{1-\varepsilon}|10\rangle) e^{-\frac{i}{\hbar}E_3 t}, \quad |\psi_4^{(2)}\rangle = (\sqrt{1-\varepsilon}|01\rangle - \sqrt{\varepsilon}|10\rangle) e^{-\frac{i}{\hbar}E_4 t}, \quad (4)$$

где
$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \right); \quad (5)$$

$$X = \frac{\omega_1 - \omega_2}{J} = \frac{M}{J} (v_1 - v_2), \quad (6)$$

ω_1, ω_2 – резонансные частоты соответственно спинов В и С; $\omega_1 = v_1 M$; $\omega_2 = v_2 M$; v_1, v_2 – гиромангнитные отношения спинов В и С; E_k – энергия стационарного состояния $|\psi_k^{(2)}\rangle$; $k \in \{1, 2, 3, 4\}$,

$$E_1 = \left(\frac{J}{4} + \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \right) \hbar, \quad E_2 = \left(\frac{J}{4} - \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \right) \hbar,$$

$$E_3 = \left(-\frac{J}{4} + \frac{J\sqrt{1+X^2}}{2} \right) \hbar, \quad E_4 = \left(-\frac{J}{4} - \frac{J\sqrt{1+X^2}}{2} \right) \hbar; \quad (7)$$

t – время; \hbar – приведенная постоянная Планка; $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

Среди стационарных состояний (4) квантовой системы ВС обратим внимание на состояния $|\psi_3^{(2)}\rangle$ и $|\psi_4^{(2)}\rangle$.

Если $v_1 = v_2$, то $\omega_1 = \omega_2$ и, следовательно, $X=0$ и $\varepsilon = \frac{1}{2}$ (см. (6), (5)), что влечет за собой справедливость равенств:

$$|\psi_3^{(2)}\rangle = \left(\frac{|01\rangle + |10\rangle}{\sqrt{2}} \right) e^{-i\left(\frac{J}{4}\right)t}, \quad |\psi_4^{(2)}\rangle = \left(\frac{|01\rangle - |10\rangle}{\sqrt{2}} \right) e^{-i\left(\frac{-3J}{4}\right)t}. \quad (8)$$

Из равенств (8) следует, что при $v_1 = v_2$ амплитуды стационарных состояний

$$|\psi_3^{(2)}\rangle, \quad |\psi_4^{(2)}\rangle$$

и их энергии не зависят от величины модуля M вектора магнитной индукции. Также в этих состояниях от магнитного поля не зависит мера несепарабельности кубитов квантовой системы ВС, равная в этом случае максимальному значению 1.

Рассмотрим теперь случай, когда $v_1 \neq v_2$. Не ограничивая общности, положим для определенности, что $v_1 < v_2$. Тогда $\omega_1 < \omega_2$ и, следовательно, $X < 0$ при $M > 0$ и X убывает при возрастании M (см. (6)). Отсюда и из (5) следует, что величина $\sqrt{\varepsilon}$, равная модулю левой амплитуды состояния $|\psi_3^{(2)}\rangle$

и модулю правой амплитуды состояния

$$|\Psi_4^{(2)}\rangle \quad (\text{см. (4)}),$$

возрастает при возрастании M и ее минимальное значение равно $\frac{1}{\sqrt{2}}$, которое достигается при $M=0$, то есть при отсутствии внешнего магнитного поля. Предельное значение $\sqrt{\varepsilon}$ при $M \rightarrow \infty$ равно 1 и оно, если судить по (5), недостижимо ни при каком конечном значении M . Одновременно с этим величина $\sqrt{1-\varepsilon}$, равная модулю правой амплитуды состояния

$$|\Psi_3^{(2)}\rangle$$

и модулю левой амплитуды состояния

$$|\Psi_4^{(2)}\rangle$$

(см. (4)), убывает при возрастании M и ее максимальное значение равно $\frac{1}{\sqrt{2}}$, которое достигается при $M=0$, то есть при отсутствии внешнего магнитного поля. Предельное значение $\sqrt{1-\varepsilon}$ при $M \rightarrow \infty$ равно 0 и оно, если судить по (5), недостижимо ни при каком конечном значении M . При этом мера несепарабельности кубитов квантовой системы ВС в состояниях

$$|\Psi_3^{(2)}\rangle \quad \text{и} \quad |\Psi_4^{(2)}\rangle,$$

равная

$$C_B(|\Psi_3^{(2)}\rangle) = C_B(|\Psi_4^{(2)}\rangle) = 2\sqrt{\varepsilon}\sqrt{1-\varepsilon} = \frac{1}{\sqrt{1+X^2}} = \frac{J}{\sqrt{J^2 + M^2(v_1 - v_2)^2}}, \quad (9)$$

убывает при возрастании M и принимает свое максимальное значение 1 при $M=0$, то есть при отсутствии внешнего магнитного поля.

Таким образом, судя по (9), мера несепарабельности кубитов квантовой системы ВС в состояниях

$$|\Psi_3^{(2)}\rangle \quad \text{и} \quad |\Psi_4^{(2)}\rangle$$

стремится к 0 при $M \rightarrow \infty$, но не достигает своего предельного значения 0 ни при каком конечном значении M . Однако, с другой стороны, из результатов, представленных в работах [2, 8, 9, 14] следует, что начиная с определенного значения $M_{\text{квнВС}}$ модуля вектора магнитной индукции постоянного внешнего магнитного поля мера несепарабельности кубитов квантовой системы ВС скачкообразно принимает нулевое значение. Это явление и называют **квантовым фазовым переходом** [8]. Поэтому в соответствии с (9) и определением параметра $C_{\text{кфпВС}}$ естественно предположение, что

$$C_{\text{кфпВС}} \geq \frac{J}{\sqrt{J^2 + M_{\text{кфпВС}}^2(v_1 - v_2)^2}}. \quad (10)$$

Таким образом, при выполнении соотношения $M \geq M_{\text{квнВС}}$ стационарные состояния квантовой системы являются сепарабельными. В некоторых из указанных выше работ (например, в [2, 14]) это явление объясняется с позиций классической физики (а затем декларируется, что такое объяснение не противоречит положениям квантовой механики) на основе «наглядных представлений о прецессии магнитных моментов» и отмечается, что оно аналогично явлению, обнаруженному Ф. Пашеном и Е. Баком в 1912 г. (и поэтому получившему название явление **Пашена-Бака**), заключающемуся в разрыве спин-орбитальной связи атома в сильном магнитном поле [9]. Отличие только в том, что в случае двух спинов в магнитном поле речь идет о разрыве спин-спиновой связи в сильном магнитном поле из-за того, что при достаточно большой индукции магнитного поля суммарная энергия взаимодействия магнитных моментов (соответствующих рассматриваемым спинам) с магнитным полем становится больше энергии спин-спиновой взаимодействия.

Довольно подробно описываемое выше явление разбирается и в известной работе [13] на примере атома водорода. При этом вычислены как энергии стационарных состояний, так и сами стационарные состояния в виде векторов четырехмерного гильбертова пространства. Если полагать, что кубитом В является спин электрона, а кубитом С – спин протона в атоме водорода, то полученные в работе [13] результаты (с точностью до обозначений и отдельных уточнений) совпадают с (7) и (4). Более того, в работе [13] явно указывается на какие состояния заменяться состояния

$$|\Psi_3^{(2)}\rangle \quad \text{и} \quad |\Psi_4^{(2)}\rangle,$$

когда выполняется условие $M \geq M_{\text{квнВС}}$ (так называемое «сильное магнитное поле» [2, 9, 13, 14]), которое в данном случае влечет (см. (10)) тот факт, что мера несепарабельности кубита В с остальной частью квантовой системы ВС (т.е. с кубитом С) не превышает значения $C_{\text{кфпВС}}$. Ими оказываются соответственно состояния $|01\rangle$ и $|10\rangle$, каждое из которых само от себя статистически не отличаются при измерениях в вычислительном базисе.

Таким образом, гипотеза **Т** не противоречит известным физическим представлениям, связанным с явлением квантового фазового перехода. Однако надо отметить следующее. В работах [2, 8, 9, 13, 14], на которые мы ссылались выше, рассматриваются только стационарные состояния. Тогда как в гипотезе **Т** этого ограничения нет. Речь в этой гипотезе идет о произвольных состо-

яниях, не обязательно стационарных. Поэтому необходимость экспериментальной проверки выполнимости гипотезы **T** не исключается.

Далее в данной работе мы будем исходить из того, что гипотеза **T** верна и обсуждаемая квантовая система **BC** удовлетворяет условиям гипотезы. Учет этого обстоятельства и дополнительного предположения, что значение амплитуды α в (1) удовлетворяет неравенству

$$\frac{|\alpha|^2}{\sqrt{|\alpha|^4 + |\beta|^4}} > \alpha_{\text{кфнBC}}, \quad (11)$$

позволяет заменить в первой части статьи (при измерениях в вычислительном базисе) состояния (2) с вероятностями (3) на состояния

$$|01\rangle, \frac{|01\rangle + |10\rangle}{\sqrt{2}}, \frac{|01\rangle - |10\rangle}{\sqrt{2}}, \quad (12)$$

соответственно с вероятностями

$$|\alpha|^4 + |\beta|^4, |\alpha|^2|\beta|^2, |\alpha|^2|\beta|^2. \quad (13)$$

Таким образом, если вернуться к первой части данной статьи, имеем следующее.

Если Алиса не делала ничего со своими кубитами **A** и **D**, то кубиты **BC** Боба после проведения им измерения в вычислительном базисе окажутся в состоянии $|01\rangle$ с вероятностью

$$P(|01\rangle) = |\alpha|^2. \quad (14)$$

Если же Алиса (до действий Боба) применила к своим кубитам **A** и **D** алгоритм **A**, то кубиты **BC** Боба после проведения им измерения в вычислительном базисе окажутся в состоянии $|01\rangle$ с вероятностью

$$P(|01\rangle) = |\alpha|^4 + |\beta|^4 + |\alpha|^2|\beta|^2 = |\alpha|^2(|\alpha|^2 + |\beta|^2) + |\beta|^4 = |\alpha|^2 + |\beta|^4. \quad (15)$$

Если известно значение $\alpha_{\text{кфнBC}} = \tau > \frac{1}{\sqrt{2}}$, то из неравенства (11) следует справедливость следующего ограничения на значения модуля амплитуды $|\alpha|$ состояния (1) трехкубитной квантовой системы **ABC**:

$$|\alpha| \in \left(\sqrt{\frac{\tau^2 - \tau\sqrt{1-\tau^2}}{2\tau^2 - 1}}; \sqrt{\frac{\tau^2 + \tau\sqrt{1-\tau^2}}{2\tau^2 - 1}} \right). \quad (16)$$

Так как при $1 > \tau > \frac{1}{\sqrt{2}}$ справедливы неравенство

$$\sqrt{\frac{\tau^2 - \tau\sqrt{1-\tau^2}}{2\tau^2 - 1}} > \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (17)$$

и двойное неравенство

$$\sqrt{\frac{\tau^2 - \tau\sqrt{1-\tau^2}}{2\tau^2 - 1}} < \tau \leq \sqrt{\frac{\tau^2 + \tau\sqrt{1-\tau^2}}{2\tau^2 - 1}}, \quad (18)$$

то из (16) следует, что предпочтительными значениями для $|\alpha|$ оказываются те, которые удовлетворяют условию

$$|\alpha| \in \left(\sqrt{\frac{\tau^2 - \tau\sqrt{1-\tau^2}}{2\tau^2 - 1}}; \tau \right). \quad (19)$$

и, по физическим соображениям [1], как можно ближе расположенные к левому краю

$$\sqrt{\frac{\tau^2 - \tau\sqrt{1-\tau^2}}{2\tau^2 - 1}}$$

интервала (19).

Заключение

В заключении статьи приведем метод **F** передачи сообщения, состоящего из одного бита, от одного абонента к другому при условии, что они пространственно удалены друг от друга и не имеют классического канала связи. В методе **F** используются только квантовые ресурсы.

Заметим, что для передачи сообщения, состоящего из k бит (где $k \in \mathbf{N}$), метод **F** применяется k раз, передавая за один раз 1 бит. Все биты могут быть переданы независимо друг от друга. Поэтому существуют возможности для максимального распараллеливания.

Описание метода **F** передачи сообщения, состоящего из одного бита, осуществим (как и ранее алгоритма **A** в первой части статьи) в стиле близком тому, которого придерживаются авторы известной монографии [10] при описании технологии квантовой телепортации.

Когда-то давно Алиса и Боб встречались, но теперь живут далеко друг от друга. Будучи вместе, они сгенерировали L троек кубитов A_i, B_i, C_i в состояниях:

$$|\Psi_i^{(3)}\rangle = \alpha|001\rangle + \beta|110\rangle, i \in \{1, 2, \dots, L\};$$

$$\alpha, \beta \in \mathbf{C}, |\alpha| > |\beta| > 0, |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1,$$

соответственно, где параметр α подобран таким образом, что выполняется условие (11).

И при расставании Алиса взяла из каждой тройки кубитов первый кубит A_i , а Боб взял из каждой тройки кубитов оставшиеся второй и третий кубит B_i и C_i . Кроме этого Алиса сгенерировала для себя еще L кубитов D_i в состояниях:

$$|\Psi_i\rangle = |\Psi_i^{(1)}\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, i \in \{1, 2, \dots, L\},$$

соответственно.

Они договорились, что 3 года спустя в определенный час (например, в 19 часов 00 минут) определенного дня (например, 1 января) Алиса должна передать Бобу один бит классической информации. При этом предполагается, как

было оговорено выше, что никакого **классического канала связи** между Алисой и Бобом **не существует**. И один бит классической информации передается исключительно посредством квантовых ресурсов, имеющихся у них. Разрешима ли сформулированная задача, то есть, сможет ли Боб получить сообщение из одного бита, переданного ему Алисой? Если разрешима, то каковы достаточные для этого значения параметров L и α ?

Схематически решение выглядит следующим образом: Алиса до указанного выше времени осуществляет следующие действия. Если значение передаваемого однобитового сообщения равно нулю, то она не делает ничего. Если же значение передаваемого однобитового сообщения равно единице, то она осуществляет последовательность действий над всеми своими $2L$ кубитами (эту последовательность действий, предусмотренную для передачи бита со значением 1, опишем ниже) и заканчивает эту работу до 19 часов 00 минут указанного выше дня. А Боб после 19 часов 00 минут проводит измерение над своими L парами $V_i C_i$ кубитов в вычислительном базисе. При этом, если Алиса не делала ничего, то очевидно, что в результате измерения Боба пара кубитов $V_i C_i$ будет в состоянии $|01\rangle$ с вероятностью $P(|01\rangle) = |\alpha|^2$. Если же Алиса выполнила действия, предусмотренные для передачи бита со значением 1, то мы полагаем, что в результате измерения Боба пара кубитов $V_i C_i$ будет в состоянии $|01\rangle$ с вероятностью $P(|01\rangle) = |\alpha|^2 + |\beta|^4$ (соответствующее обоснование будет изложено ниже, после описания действий Алисы по передаче бита со значением 1). Далее Боб проводит обработку результатов измерений над своими L парами кубитов, которая заключается в решении статистической задачи проверки по L исходам (то есть по выборке объема L) простой гипотезы

$$H_0: P(|01\rangle) = |\alpha|^2$$

с альтернативой – тоже простой гипотезой

$$H_1: P(|01\rangle) = |\alpha|^2 + |\beta|^4.$$

Если гипотеза H_0 верна, то Боб считает, что бит, переданный Алисой, имеет значение 0. В противном случае, то есть, когда H_0 отвергается, бит считается равным 1. При этом ясно, что достаточное значение L будет определяться заданным уровнем значимости и значением амплитуды α .

А теперь опишем действия Алисы при передаче ею Бобу бита со значением 1. Алиса выполняет L итераций и в каждой итерации одну и ту же последовательность действий. Действия Алисы в i -той итерации ($i \in \{1, 2, \dots, L\}$) заключаются в следующем.

Алиса применяет алгоритм **A**, описанный в части 1 данной работы, к своей паре кубитов $D_i A_i$. В результате этого пара кубитов $V_i C_i$ Боба окажутся в одном из четырех несепарабельных состояний (2) соответственно с вероятностями (3).

Теперь заметим, что каждая пара кубитов $V_i C_i$ Боба представляет собой квантовую систему, подобную квантовым системам, для которых выполняется гипотеза **T** (так как параметр α подобран таким образом, что выполняется условие (11)), сформулированная в части 2 данной работы. Тогда пара кубитов $V_i C_i$ Боба окажется в одном из трех состояний (12) соответственно с вероятностями (13). Следовательно, после проведения Бобом измерения в вычислительном базисе пара кубитов $V_i C_i$ окажется согласно (15) в состоянии $|01\rangle$ с вероятностью $P(|01\rangle) = |\alpha|^2 + |\beta|^4$.

Наконец, говоря о достаточных значениях параметра α для реализации метода **F**, можно указать на значения α , удовлетворяющие условию (19).

Литература

1. Алиев Ф.К. О состояниях квантовой системы из двух частиц со спиновым числом $\frac{1}{2}$ и разными гиромагнитными отношениями // Материалы 11 Научно-технической конференции по криптографии. Секция «Проблемы квантовой криптографии». М., 2011.
2. Барсуков О.А., Ельяшевич М.А. Основы атомной физики. М.: Научный мир, 2006. 648 с.
3. Валиев К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежда и реальность. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. 320 с.
4. Иванов М.Г. Как понимать квантовую механику. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2012. 516 с.
5. Имре Ш., Балаж Ф. Квантовые вычисления и связь. Инженерный подход. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 320 с.
6. Кашурников В.А., Красавин А.В. Численные методы квантовой статистики. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 628 с.
7. Килин С.Я. и др. Квантовая криптография: идеи и практика. Минск: Белорус. наука, 2007. 391 с.
8. Кокин А.А. Твердотельные квантовые компьютеры на ядерных спинах. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. 204 с.
9. Матвеев А.Н. Атомная физика. М.: ООО «Издательство «Мир и образование», 2007. 432 с.
10. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. М.: Мир, 2006. 824 с.
11. Прескилл Дж. Квантовая информация и квантовые вычисления. Том 1. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. 464 с.
12. Сергеев Н.А., Рябушкин Д.С. Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса. М.: Логос, 2013. 272 с.
13. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Вып. 8, 9: Квантовая механика: учебное пособие. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 528 с.
14. Фриш С.Э. Оптические спектры атомов. СПб.: «Лань», 2010. 656 с.
15. Rungta P., Buzer V., Caves C.M., Hillery M., Milburn G.J. Universal state inversion and concurrence in arbitrary dimensions. Phys. Rev. A 64, 042315 (2001).
16. Subir Sachdev Quantum Phase Transitions. Encyclopedia of Mathematical Physics, USA, 2004.

УДК 533.9

ПЫЛЕВАЯ ПЛАЗМА. ФАЗОВЫЕ ДИАГРАММЫ, СКАЧОК ПЛОТНОСТИ И НЕКОНГРУЭНТНОСТЬ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Игорь Львович Иосилевский

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

ведущий научный сотрудник

Объединенный институт высоких температур РАН

Адрес: 125412, Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2

Тел.: +7(495)484-23-00

E-mail: martina1204@yandex.ru

Инна Александровна Мартынова

магистрант

Московский физико-технический
институт (государственный университет)

Адрес: 141707, Московская обл.,

г. Долгопрудный, Московское ш., д. 25, к. 4, к. 208

E-mail: martina1204@yandex.ru

На основании широко известной фазовой диаграммы пылевой плазмы в экранированном дебаевском потенциале (Hamaguchi et al.): кристалл (bcc) – кристалл (fcc) – жидкость в координатах Γ - κ (Γ – параметр кулоновской неидеальности, κ – безразмерный параметр экранирования) строится фазовая диаграмма равновесной пылевой плазмы в естественных координатах плотность-температура для электронейтрального варианта упрощенной модели такой плазмы – двухкомпонентной системы из макро- и микроионов (+Z, -1). В двулогарифмических координатах $\ln T - \ln n_z$ полученная фазовая диаграмма имеет вид комбинации линейных зон кристаллического и флюидного состояний, разделенных границами $\Gamma = \text{const}$. Анализируются границы и положения этих зон в зависимости от параметра модели (Z).

On the basis of widely known phase diagram of dust plasma in shielded Debye potential (Hamaguchi et al.): the crystal (bcc) – a crystal (fcc) – a liquid in coordinates Γ - κ (Γ – parameter Coulomb imperfection, κ – dimensionless parameter of shielding) is under construction the phase diagram of equilibrium dust plasma in natural coordinates density – temperature for electroneutral variant of the simplified model of such plasma – two-componental system from macro- and microions (+Z, -1). In two-logarithmic coordinates $\ln T - \ln n_z$ the received phase diagram looks like a combination of linear zones of the crystal and fluid conditions shared by borders $\Gamma = \text{const}$. Borders and positions of these zones are analyzed depending on parameter of model (Z).

Ключевые слова: дебаевская система, изохорическое плавление, макро- и микроионы, пылевая плазма, условия фазового равновесия, фазовые переходы.

Keywords: Debye system, isochorically melting, macro- and microhones, dusty plasmas, the conditions of phase equilibrium, phase transitions.

На основании широко известной фазовой диаграммы пылевой плазмы в экранированном дебаевском потенциале (Hamaguchi et al.) строится фазовая диаграмма равновесной пылевой плазмы в естественных координатах плотность-температура для двух электронейтральных вариантов упрощенной модели такой плазмы: (i) двухкомпонентной системы из макро- и микроионов (+Z, -1) и (ii) трехкомпонентной системы из макроионов и двух сортов микроионов (+Z, -1, +1). В двулогарифмических координатах $\ln T - \ln n_z$ полученная фазовая диаграмма имеет вид комбинации линейных зон кристаллического и флюидного состояний, разделенных границами $\Gamma = \text{const}$. Анализируются грани-

цы и положения этих зон в зависимости от параметра модели (z). Обсуждается характер «расщепления» границы плавления и величина соответствующего скачка плотности между априори отдельными границами замерзания жидкости и плавления кристалла. Приводятся соотношения, позволяющие оценить величину этого расщепления. Также обсуждается характер проявления так называемых неконгруэнтных межфазных границ в трехкомпонентной модели (+Z, -1, +1) и дополнительное расщепление всех границ фазовых переходов кристалл-флюид вследствие неконгруэнтности в сравнении с обычной (принудительно конгруэнтной) версией этих границ.

Введение

Проблема фазовых переходов в равновесной высоко-несимметричной пылевой плазме как система макро- и микроионов изучается теоретически и экспериментально уже достаточно долгое время. Это сопровождается рассмотрением большого количества упрощенных моделей кулоновских систем. Например, модель заряженных твердых шаров (ЗТШ или Charged Hard Spheres (CHS)), используемая для описания сильно асимметричных электролитов [1]. Также сюда следует отнести активно изучавшуюся примерно 30 лет назад так называемую плазму с дисперсной конденсированной фазой («КДФ-плазму») [2]. В простейшем приближении КДФ-плазму и современную полностью равновесную пылевую плазму можно рассматривать как равновесные электронейтральные двухкомпонентные высоко-асимметричные системы классических макро- и микроионов с фиксированными зарядовыми числами, $+Z$ и -1 ($Z \gg 1$). Такая же двухкомпонентная (обозначаемая ниже $(+Z, -1)$) и более сложная трехкомпонентная (обозначаемая ниже $(+Z, -1, +1)$) электронейтральные системы с дополнительным сортом положительных микроионов -1 рассматриваются как простейшие модели пылевой плазмы [3] и так называемых высоко-заряженных коллоидных систем [3, 4].

Обе модели широко известны в традиционной теории электролитов и успешно изучаются как с помощью аналитических аппроксимаций, таких, как аппроксимации Дебая-Хюккеля и ее усовершенствованных модификаций [5], так с помощью методов прямого численного моделирования: Монте-Карло, молекулярной динамики и т.д.

Следующее важное упрощение является достаточно общепринятым в теории пылевой плазмы. Это переход от двух- и трехкомпонентной кулоновских систем $(+Z, -1)$ и $(+Z, -1, +1)$ с действующим кулоновским потенциалом взаимодействия, зависящим только от расстояния, к *однокомпонентной* системе макроионов $(+Z)$ с эффективным экранированным короткодействующим потенциалом в форме п-ла Юкавы:

$$V_{ij} = Z_i Z_j / r \quad (1.1)$$

$$\Phi(r, T, N) = \frac{Z^2}{r} \exp(-r / r_D),$$

$$r_D = \frac{1}{N} \left(\frac{e^2 n_e}{T_e} + \frac{q_i^2 n_i}{T_i} \right)^{1/2}. \quad (1.2)$$

Здесь V_{ij} – кулоновский потенциал, Φ – потенциал Юкавы, r_D – дебаевский радиус, N – концентрация пылевых частиц.

В основе данной работы лежит известная фазовая диаграмма Хамагучи [6] системы с потенциалом (1) в координатах Γ - κ :

$$\Gamma = \frac{Z^2 e^2}{a r_D}, \quad \kappa = \frac{a}{r_D}, \quad a = \left(\frac{4}{3} \pi n_Z \right)^{-1/3}. \quad (1.3)$$

Эта диаграмма получена методами прямого численного моделирования и содержит границы трех фазовых состояний дебаевской системы с потенциалом (1): жидкость, кристалла бсс и кристалла фсс. Все три межфазные границы имеют вид одномерных кривых, в то время как хорошо известно, что процесс плавления, как и полиморфного перехода бсс-фсс, так и фазовый переход 1-го рода должен сопровождаться разрывом в первых производных термодинамического потенциала – энтропии и плотности. Последнее (скачок плотности между газом и жидкостью) должно быть конечным для всех систем, за исключением чисто кулоновской модели однокомпонентной плазмы на замороженном компенсирующем фоне (ОСР), и может быть значительным (~5–10%). Целью настоящей работы является, во-первых, построение эквивалента фазовой диаграммы Хамагучи в «естественных» переменных, плотность и температура. А во-вторых, это анализ характера «расщепления» границы плавления и оценка величины соответствующего скачка плотности между априори отдельными границами замерзания жидкости и плавления кристалла. Также целью данной работы является анализ характера проявления так называемой неконгруэнтности в сравнении с обычной (принудительно конгруэнтной) версией этих границ.

Фазовые диаграммы равновесной дебаевской системы в естественных координатах

Перевод диаграммы [6] в естественные переменные может быть сделан не единственным образом. Конкретный вариант зависит от точного определения термодинамической роли «фона» микроионов. Во многих работах авторов [6] и др. фон молчаливо подразумевается пассивной средой с *постоянными* параметрами n_m и T_m . В частности, температура микроионов T_m может не быть равной температуре макроионов, а плотность n_m связана с плотностью макроионов лишь условием электронейтральности (следуя [7], используем для обеих моделей $(+Z, -1)$ и $(+Z, -1, +1)$ обозначение *medium*). Как вывод, следует, что термодинамическая роль фона в широ-

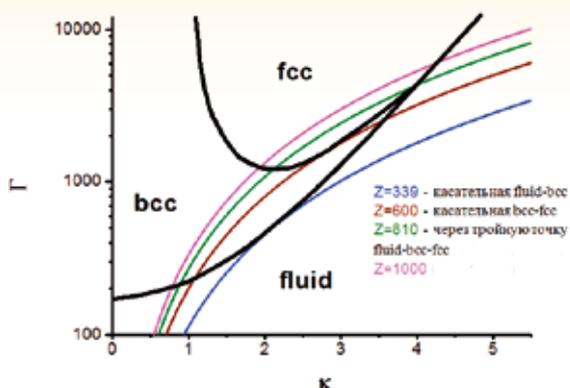


Рис. 1. Фазовая диаграмма дебаевской системы с граничными линиями $Z=const$.
 $Z = Z_1^*$ – линия $\Gamma \sim \kappa^2$ касается границы плавления bcc-fluid; $Z = Z_2^*$ – линия $\Gamma \sim \kappa^2$ пересекает границу bcc-fluid и касается границы перехода bcc-fcc; $Z = Z_3^*$ – линия $\Gamma \sim \kappa^2$ пересекает границу bcc-fluid, границу bcc-fcc и проходит через тройную точку.

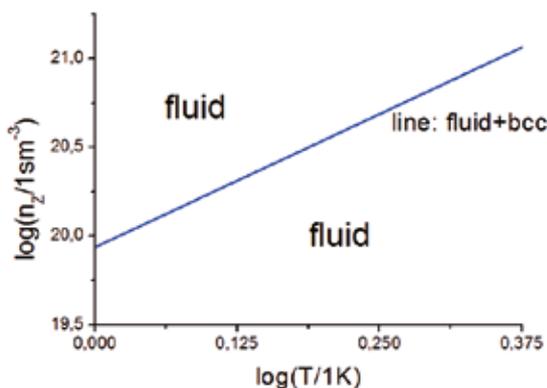


Рис. 2. Фазовая диаграмма дебаевской системы для $Z=339$.

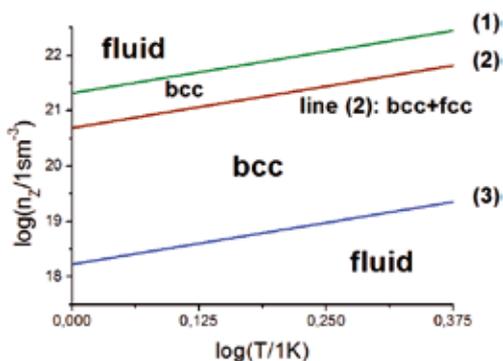


Рис. 3. Фазовая диаграмма дебаевской системы для $Z=600$.

ко распространенном подходе [6] ограничивается поддержанием электронейтральности и обеспечением дебаевского экранирования взаимодействия макроионов с радиусом $r_D(n_i, n_e, T_i, T_e)$, не реагирующим на изменение фазового состояния подсистемы макро-ионов, в частности, на

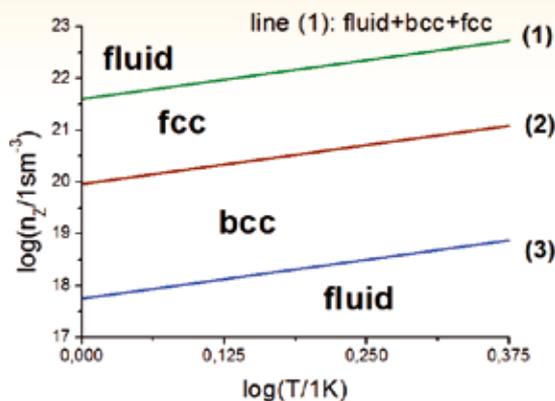


Рис. 4. Фазовая диаграмма дебаевской системы для $Z=810$.

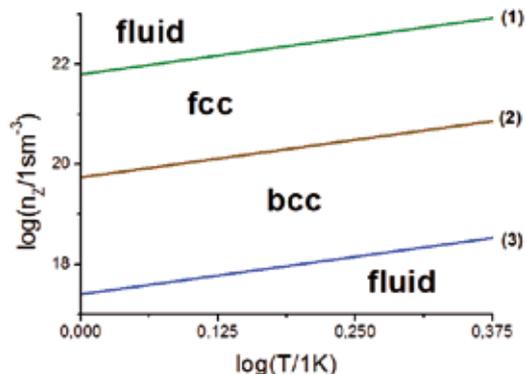


Рис. 5. Фазовая диаграмма дебаевской системы для $Z=1000$.

плавление этой системы. Непротиворечиво это может быть реализовано только в предположении постоянной плотности микроионов и постоянстве их температуры (температур T_i и T_e) в процессе фазовых превращений системы макроионов. В работах [6] и др. рассматриваются изохорические условия и скачки концентраций макро- и микроионов в фазовых превращениях не предусмотрены. Тем не менее, даже с учетом этого ограничения диаграмме [6] может быть сопоставлена соответствующая диаграмма в «естественных» термодинамических переменных n_Z, T_Z . Для содержательности такого сопоставления будем по аналогии, например, с работой [7], рассматривать полностью равновесную систему с равными температурами макро- и микроионов, т.е. $T_Z = T_e = T_i = T$.

Рассмотрим такой переход к диаграмме $n_Z - T$ на примере модели $(+Z, -1)$. Ключевым обстоятельством (фактом) является то, что в этом случае (помимо равенства температур) концентрации n_Z и n_e , определяющие, соответственно, параметры $\Gamma(T, n_Z)$ и $\kappa(T_e, n_Z, n_e)$ на диаграмме [6], линейно связаны условием электронейтральности $Zn_Z = n_e$, вследствие чего

$$\Gamma \propto \frac{\sqrt[3]{n_Z}}{T}, \quad \kappa \propto \left(\frac{\sqrt[3]{n_Z}}{T} \right)^{1/2}, \quad (2.1)$$

$$\Gamma = \frac{\kappa^2 Z}{3}. \quad (2.2)$$

Это означает, в частности, что при фиксированной величине заряда Z все многообразие точек на двумерной плоскости Z соответствует *одномерной кривой* $\Gamma \sim \kappa^2$ на диаграмме $\Gamma \sim \kappa$ работы [6], т.е. прямой линии в часто используемом в теории кулоновских систем двулогарифмическом представлении $\ln \Gamma - \ln \kappa$ (см. рисунок 1).

Расчеты настоящей работы дают следующие значения граничных величин Z_1^* , Z_2^* и Z_3^* : $Z_1^* = 339$, $Z_2^* = 600$, $Z_3^* = 810$.

Итак, при любых значениях заряда Z рассматриваемый $T - n_Z$ эквивалент диаграммы [6] представляет собой в координатах $\ln \Gamma - \ln \kappa$ набор полос, соответствующих трем рассчитанным в [6] фазовым состояниям модели Юкавы: bcc-fcc-fluid, в различающихся в зависимости от Z комбинациях (рисунки 2-5). Для конкретности в случае, к примеру, изохорического охлаждения это дает (см. рисунки 2 и 3).

Следует подчеркнуть, что для равновесной (однотемпературной) модели ЗТШ (+Z,-1) в рамках модели Юкавы с дебаевским экранированием, осуществляемым только зарядами фона (микроионами), при изохорическом понижении температуры стабильной конечной фазой такого охлаждения всегда оказывается жидкость. Формально это верно и для $T=0(!)$. Это представляется очевидным артефактом модели, требующим дополнительного анализа.

Скачок плотности в модели (+Z,-1)

Фазовый переход 1-го рода по определению сопровождается разрывом в величине хотя бы одной из первых производных от термодинамического потенциала, скажем, свободной энергии Гельмгольца $P(T,N,V)$ – плотности и энтропии сосуществующих фаз. Известна (искусственная) ситуация, когда переходу 1-го рода: плавлению, соответствует скачок только одной производной – энтропии. Это простейшая и хорошо изученная кулоновская модель ОСР – однокомпонентная (классическая или квантовая) система подвижных зарядов (ионов или электронов) на *несжимаемом* («замороженном») однородном компенсирующем фоне заряда противоположного знака [8]. В исходной версии модели ОСР (следующая [5, 9], используем обозначение ОСР(#)) фон несжимаем. Вариации объема не определены.

Хорошо известная отрицательность формально определенных давления и сжимаемости при $\Gamma \gg 1$ не означает потери термодинамической устойчивости. Единственный фазовый переход 1-го рода в системе – кристаллизация – происходит без изменения объема и сопровождается только скачком энтропии. Более реалистичная версия ОСР(~) [9], оставляя фон *однородным*, учитывает его конечную сжимаемость, зависящую, например, от степени вырождения электронов, когда последние выполняют роль «пассивного» фона для ОСР(~) ионов. В такой системе есть уже все три фазовых перехода: плавление, кипение и сублимация. Все три сопровождаются конечным скачком плотности (см. подробнее [5, 9]).

Рассмотренная в [6] и др. модель с п-м Юкавы с фиксированным радиусом экранирования r_D является короткодействующей, и все фазовые переходы в ней, включая плавление, должны сопровождаться скачком плотности. Известно, что относительный скачок плотности при плавлении в модельной системе «мягких сфер» (SS – Soft Spheres, другое название – модель IPL, Inverse Power Law) тем выше, чем жестче отталкивание, возрастает от нуля для кулоновской модели ОСР(#) и до ~ 10% для модели твердых сфер (HS). Отсутствие в модели Юкавы из [6] корректного определения допустимых вариаций удельного объема как всей системы, так и ее отдельных подсистем, и соответствующего термодинамического отклика на эти вариации, т.е. давления и сжимаемости, привело к искусственной изохоричности всех рассмотренных там фазовых превращений fluid – bcc – fcc и к отсутствию перехода газ-жидкость и газ-кристалл. Кроме того, хорошо известно, что в модели Юкавы [6] – асимметричной модели твердых сфер (ЗТШ: +Z,-1) – есть переходы жидкость-газ и кристалл-газ, а фазовые превращения в конденсированной фазе (плавление и полиморфные переходы) происходят с конечными скачками удельного объема. Вопрос в том, как оценить величину этих скачков в обсуждаемой однотемпературной версии модели Юкавы с длиной экранирования, однозначно определяемой параметрами подсистемы микроионов?

Известно, что условием «усеченного» фазового равновесия при искусственно наложенном условии изохоричности является (помимо равенства температур) условие равенства удельной свободной энергии Гельмгольца сосуществующих фаз, $f(T,P) = F(T,P,N) / N$ ($\rho = N / V$) (см. напр. [8]):

$$f'(T, \rho') = f''(T, \rho''). \quad (3.1)$$

Подчеркнем, что равенства давлений в этом усеченном варианте фазового равновесия не требуется. Общим условием полного фазового равновесия является (помимо равенства температур) еще и условие равенства давлений и удельных свободных энергий Гиббса обеих фаз, $g(T, P) = G(T, P, N) / N = f(T, P) + p(T, \rho)$.

$$g'(T, \rho') = g''(T, \rho''), \quad p'(T, \rho') = p''(T, \rho''). \quad (3.2)$$

В работе [6] не определен отклик суммарной системы макроионов Юкавы плюс термодинамически равновесный фон микроионов на вариацию объема. По этой причине нет и *однозначного* определения давления рассматриваемой модели Юкавы. Если предположить, что мы выбрали из нескольких возможных вариантов один нужный вариант определения давления $p(T, \rho)$, можно простейшим образом оценить величину разности удельных объемов сосуществующих фаз при переходе от «усеченного» (изохорического) варианта фазового перехода [6] (3.1) к полному изобарическому варианту этого перехода (3.2). В предположении малости дисбаланса давлений и удельных энергий Гиббса, $p = p' - p''$ и $g = g' - p''$, соответствующих вышеупомянутому изохорическому варианту фазового равновесия [6], и считая для определенности, что мы (изотермически) сдвигаем удельные объемы сосуществующих фаз на противоположные по знаку малые величины: $dv = -dv''$, имеем

$$[(\partial p / \partial v)' - (\partial p / \partial v'')] dv' = p = p'' - p'. \quad (3.3)$$

Ввиду вышеуказанной неопределенности в корректном определении давления в подходе [6] в данной работе не делались оценки скачка удельного объема в изобарическом варианте плавления и перехода бсс-fcc согласно (3.2), которые должны заменить изохорический вариант этих переходов из работы [6] (3.1). Проведение этих оценок является содержанием работы, проводимой в настоящее время.

О неконгруэнтности фазовых переходов в модели ЗТШ $+Z, -1, +1$. Связь с потенциалом Гальвани

Неконгруэнтный (или *инконгруэнтный*) фазовый переход (НФП, НСРТ) является самой общей формой фазовых превращений 1-го рода в равновесных системах из двух или более химических элементов, т.е. в смесях или химических соединениях (компаундах) [10, 11]. Такой тип фазового равновесия является общим и реализуется в широком круге приложений (ситуаций), включая экзотические формы ядерных и

кварк-адронных превращений флюид-флюид в сверхплотном веществе экстремальных параметров [12, 13]. Одним из отличительных свойств неконгруэнтных фазовых переходов является то, что любая межфазная граница в *интенсивных* термодинамических переменных, например $P(T)$, для неконгруэнтного перехода должна быть двумерной зоной, а не одномерной кривой, как в обычном ВдВ-переходе газ-жидкость или в обычном плавлении.

Сказанное полностью справедливо и по отношению к фазовым переходам в плазме с макроионами (пылевой, коллоидной, электролитной и др. вплоть до «структурированной смешанной фазы» («*pasta plasma*», см., например, [14])). Ключевым условием для реализации неконгруэнтного сценария любого фазового перехода в системе (помимо «обычного» форсированно-конгруэнтного сценария, т.е. равновесия по правилу Максвелла) является его 2-х и более термодинамическая размерность, т.е. наличие двух и более сохраняющихся «зарядов» [13], что в случае химически реагирующей плазмы эквивалентно наличию двух и более химических элементов в сосуществующих фазах.

В кулоновских системах дальнее действие кулоновских сил и следующее из этого условие электронейтральности в каждой из сосуществующих макроскопических фаз снижает на единицу указанную выше термодинамическую размерность фазового перехода. В приложении к плазме с макроионами (пылевой, коллоидной и др.) это означает, что рассматриваемые в данной работе фазовые превращения в упрощенной (не кулоновской) модели Юкавы всегда конгруэнтны ввиду однокомпонентности системы. Переходы в двухкомпонентной (кулоновской) модели ЗТШ $(+Z, -1)$ также конгруэнтны ввиду фактической однокомпонентности системы из-за выполнения условия электронейтральности. Система же $(+Z, -1, +1)$ является термодинамически двумерной (бинарной) за счет дополнительной степени свободы (свободного параметра) – соотношения концентраций микроионов $(+1, -1)$ (или ионов и электронов в пылевой плазме). Специфика этой системы состоит в том, что неконгруэнтность в ней неразрывно связана с другим важным свойством межфазных поверхностей в кулоновских системах – с наличием на этих межфазных границах стационарного скачка среднего электростатического потенциала в сосуществующих фазах так называемого потенциала Гальвани $\Delta\phi$ [5, 15, 16]. Условия фазового равновесия в многокомпонентной плазме (условия Гиббса-Гуггенхайма [12]) в применении к модели ЗТШ $(+Z, -1, +1)$ имеют вид:

$$T' = T'', P' = P'' \quad (4.1)$$

$$\mu'_Z = \mu''_Z + Z_e e \Delta \varphi, \mu'_i = \mu''_i + e \Delta \varphi, \mu'_e = \mu''_e - e \Delta \varphi, \quad (4.2)$$

Подчеркнем, что давление и все «локальные» (обычные) химические потенциалы макро- и микроионов (μ'_z, μ'_i, μ'_e) являются функциями температуры и всех концентраций $\mu = \mu(T, N, n_i, n_e)$.

Проявлением неконгруэнтности фазовых равновесий в модели (+Z, -1, +1) является неравенства в сосуществующих фазах отношения $x_i = n_i/n_e$, которое здесь играет роль аналога химического «состава» в смесях. С учетом электронейтральности ($Zn_z + n_i = n_e$) можем записать

$$x'_i \neq x''_i \rightarrow (n_i/n_e)' \neq (n_i/n_e)'' \quad (4.3)$$

Корректное вычисление параметров неконгруэнтного (полного) фазового равновесия в многокомпонентной системе – задача намного более сложная, чем вычисление конгруэнтного (частичного) равновесия в такой системе [16, 17]. Для проведения простой грубой оценки знака и величины гипотетической неконгруэнтности плавления в модели (+Z, -1, +1) воспользуемся максимумом возможных упрощений.

Будем считать сдвиг к неконгруэнтному плавлению малым отклонением от изохорического плавления, рассчитанного в [6]. Это означает, что плотности макроионов в кристалле и жидкости будут одинаковыми и соответствуют рассчитанным в [6]. Будем считать, что малый сдвиг к неконгруэнтному равновесию происходит только за счет обмена микроионами между фазами (относительно равных концентраций n_i и n_e при изохорических условиях [6]). Кроме того, это означает, что для оценки разности химических потенциалов макроионов n_z в кристалле и жидкости можно воспользоваться результатами вычислений свободной энергии обеих фаз в [6]. При этом при вычислении этих хим-потенциалов можно ограничиться дифференцированием только по явной зависимости $F\{T, n_z, \lambda_D(T, n_i, n_e)\}$ от n_z и пренебречь неявной зависимостью в r_D . В соответствии с уравнением (4.2) это дает оценку величины потенциала Гальвани:

$$\Delta \varphi(T, n_z, \lambda_D) = Z^{-1} \left\{ dF'(T, n_z, \lambda_D) / dn_z \right\}_{T, \lambda} - dF''(T, n_z, \lambda_D) / dn_z \Big|_{T, \lambda} \quad (4.4)$$

2-е и 3-е уравнения (4.2) дают величину разности (локальных) хим-потенциалов микроионов:

$$\begin{aligned} \mu'_i - \mu''_i &= \mu''_e - \mu'_e = Z^{-1} (\mu'_z - \mu''_z) = \\ &= Z^{-1} (\mu'_z - \mu''_z) / [Hmg97] = e \Delta \varphi \quad (4.5) \end{aligned}$$

В расчете изохорического равновесия [6], используемом в качестве нулевого приближения, концентрации микроионов n_{i0} и n_{e0} в сосуществующих фазах (в т.ч. в кристалле и жидкости) подразумеваются равными ($n_{i0}' = n_{i0}''; n_{e0}' = n_{e0}''$). Выполнение условия (4.2) требует сдвига n_i и n_e для выполнения следующих из (4.2) условий (4.5). Для получения простой оценки указанного сдвига будем учитывать только доминирующую квази-идеальную зависимость хим-потенциала μ_{ie} от n_{ie} и пренебрежем малыми (кулоновскими) поправками на неидеальность:

$$\mu_{ie}(T, n_i, n_e, n_z) \approx kT \ln \left\{ n_{ie} / \lambda_{ie}^3 \right\} \quad (4.6)$$

Уравнения (4.5) и (4.6) дают искомые сдвиги:

$$n_i / n_i'' = \exp \{ e \Delta \varphi / kT \}, \quad n_e / n_e'' = \exp \{ -e \Delta \varphi / kT \} \quad (4.7)$$

Окончательно получаем для сдвига параметра $x \equiv n_i / n_e$ в неконгруэнтном плавлении (NCPT) в сравнении с конгруэнтным [6], где $x'_0 = x''_0$:

$$(x' / x'')_{NCPT} \approx \exp \{ 2e \Delta \varphi / kT \} = \exp \{ 2 \Delta \mu_z / kT \} \quad (4.8)$$

Литература

1. Aqua J. N., Banerjee S., Fisher M. E. Criticality in charge asymmetric ionic fluids // Phys. Rev. E 72, 041501, 2005.
2. Zhukhovitskiy D., Khrapak A., Yakubov I. Plasma Chemistry, Issue 11, /Ed. by Smirnov B., M.: ENERGOIZDAT, 1984.
3. Complex and dusty plasmas: From Laboratory to Space, edited by V.E. Fortov and G.E. Morfill (CRC Press, Boca Raton, 2010).
4. Hynninen A.P., Panagiotopoulos A.Z. Phys. Rev. Lett. 98, 198301 (2007)
5. Иосилевский И.А. Термодинамика неидеальной плазмы // Энциклопедия физики низкотемпературной плазмы / Под ред. Старостина А. и Иосилевского И. М.: Физматлит, 2004. С. 349-428.
6. Hamaguchi S., Farouki R.T., Dubin D. Phys. Rev. E 56, 4671, 1997
7. Khrapak S.A., Khrapak A.G., Ivlev A.V., and Morfill G.E., Phys. Rev. E 89, 023102, 2014
8. Baus M., Hansen J.P. Phys. Reports 59, 1, 1980
9. Iosilevskiy I., High Temperature 23 807-14, 1985 / arXiv:0901.3535.
10. Iosilevskiy I., Gryaznov V., Yakub E., Ronchi C., Fortov V. et al., Contributions in Plasma Physics, 43, (5-6), 316 (2003)
11. Iosilevskiy I., Non-Ideality and Phase Transitions in Coulomb Systems, Lambert Academic Publishing GmbH, Saarbrücken, Germany,
12. Iosilevskiy I. // Acta Physica Polonica B (Proc. Suppl.) 3(3) 589-600 (2010) / arXiv:1005.4186
13. Hempel M., Dexheimer V., Schramm S. and Iosilevskiy I., Phys. Rev. C 88, 014906 (2013) / arXiv: 1302.2835.
14. Haensel P., Potekhin A., Yakovlev D. Neutron Stars I: Equation of State and Structure, Springer, New York, 2007.
15. Iosilevskiy I. and Chigvintsev A., Journ. de Physique IV 10, Pr5 p. 451-454 (2000)
16. Iosilevskiy I. Non-Ideality and Phase Transitions in Coulomb Systems, Lambert Acad. Pub. Saarbrücken, Germany (2011)
17. Ronchi C., Iosilevskiy I., Yakub E. // Equation of State of Uranium Dioxide / Springer, Berlin, 2004.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕСТОВО-КОДОВОГО МЕТОДА КОРРЕКЦИИ ОШИБОК СТАТИЧЕСКИХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Денис Евгеньевич Сорокин

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



Рассматривается метод обеспечения отказоустойчивости дискретных устройств хранения и передачи информации на основе корректирующих линейных кодов с апостериорной коррекцией ошибок. Предлагаемый метод позволяет расширить корректирующие возможности кода, т.е. определить конфигурацию любой ошибки при минимальной избыточности кода, аппаратных и временных затратах.

A method is considered failsafe digital storage and transmission of information on the basis of the linear correcting codes with a posteriori error correction. This method allows one to extend the corrective capabilities of the code, determine the configuration of any errors in the minimum redundancy code, instrumental and time expenses.

Ключевые слова: линейный код, одиночная ошибка, кратная ошибка, тестовое воздействие, конфигурация ошибки.

Keywords: linear code, a single mistake, multiple error, test the impact of configuration errors.

1. Введение и постановка задачи

Увеличение объемов и видов обрабатываемой дискретной информации выдвигает повышенные требования к ее достоверности и точности. Исследования, проведенные в работе [1], позволяют сделать вывод, что наиболее эффективно данная задача решается на основе использования корректирующих линейных кодов.

Обзор публикаций, приведенных в работе [2-4] показывает, что для устройств, работающих в реальном масштабе времени наиболее целесообразно использовать коды, корректирующие одиночные ошибки; при исправлении ошибок большей кратности существенно увеличивается сложность кодирующего и декодирующего устройства, а также снижается быстродействие системы.

При осуществлении коррекции одиночной ошибки предполагается, что ее возникновение является наиболее вероятным событием.

Однако в тяжелых условиях работы, например в космосе, механизм отказа обусловлен одной и той же причиной, способной привести к возникновению ошибок произвольной кратности, в частности имеющих такой же вектор ошибки, как и корректируемая ошибка (появле-

нию неразличимых ошибок), что приводит к неправильной коррекции (снижению достоверности хранения и передачи информации).

Таким образом, при использовании корректирующих кодов, исправляющих одиночные ошибки, возникает необходимость выявления конфигурации ошибок большей кратности при минимальных временных и аппаратных затратах. Указанные ограничения определяют целесообразность решения поставленной задачи на основе анализа результатов тестового диагностирования.

2. Свойства линейных корректирующих кодов

Двоичные линейные (n, k) -коды представляют собой k -мерное подпространство (число информационных символов) n -мерного пространства двоичных векторов (общее число символов кода) Y_i .

Проверочные разряды в линейных кодах являются некоторой функцией от информационных разрядов по операции сложения по mod 2 ($r=n-k$) – число проверочных символов.

Определение 2.1 [1]: Для любого вектора Y_i линейного (n, k) кода – A над полем из q элемен-

тов (в нашем случае $q=2$), множество:

$$Y_i + A = \{Y_i \oplus Y_j : Y_j \in A\} \quad (2.1)$$

называется смежным классом (или сдвигом) кода A , каждый смежный класс содержит q^k векторов.

Рассматриваемое множество обладает следующими свойствами:

Свойство 2.1. Любой Y_i кодовый набор находится в некотором смежном классе.

Свойство 2.2. Для двоичного кода каждый смежный класс содержит 2^k кодовых наборов.

Свойство 2.3. Два кодовых набора Y_i и Y_j находятся в одном и том же смежном классе, тогда и только тогда, когда $Y_i \oplus Y_j = A$.

Свойство 2.4. Два смежных класса либо не пересекаются, либо совпадают (частичное перекрытие не возможно).

Свойство 2.5. Множество смежных классов включает $S_0 = 2^n$ кодовых наборов и содержит следующие подмножества смежных классов:

1. $S_3^O = 2^k - 1$ запрещенных кодовых наборов, которые воспринимаются как безошибочные (ошибки S_3^O является зоной «нечувствительности» линейного кода).

2. $S_3^H = k2^k$ запрещенных кодовых наборов, имеющих такой же вектор ошибки, как и корректируемая ошибка в информационных разрядах.

3. $S_3^K = r2^k$ запрещенных кодовых наборов, имеющих такой же вектор ошибки, как и корректируемая ошибка в контрольных разрядах.

4. $S_K = S_O \setminus [S_3^O \cup (S_3^H \cap S_3^K)]$ – число ошибок, которые однозначно воспринимаются как ошибочные.

Декодирование линейных кодов (исправление ошибки), как правило, осуществляется по методу максимума правдоподобия, при этом из смежного класса, содержащего ошибочный кодовый набор Y_i^* , выбирается вектор ошибки E с наименьшим весом (лидер смежного класса) и проводится коррекция ошибки как $Y_i = Y_i^* \oplus E$.

Если предположить, что в устройстве (канале передачи информации) возможно возникновение не только одиночной ошибки, но и ошибок большей кратности, то встает задача определения кратности ошибки, принадлежащей соответствующему смежному классу.

Для уменьшения аппаратных затрат эту задачу целесообразно решать путем подачи тестового диагностирования.

Естественно, данная процедура приведет к снижению быстродействия отказоустойчивого устройства, поэтому встает задача по выбору корректирующего кода, для которого выявление кратности ошибки возможно при минимальном числе тестовых наборов.

Пусть отказоустойчивость устройства обеспечивается на основе корректирующего линейного кода, исправляющего одиночную ошибку.

Каждому рабочему входному набору X_H поставим в соответствие тестовый набор $T_H = f(X_H)$, обеспечивающий противоположное значение сигналов в информационных разрядах.

Средства диагностирования (декодирующее устройство) содержат схему поразрядного сравнения, реализующую логическую функцию:

$$B = Y_X \oplus Y_T, \quad (2.2)$$

где $Y_X = f(X_H) = \{y_X^1, y_X^2, \dots, y_X^k\}$ – выходной набор (значения сигналов в информационных разрядах) на рабочем входном наборе;

$Y_T = f(X_H) = \{y_T^1, y_T^2, \dots, y_T^k\}$ – выходной набор на тестовом воздействии, обеспечивающем противоположные значения сигналов в информационных разрядах относительно рабочего входного набора.

Результатом сравнения является значение сигналов в разрядах вектора $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$.

Ставится задача определения конфигурации ошибок по результатам алгебраических операций со значениями вектора ошибки E и вектора B схемы поразрядного сравнения.

3. Принципы построения кодов, корректирующих кратные ошибки

В соответствии с поставленной задачей возникающие ошибки образуют расширенный смежный класс $|S_0| = 2^n$, включающий 2^r подмножеств смежных классов:

$$S_3^O = 2^k - 1; S_3^H = k2^k; S_3^K = r2^k;$$

$$S_K = S_O \setminus [S_3^O \cup (S_3^H \cap S_3^K)].$$

Для ошибок $S_i \in S_3^O$ выявлено следующее свойство.

Свойство 3.1. $\forall S_i \in S_3^O \exists y_j^* \neq y_j,$

т.е. информационные разряды ошибочного кодового набора, принадлежащего смежному классу S_3^O , содержат хотя бы один ошибочный разряд y_j^* .

Теорема 3.1. $\forall A(n, k), \forall S_i \in S_3^O \exists T_H = f(X_H) / B_{сд} \neq 0, i = 0 \div 2^k - 1,$

где T_H – тестовый набор, порождающий противоположные значения сигналов в информационных разрядах относительно рассматриваемого входного набора X_H ;

$B_{сд} = f(e_1, e_2, \dots, e_k)$ – значение сигналов на выходе схемы поразрядного сравнения средств диагностирования (результат сравнения значений сигналов информационных разрядов, которые должны быть получены на тестовом наборе с реальными значениями).

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Доказательство. Если i -я ошибка принадлежит смежному классу S_3^0 , то это означает, что на рассматриваемом входном наборе ошибочные значения логических сигналов (логическая единица вместо логического нуля и наоборот) в информационных и контрольных разрядах образуют такое сочетание, при котором кодовый набор воспринимается как безошибочный (ошибка «маскируется» и вектор ошибки E имеет нулевые значения). Так как хотя бы один информационный разряд содержит замаскированную ошибку (см. свойство 3.1), то при подаче входного набора, порождающего противоположные значения сигналов в информационных разрядах «замаскированные» ошибки будут проявляться. Например, если в j -ом разряде возникла ошибка типа *const1*, которая «маскируется» при подаче рабочего входного набора, то при подаче тестового набора, обеспечивающего нулевое значение сигнала в данном разряде, данная ошибка будет обнаружена.

Свойство 3.2. $\exists S_i \in S_3^0 / Y_j^* = Y_j$, т.е. существуют такие ошибки, которые не приводят к искажениям в кодовом наборе на рассматриваемом входном наборе.

Следствие 3.1. В результате тестового воздействия ошибки $S_i \in S_3^0$ обнаруживаются, но не могут быть скорректированы.

Каждой ошибке $S_i \in S_3^0$ поставим в соответствие значения вектора ошибки E и схемы поразрядного сравнения B .

Данную совокупность представим в виде нулевой определяющей матрицы:

$$E_3^0 = \begin{pmatrix} B_0 & e_{01}^0 & e_{02}^0 & \dots & e_{0n}^0 \\ B_1 & e_{11}^0 & e_{12}^0 & \dots & e_{1n}^0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{2^k} & e_{2^k 1}^0 & e_{2^k 2}^0 & \dots & e_{2^k n}^0 \end{pmatrix}, \quad (3.1)$$

где B_i – двоичный эквивалент (признак ошибки) значения кодового набора на выходе схемы поразрядного сравнения ($i = 0, 1, 2, \dots, 2^k$); каждая строка определяющей матрицы представляет собой вектор ошибки для i -ой ошибки смежного класса S_3^0 и соответствующего значения B_i ; B_0 – соответствует нулевым значениям разрядов схемы поразрядного сравнения и, следовательно, нулевым значениям вектора ошибки.

Элементы определяющей матрицы (3.1) образуют группу, т.к. выполняются аксиомы [5]:

Аксиома 1 (замкнутость). В результате выполнения операции сложения по mod 2 между двумя элементами группы образуется третий элемент группы.

Аксиома 2 (ассоциативный закон). Если $x, y, z \in M$, то $x \oplus (y \oplus z) = (x \oplus y) \oplus z$.

Аксиома 3. Существует нулевой (единичный) элемент.

Аксиома 4. Для любого $x \in M$ существует такой элемент $(-x)$, что $x \oplus (-x) = 0$.

Для рассматриваемой группы противоположным является сам элемент группы.

Следствие 3.2. При выполнении операции сложения над строками определяющей матрицы образуется признак ошибки с номером α и соответствующие ему значения вектора ошибки.

Выберем из определяющей матрицы (3.1) строки номер признака

$$\alpha = i \oplus j, (i \neq j); E_3^\alpha = B_\alpha e_{\alpha 1}^0, e_{\alpha 2}^0, \dots, e_{\alpha n}^0, \quad (3.2)$$

ошибки которых соответствуют 2^i , ($i = 1, 2, \dots, k$), и построим проверочную матрицу:

$$E_{3H}^0 = \begin{pmatrix} 00 \dots 0 & e_{01}^0 & e_{02}^0 & \dots & e_{0n}^0 \\ 00 \dots 1 & e_{11}^0 & e_{12}^0 & \dots & e_{1n}^0 \\ 00 \dots 10 & e_{21}^0 & e_{22}^0 & \dots & e_{2n}^0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 10 \dots 0 & e_{2^k 1}^0 & e_{2^k 2}^0 & \dots & e_{2^k n}^0 \end{pmatrix}. \quad (3.3)$$

Аналогичным образом определяющие матрицы для всех смежных классов:

$$E_3^j = \begin{pmatrix} B_0 & e_{01}^j & e_{02}^j & \dots & e_{0n}^j \\ B_1 & e_{11}^j & e_{12}^j & \dots & e_{1n}^j \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{2^k} & e_{2^k 1}^j & e_{2^k 2}^j & \dots & e_{2^k n}^j \end{pmatrix}, \quad (3.4)$$

где j – двоичный эквивалент номера смежного класса, полученный при сложении контрольных разрядов, поступающих с кодирующего устройства и полученных при декодировании ($j = 0, 1, 2, \dots, 2^r$).

Теорема 3.2. $\exists S_i \in S_3^{H(K)} \exists T_H = \overline{f(X_H)} / B = 0$;

Действительно, если информационные разряды не содержат ошибки, то при подаче тестового набора значения сигналов на выходе схемы совпадения имеют нулевые значения.

Выберем из совокупности определяющих матриц (3.4) матрицы с номерами $j = 2^i$, ($i = 0, 1, \dots, r$), выразим их в двоичной системе счисления и представим в виде единичной матрицы I . Выберем из j -х матриц соответствующие им вектора ошибок с номерами B_0 и построим матрицу смежных классов F :

$$F = \begin{pmatrix} B_0 & 00 \dots 1 & e_{01}^1 & e_{02}^1 & \dots & e_{0n}^1 \\ B_0 & 00 \dots 10 & e_{01}^2 & e_{02}^2 & \dots & e_{0n}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_0 & 10 \dots 00 & e_{01}^{2^r} & e_{02}^{2^r} & \dots & e_{0n}^{2^r} \end{pmatrix}. \quad (3.5)$$

Таблица 3.1

Смежные классы ошибок

№ п/п	r ₁ , r ₂	y ₂ r ₃ y ₁	e ₁ e ₂ e ₃
1	0 1	1 1 1	0 0 0
2	1 1	1 1 1	1 0 0
3	0 0	1 1 1	0 1 0
4	0 1	0 1 1	1 1 0
5	0 1	1 0 1	0 0 1
6	0 1	1 1 0	1 0 1
7	1 0	1 1 1	1 1 0
8	1 1	0 1 1	0 1 0
9	1 1	1 0 1	1 0 1
10	1 1	1 1 0	0 0 1
11	0 0	0 1 1	1 0 0
12	0 0	1 0 1	0 1 1
13	0 0	1 1 0	1 1 1
14	0 1	0 0 1	1 1 1
15	0 1	0 1 0	0 1 1
16	0 1	1 0 0	1 0 0
17	1 0	0 1 1	0 0 0
18	1 0	1 0 1	1 1 1
19	1 0	1 1 0	0 1 1
20	1 1	0 0 1	0 1 1
21	1 1	0 1 0	1 1 1
22	1 1	1 0 0	0 0 0
23	0 0	0 0 1	1 0 1
24	0 0	0 1 0	0 0 1
25	0 0	1 0 0	1 1 0
26	0 1	0 0 0	0 1 0
27	1 0	0 0 1	0 0 1
28	1 0	0 1 0	1 0 1
29	1 0	1 0 0	0 1 0
30	1 1	0 0 0	1 1 0
31	0 0	0 0 0	0 0 0
32	1 0	0 0 0	1 0 0

Таблица 3.2

Результаты подачи тестовых воздействий

№	r ₁ r ₂ y ₂ r ₃ y ₁	e ₁ e ₂ e ₃	T _H → y ₂ y ₁	y ₂ y ₁	ВД
1	0 1 1 1 1	0 0 0	0 0	0 0	0 0
2	1* 0* 0* 1 1	0 0 0	1 0	0 0	1 0
3	1* 1 1 0* 0*	0 0 0	0 1	0 0	0 1
4	0 0* 0* 0* 0*	0 0 0	1 1	0 0	1 1

Элементы матрицы смежных классов (3.5) образуют группу, т.к. выполняются аксиомы, приведенные выше.

Следствие 3.3. При выполнении операции сложения над строками порождающей матрицы образуется нулевой вектор ошибки определяющей матрицы с номером β (смежного класса ошибок под данным номером):

Свойство 3.3. Двоичный эквивалент номера смежного класса β равен

$\beta = i \oplus j, (i \neq j); E_3^\beta = B_0^\beta e_{01}^\beta, e_{02}^\beta, \dots, e_{0n}^\beta$ (3.6)
 кодовому набору значений проверочных разрядов вектора ошибки.

Свойство 3.4. Если произошла ошибка, принадлежащая смежному классу с номером β, и тестовый набор $T_H = f(X_H)$ порождает признак ошибки B_i , то вектор ошибки E находится как сумма двоичного номера смежного класса β с соответствующими разрядами i-ой строкой проверочной матрицы (3.3):

$$\begin{aligned} E_{3i}^0 \in E_3^0 &= e_{i1}^0, e_{i2}^0, \dots, e_{in}^0 \\ \oplus E_3^\beta \in E_3^j &= e_{01}^\beta, e_{02}^\beta, \dots, e_{0n}^\beta \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$E = e_{i1}^\beta, e_{i2}^\beta, \dots, e_{in}^\beta$$

Рассмотрим построение корректирующего кода с апостериорной коррекцией ошибок на примере кода Хемминга (5,2).

В таблице 3.1 представлена совокупность смежных классов ошибок, полученных относительно безошибочного кодового набора 01111 ($r_1 r_2 y_2 r_3 y_1$; $r_1 = y_1 \oplus y_2$; $r_2 = y_2$; $r_3 = y_1$).

Выпишем из таблицы 3.1 ошибочные кодовые наборы, принадлежащие смежному классу ошибок S_3^0 (1, 17, 22, 31 строки таблицы), организуем для них процедуру тестового диагностирования и результаты запишем в таблицу 3.2. Ошибочные разряды кодовых наборов в данной таблице помечены звездочкой.

Из таблицы 3.2 следует, что при подаче тестового набора (обеспечивающего противоположные значения сигналов в информационных разрядах относительно входного набора) для кодовых наборов, содержащих ошибку, значения сигналов на выходе устройства принимают нулевые значения, а схема поразрядного сравнения выдает сигнал ошибки.

Используя таблицу 3.2 и заменив в ней ошибочные разряды (помеченные звездочкой) на единицы, а не содержащие ошибку – на нули, построим определяющую матрицу:

$$E_3^0 = \begin{pmatrix} 00 & 00000 \\ 01 & 10011 \\ 10 & 11100 \\ 11 & 01111 \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

На основе определяющей матрицы построим проверочную матрицу:

$$E_{3П}^0 = \begin{pmatrix} 00 & 00000 \\ 01 & 10011 \\ 10 & 11100 \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

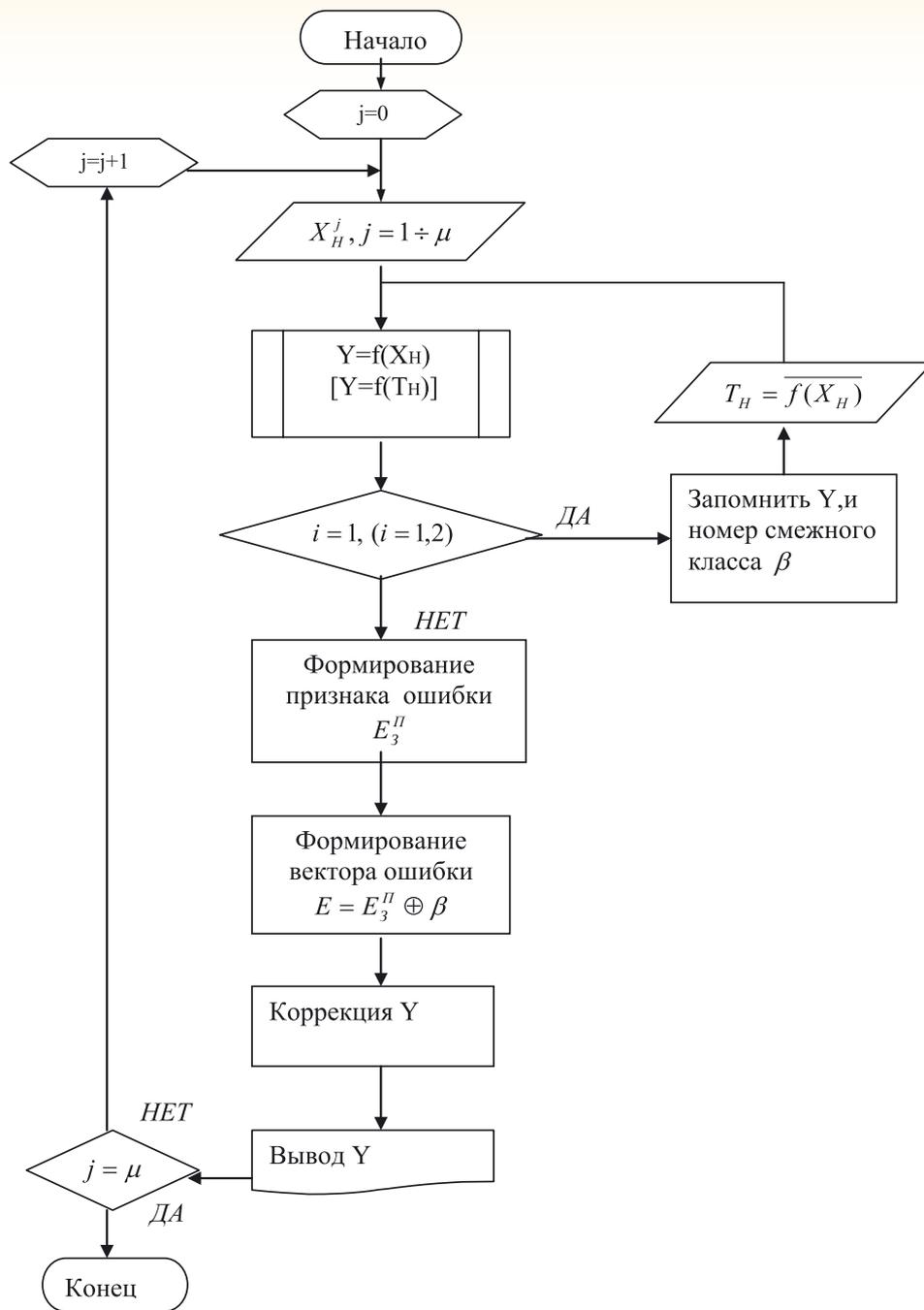


Рис. 3.1. Алгоритм апостериорной коррекции ошибок по результатам тестового набора, обеспечивающего противоположное значение сигналов в информационных разрядах

Используя таблицу 3.1, из смежных классов с номерами 2^i выпишем значения векторов ошибок для B_0 и построим порождающую матрицу:

$$F = \begin{vmatrix} 00100010 \\ 01001000 \\ 10010000 \end{vmatrix}. \quad (3.10)$$

Очевидно, что для данной матрицы справедливо свойство 3.3.

Пусть произошла ошибка, соответствующая

15-ой строке таблицы 3.1, принадлежащая смежному классу $\beta = 011 (010 \cdot 10^*)$. При подаче тестового набора (формирующего противоположные значения сигналов в информационных разрядах) получим признак ошибки $B_3 = 11$.

Так как признак ошибки равен $B_3 = 11$, проведем сложение второй и третьей строки проверочной матрицы. В результате получим значение вектора ошибки: $E_3^0 = 01111$. Сложение номера смежного класса с соответствующими раз-

рядами вектора ошибки проверочной матрицы даст реальный вектор ошибки E :

$$E_3^o = 01111$$

$$\oplus \beta = 01-1-$$

$$E = 00101$$

Алгоритм функционирования отказоустойчивого дискретного устройства с апостериорной коррекцией ошибок по результатам тестового набора, обеспечивающего противоположное значение сигналов в информационных разрядах, представлен на *рисунке 3.1*.

Индексом j , ($j=0,1,\dots,\mu$) обозначен номер рабочего входного набора; $i=1$ – такт подачи рабочего входного набора; $i=2$ – такт подачи тестового набора; T_H – тестовый набор, обеспечивающий противоположное значение сигналов в информационных разрядах относительно рабочего входного набора; β – номер смежного класса; E_3^o – значение вектора ошибки (признак ошибки) сформированное на основе проверочной матрицы; E – реальное значение вектора ошибки.

Таким образом, апостериорная коррекция позволяет обнаруживать ошибки $S_i \in S_3^o$ и корректировать любые ошибки других смежных классов, исключает необходимость увеличения контрольных разрядов и, следовательно, рост аппаратных затрат для этих целей.

Предлагаемый метод позволяет иметь простой алгоритм диагноза для определения ошибочных разрядов кодового слова при минимальных временных и аппаратных затратах (требуется подача только одного тестового набора, средства диагностирования имеют минимальную память для хранения эталонных значений векторов ошибок).

Литература

1. Мак-Вильямс Ф.Дж., Слоэн Н.Дж. Теория кодов, исправляющих ошибки. М.: Связь, 1979. 744 с.
2. Павлов А.А., Павлов А.А., Павлов П.А., Царьков А.Н., Хоруженко О.В. Метод контроля ошибок в устройствах хранения и передачи информации телекоммуникационных систем // Контроль. Диагностика. 2011, №2(152). С. 69-71.
3. Сагалович Ю.Л. Кодовая защита оперативной памяти ЭВМ от ошибок // Автоматика и телемеханика. 1991, №5. С. 3-45.
4. Щербаков Н.С. Достоверность работы цифровых устройств. М: Машиностроение, 1989. 224 с.
5. Сорокин Д.Е. Тестово-кодовый метод обнаружения и коррекции ошибок статических оперативных запоминающих устройств // Известия Института инженерной физики, 2014. №2(32). С. 57-60
6. Павлов А.А., Ващенко А.П., Хоруженко О.В., Никулин В.С. Контроль ошибок в телекоммуникационных устройствах // Известия Института инженерной физики, 2010. №3(17). С. 37-38.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 44.29.29

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

Константин Васильевич Капелько

заслуженный деятель науки РФ,
почетный энергетик РФ
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры электроснабжения
ракетных комплексов
ВА РВСН им. Петра Великого
Адрес: 109074, Москва,
Китайгородский пр-д, д. 9
Тел.: +7(499)908-01-55

Сергей Алексеевич Коннов

преподаватель кафедры
электроснабжения ракетных комплексов
ВА РВСН им. Петра Великого
Адрес: 109074, Москва,
Китайгородский пр-д, д. 9
Тел. +7(499)199-30-77
E-mail: konnov82@mail.ru

Рассматривается один из подходов к комплексному диагностированию электроэнергетического оборудования, применяемому в системах автономного, гарантированного и резервного электроснабжения на основе микропроцессорных систем управления и контроля.

Considered one of the approaches to integrated diagnostics of electric power equipment used in the system of autonomous, secure and backup power of microprocessor-based control and monitoring systems.

Ключевые слова: диагностирование, электроэнергетическое оборудование, сложные технические системы, математическая модель, устройство комплексной диагностики, работоспособность.

Keywords: diagnostics, power equipment, complex technical systems, mathematical model, a device integrated diagnostic performance.

В настоящее время при эксплуатации сложных технических систем (СТС) применяется календарный принцип обслуживания электроэнергетического оборудования (ЭЭО), который имеет ряд недостатков как технологического, так и экономического характера.

Подход, позволяющий в значительной степени избавиться от этих недостатков, основан на организации обслуживания ЭЭО по фактическому техническому состоянию (ФТС) [1].

При реализации технического обслуживания (ТО) по ФТС перечень и периодичность операций, в том числе замены ЭЭО или его элементов, назначаются по результатам контроля его технического состояния [2]. Контроль может быть непрерывным (мониторинг) или периодическим. Основными составляющими процесса организации ТО по ФТС являются следующие этапы:

● диагностирование технического состояния ЭЭО на месте функционального использования;

- определение объема работ по ТО;
- настройка и регулировка на месте функционального использования;
- перевод в режим ТО при обнаружении отказа или предотказового состояния, которое невозможно устранить путем регулировки;
- контроль с целью локализации места повреждения;
- восстановление ЭЭО;
- контроль состояния на соответствие техническим показателям;
- монтаж и проверка ЭЭО перед функциональным использованием.

Вопросам диагностирования ЭЭО в настоящее время уделяется большое внимание. Проведены исследования по диагностике автономных и резервных источников электроэнергии (химических источников тока и дизель-генераторов), кабельных линий электропередач; автоматизированный мониторинг силовых трансформато-

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

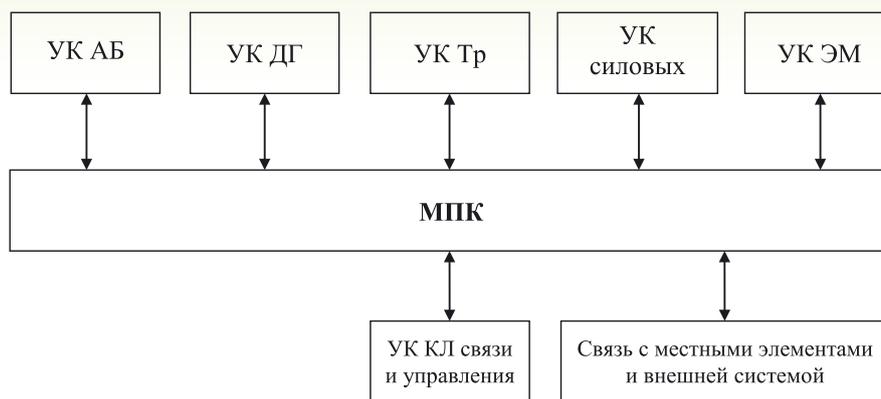


Рис 1. Структурная схема устройства комплексной диагностики ЭЭО

ров и однофазных асинхронных электродвигателей.

В процессе исследования требований, предъявляемых к структурам ЭЭО сложных технических систем, была выявлена возможность разработки устройства комплексной диагностики технического состояния ее элементов: аккумуляторных батарей (АБ), дизель-генераторов (ДГ), кабельных линий (КЛ), трансформаторов (Тр), обратимых синхронных машин (СМ) с маховиком, электрических генераторов и двигателей (ЭМ), составляющих системы автономного, гарантированного и резервного электропитания сложных технических систем на основе микропроцессорных систем управления и контроля.

Формальное описание математической модели оценки работоспособности ЭЭО можно представить в виде постановки задачи, а именно:

Задано множество известных параметров внутренних $x_i \in X$ и внешних $z_j \in Z$ состояний и погрешностей измерения $g_r \in G$; необходимо найти такие параметры диагностирования ЭЭО, которые не превышали бы пограничные состояния и допустимые погрешности измерения при условии, что параметр исправного состояния равен нулю, а неисправного – единице.

Такая постановка задачи позволяет организовать диагностирование элементов ЭЭО с прогнозированием их технического состояния.

В основу системы комплексного диагностирования ЭЭО положены устройства контроля энергоресурса АБ [3, 4], устройство диагностики ДГ [5, 6], устройства диагностики кабельных линий [7], силовых трансформаторов, обратимых СМ с маховиком, ЭМ и др.

Математическая модель работоспособности элементов в виде констант и программ алгоритмов вычислений закладывается в память. В зависимости от задач, решаемых ЭЭО, выбирается

вариант диагностирования с подачей испытательных воздействий и без них.

Структура построения устройств диагностики (УД) с использованием микропроцессорного комплекса (МПК) и их комплектующих микроустройств (оперативного запоминающего устройства, перепрограммируемого постоянно запоминающего устройства, устройства управления) представлена на *рисунке 1*.

Наличие у МПК нескольких регистров общего назначения дает возможность разбить проверку состояния ЭЭО на несколько групп диагностирования – устройств контроля (УК) АБ, ДГ, Тр, КЛ, СМ с маховиком, ЭМ и др.

Диагностируемыми параметрами устройств контроля являются:

- в АБ – напряжение и ток разряда, сопротивление изоляции, давление, остаточная емкость и длительность автономного функционирования;

- в ДГ – напряжение, ток и частота вращения, угловое положение коленчатого вала, впрыск топлива на форсунках, давление масла, температура охлаждающей жидкости и генератора, расход топлива, масла и воды, механическая прочность подшипникового узла и остаточный ресурс;

- в Тр – напряжение, ток, сопротивление изоляции, уровень и температура трансформатора и масла, остаточный ресурс;

- в СМ с маховиком – сопротивление изоляции, температура обмоток статора, температура подшипникового узла, механическая прочность подшипникового узла по методу вибро-акустической эмиссии, наработка часов;

- в КЛ – электрическая прочность, сопротивление изоляции, поперечное сопротивление (сопротивление утечки), среднее количество частичных разрядов в локальном месте, напряжение возникновения, максимальная величина ЧР в локальном месте, величина максимального на-

пряжения саморазряда, (при зарядке изоляции напряжением 1 и 2 кВ), коэффициент нелинейности скорости изменения возвратного напряжения, токи утечки, коэффициент асимметрии токов утечки, импульсная переходная характеристика, переходное сопротивление дефекта (рефлектометрия);

● в ЭМ – напряжение, ток, частота вращения, температура и механическая прочность подшипникового узла, сопротивление изоляции, остаточный ресурс.

Вопросы организации работы УД и режима работы ЭЭО тесно связаны между собой. Наиболее эффективна непрерывная работа УД, однако она требует значительных энергозатрат. Для полной автономности отдельных УК можно организовать их работу циклически и по вызову.

При автономном функционировании отдельных УК используется УД, работающее по вызову и инициирующее основные параметры элементов ЭЭО и общий «индекс» работоспособности.

Помимо микропроцессорного комплекта УК включают устройство обмена информации, в свою очередь состоящее из аналогово-цифровых и код-кодовых преобразователей; регистрирующее устройство (РУ); устройство связи (УС) и устройство индикации (УИ).

При создании устройства комплексной диагностики ЭЭО должны быть решены такие вопросы, как выбор типа МПК, организация работы и питания устройства, регистрация текущих результатов, их индикация и связь с системами контроля более высокого уровня.

Необходимость РУ определяется требованиями недопустимости потери информации в случаях отказа, отключений или замены МПК. При

этом должна быть предусмотрена возможность обратного обращения восстановленного МПК к РУ.

Связь с более высокими уровнями системы контроля СТС осуществляется через УС, соединенное с РУ и имеющее общую шину данных на МПК.

Таким образом, техническая реализация комплексной диагностики электроэнергетического оборудования в составе сложных технических систем с использованием МПК выливается в устройство встроенного контроля по фактическому состоянию, функционирующее как автономно, так и в составе системы в целом с последующим прогнозированием ее состояния.

Литература

1. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т.: Т. 9. Техническая диагностика / Под общ. ред. В.В. Клюева, П.П. Пархоменко. М.: Машиностроение, 1987. 352 с.
2. Емелин Н.М., Норенко А.Ю. Надежность и техническая диагностика сложных технических систем. М.: ВА РВСН имени Петра Великого, 2010. 295 с.
3. Капелько К.В., Крылов С.К., Буланов Р.Б. Устройство определения энергоресурса аккумуляторной батареи. Патент RU № 2279738 от 4.08.2004 г.
4. Капелько К.В., Бердников А.Ю., Буланов Р.Б. Устройство определения энергоресурса аккумуляторной батареи. Патент RU №2279162 от 13.01.2005 г.
5. Капелько К.В., Ковалев А.А., Сергеев К.Г. Устройство контроля технического состояния ДЭС. Патент RU №2334208 от 20.12.2006 г.
6. Капелько К.В., Ковалев А.А., Назаренко С.Н. Устройство для диагностики ДЭС. Патент RU №2361186 от 27.12.2007 г.
7. Капелько К. В., Верещагин А. С. Устройство диагностики кабелей. Патент RU №2418302 от 25.02.2010 г.

БАЗЫ ДАННЫХ

УДК 615.9:543

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ СУПЕРЭКОТОКСИКАНТОВ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ



Олег Борисович Стрельцов

старший преподаватель
кафедры материаловедения и
ремонта вооружения
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел. +7(4967)78-96-61

Альбина Сагитовна Беляева

доцент кафедры
«Охрана окружающей среды и
рациональное использование
природных ресурсов»
Уфимская государственная академия
экономики и сервиса
Адрес: 450078, г. Уфа,
ул. Чернышевского, д. 145
Тел.: +7(937)582-27-17
E-mail: oosripr1@rambler.ru

В статье описана экологическая обстановка в городе Уфа, приводятся результаты основных научно-исследовательских работ, выполненных при участии Института проблем прикладной экологии и природопользования Академии наук Республики Башкортостан – Государственного унитарного предприятия Научно-исследовательский институт безопасности жизнедеятельности.

This article describes the environmental situation in the city of Ufa, the results of the basic research work, performed with the participation of the Institute of applied ecology and environmental Sciences Academy of sciences of the Republic of Bashkortostan – the State unitary enterprise Scientific research Institute of safety.

Ключевые слова: экологическая обстановка, мониторинг, экологическая безопасность, анализ, окружающая среда.

Keywords: environmental setting, monitoring, environmental safety, analysis, environmen.

Проблемы, связанные с наблюдаемыми в последние 50 лет нарушениями эволюционно сложившихся химических равновесий, носят крупнорегиональный или глобальный характер [1].

Проблемы экологической безопасности Уфы понятны многим, так как экологическая ситуация почти во всех российских промышленных городах аналогична. В Уфе сконцентрирована многоотраслевая производственная структура, перенасыщенная техногенноопасными объектами. На территории городских земель располагаются крупнейшие промышленные предприятия химии и нефтехимии, энергетики и машиностроения, строительного комплекса и ряда других.

Резкое обострение экологическая ситуация в Уфе получила весной 1990 года, когда в результате аварии на ОАО «Химпром» в ноябре 1989 года в систему водоснабжения города вместе с тальми водами с территории предприятия попал фенол.

Анализ образцов вод, отобранных 21 апреля, т.е. спустя 3-4 недели после начала событий, был выполнен в Научном центре по разработке и внедрению современных методов молекулярной диагностики (НЦМД, Москва). Были найдены следующие концентрации полихлорированных дибензо-*n*-диоксинов и полихлорированных дибензофуранов (ПХДД/ПХДФ) (таблица 1).

В бывшем СССР на то время действовала лишь одна норма – содержание ПХДД/ПХДФ в любых водах не должно было превышать 0,26 мкг/л.

Результаты анализов показали, что даже 3-4 недели спустя после начала событий содержание ПХДД/ПХДФ в воде в тысячи раз превышало допустимые уровни того времени, однако эти оценки не отражают полной картины сложившегося положения, поскольку в водопроводной воде измерялись лишь ПХДД, а не ПХДФ, образующиеся в основном при хлорировании питьевой воды [2].

БАЗЫ ДАННЫХ

Таблица 1

Результаты анализов воды в апреле 1991 г.

Место отбора пробы воды	Изомер	Концентрация, нг/л
Территория ПО «Химпром»	2,3,7,8-ТХДД	8
Р. Уфа (южный водозабор)	1,2,3,6,7,9-ГкХДД	8
	1,2,3,6,8,9-ГкХДД	80
	1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД	25
	1,2,3,4,6,7,9-ГпХДД	95
	ОХДД	760
Водоразборная колонка на ул. Ахметова	1,2,3,6,8,9-ГкХДД	39

В результате данной аварии от воздействия отравленной питьевой воды были признаны пострадавшими около 900 тысяч жителей Уфы.

4-8 мая 1992 г. в Уфе работала группа экспертов Государственного комитета при Президенте РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ГКЧС) во главе с заместителем председателя ГКЧС В.В. Бенкевичем, установившая, что питьевая вода в Уфе не отвечает гигиеническим требованиям по содержанию ПХДД/ПХДФ, наличие токсичных изомеров которого в городском водопроводе по данным Института биоорганической химии им. М.М. Шемякина в апреле 1992 года превышало допустимые нормы от 2 до 25 раз [3].

В 1993 г. экологическая обстановка по ряду причин экономического и политического характера оставалась по-прежнему напряженной. Бюджетное финансирование природоохранных работ не осуществлялось, в связи с чем не был выполнен ряд неотложных природоохранных мероприятий, и это усугубило состояние окружающей среды РБ [4].

29 мая 1992 г., учитывая критическую экологическую ситуацию, Совет Министров Республики Башкортостан постановлением №168 поручил мэрии Уфы при участии ученых Академии наук Республики Башкортостан подготовить предложения по разработке основных этапов республиканской программы «Диоксин» и представить их на рассмотрение республиканской комиссии.

Проект республиканской программы «Диоксин» был принят за основу Советом Министров РБ 22.03.93 г., а постановлением Президиума Верховного Совета от 14.05.93 №6-3/96 был утвержден [3].

Цель данной программы заключалась в выявлении, локализации и ликвидации источни-

ков поступления ПХДД/ПХДФ в окружающую среду, снижении опасности воздействия ПХДД/ПХДФ на человека и осуществлении мероприятий по реабилитации природной среды и населения от последствий загрязнения ПХДД/ПХДФ. Головной научной организацией по выполнению программы становится Институт проблем прикладной экологии и природопользования АН РБ [4].

В рамках данной программы Институт в сотрудничестве с другими научно-исследовательскими организациями запланировал ряд работ, среди которых значились такие масштабные работы как «Оценка загрязнения территории, воздушной среды, поверхностной, подземной и питьевой воды в Уфе диоксинами и другими супертоксикантами», «Обследование и оценка состояния Уфимской городской свалки и степени ее загрязнения диоксинами и другими супертоксикантами», «Оценка эмиссии диоксинов и фуранов от печей сжигания и технологических установок промышленных предприятий городов Салават, Туймазы, Белорецк», «Оценка содержания диоксинов и фуранов в пищевых продуктах и питьевой воде, в грудном молоке и крови жителей Башкортостана» и др.

Научно-исследовательская работа по оценке уровня загрязнения окружающей среды Уфы суперэкоксикантами была выполнена в 1994 г. под руководством Р.З. Хамитова и Н.С. Минигазинова. Целью данного исследования было выявление степени загрязнения компонентов окружающей среды Уфы ПХДД/ПХДФ и другими суперэкоксикантами. Обследованию и комплексной оценке степени загрязнения подлежали основные водные объекты города – реки Уфа, Белая, Дема, Шугуровка, Сутулока, Чернушка, озера Максимовское, Сипайловское, Бессонное, Сосновское, родники, расположенные на территории города, сточные

воды промышленных предприятий до и после очистных сооружений, почвы, грунты и снежный покров в разных районах города.

Было выявлено, что загрязнение территории Уфы ПХДД/ПХДФ носит повсеместный характер: они были обнаружены в атмосферном воздухе, водоемах и родниках, почве, городском водопроводе. В водных объектах эти соединения присутствовали в концентрациях ниже установленного ПДК.

Также было отмечено, что территория города загрязнена тяжелыми металлами, бенз(а)пиреном, 2,4-Д-аминной солью, причем высокие концентрации супертоксикантов были обнаружены в подземных водах в северной промышленной зоне города, особенно – на территории ПО «Химпром» [5].

Необходимость хранения, анализа и отбраковки полученных данных о степени загрязнения Уфы супертоксикантами потребовало применения средств вычислительной техники и создания единой информационной системы. Такая информационно-справочная система была создана в отделе экологического мониторинга ИППЭиПа, которая позволяла решать три группы задач: введение баз данных, выполнение регламентных расчетов и расчетов по запросам пользователей, формирование выходных данных [6].

В 1994-1995 гг. проводилась работа по исследованию состояния Уфимской городской свалки как источника вторичного загрязнения природы ПХДД/ПХДФ и другими супертоксикантами, на основе результатов которой был разработан проект защиты грунтовых и поверхностных вод от влияния полигона (руководители – Р.З. Хамитов, Х.Н. Зайнуллин).

Перед исполнителями была поставлена задача – выявление реальной обстановки загрязнения природных объектов ПХДД/ПХДФ и другими супертоксикантами от Уфимской городской свалки, расположенной в п. Черкаassy, оценка загрязнения подземных вод и открытых водоемов в районе свалки, донных отложений, почвы, подбор технологии обезвреживания и утилизации накопленных и вновь поступающих отходов.

В результате анализа отобранных проб снега, сточных, прудовых и родниковых вод, отходов и грунтов было обнаружено высокое содержание аммонийного азота, нитритов, хлоридов, тяжелых металлов, ПХДД/ПХДФ, причем при самых упрощенных расчетах количество последних, находящихся на территории свалки, оценивалось в 11,38-22,77 кг [7].

В 1995 г. в рамках НИР по оценке эмиссии ПХДД/ПХДФ в природную среду при сжигании хлорорганических соединений были проанализированы выбросы печей сжигания цехов №25 ОАО «Каустик» (г. Стерлитамак) и №2 ОАО «Химпром» (г. Уфа). Исследования показали, что ПХДД/ПХДФ распределяются по всем потокам, отходящим от печей – дымовым газам, кислым и щелочным водным стокам, саже. Причем, наблюдается равномерное распределение ПХДД/ПХДФ между дымовыми газами и водными сбросами, 92% диоксинов выносятся в окружающую среду с сажевой пылью. Были проведены предварительные расчеты эмиссии ПХДД/ПХДФ от печей сжигания в природную среду [8].

В части оценки динамики накопления и выведения ПХДД/ПХДФ в пищевых цепях и биосредах отобраны и частично проанализированы пробы пищевых продуктов, комбикормов и биосред человека. Анализ биосред показал, что суммарное эквивалентное содержание ПХДД/ПХДФ в крови женщин Стерлитамака составляет 17,19 пг/г, в крови мужчин Стерлитамака – 15,95 пг/г, а в крови детей Уфы 5-7 лет – 17,96 пг/г. Во всех пробах ведущее место в структуре изомерного состава принадлежит 2,3,7,8-ТХДД, далее следует пентахлордибензодиоксины [9].

В 1997-2000 гг. одним из основных направлений оставался мониторинг загрязнения ПХДД/ПХДФ и бенз(а)пиренами природной среды Республики Башкортостан. Был произведен анализ выбросов печей сжигания цехов №25 и 16 на ОАО «Каустик», №2 УГУП «Химпром» на содержание ПХДД/ПХДФ. Определено их содержание в дымовых газах, сточных водах, пробах снега, почвы с территории, прилегающей к установкам, а также сточных вод ОАО «Каустик», поступающих на БОС и очищенных сточных вод, поступающих в реку Белую.

Проведенные исследования показали, что все потоки, сбрасываемые с установок, содержат ПХДД/ПХДФ, причем по сравнению с 1997 г. наблюдалось увеличение эмиссии ПХДД/ПХДФ как с дымовыми газами, так и со сточными водами. Суммарная эмиссия увеличилась с 558,5 мкг-ТЕQ/ч до 712,16 мкг-ТЕQ/ч.

Анализ почв свидетельствует о накоплении ПХДД/ПХДФ за время работы установки с 1981 г., их содержание находится на уровне 0,5-27 мкг-ТЕQ/ч.

Оценено загрязнение воздуха, почвы, воды городов Салавата и Стерлитамака бенз(а)пиренами. Установлено, что в атмосферном воздухе Стерлитамака содержится соответственно 2,7 и 2,1 ПДК бенз(а)пирена [10].

БАЗЫ ДАННЫХ

По результатам исследований специалистами были выработаны рекомендации по проведению мероприятий, способствующих снижению техногенной нагрузки на окружающую среду и человека в городах Салавате и Стерлитамаке.

Проводимый с 1993 г. регулярный анализ пищевых продуктов, производимых на территории РБ, на содержание вредных веществ показал отсутствие загрязнения ПХДД/ПХДФ овощей, фруктов и круп, а для мясных продуктов был определен фоновый уровень – 0,69-3,1

пг/г, что соответствовало на тот момент нормам РФ и фоновому уровню в странах Западной Европы [10].

Вклад ИППЭиП в реализацию программы «Диоксин» огромен. Благодаря его высококвалифицированным научным сотрудникам, их потенциалу и работоспособности был решен ряд острых экологических проблем в регионе, были освоены новейшие методы определения различных суперэкоотоксикантов как в элементах окружающей природной среды, так и в биосредах.

Литература

1. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию: Учеб. пособие. СПб: Химиздат, 1999. 144 с.
2. Федоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы. М.: Наука, 1993. 266 с.
3. Архив государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт безопасности жизнедеятельности». Ф.2. Оп.10. Д.1.
4. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Башкортостан в 1994 году. Уфа, 1995. 202 с.
5. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование загрязнения территории, поверхностной, подземной и питьевой воды в г. Уфе диоксинами и другими суперэкоотоксикантами». Уфа: ИППЭП, 1994. 174 с.
6. Отчет о научно-исследовательской работе «Создание Единой государственной системы экологического мониторинга РБ». Уфа: ИППЭП, 1996. 84 с.
7. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование состояния Уфимской городской свалки как источника вторичного загрязнения природы диоксинами и другими экотоксикантами». Уфа: ИППЭП, 1995. 148 с.
8. Отчет о научно-исследовательской работе «Мониторинг диоксинов и родственных соединений в природных средах. Оценка их эмиссии от технологических установок и печей сжигания». Уфа: ИППЭП, 1997. 39 с.
9. Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка содержания диоксинов, фуранов в пищевых продуктах и питьевой воды, грудном молоке и крови жителей Башкортостана». Уфа: ИППЭП, 1996. 111 с.
10. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Башкортостан в 2000 году. Уфа, 2001. 215 с.

УДК 548.1

РАДИОАКТИВНЫЕ НАНОКЛАСТЕРЫ В РАДИОСИСТЕМАХ

Олег Рафаилович Никитин

заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор

заведующий кафедрой
Владимирский государственный
университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
Адрес: 600000, г.Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)34-33-33
E-mail: olnikitin@mail.ru

Тамара Федоровна Рау

кандидат физико-математических наук,
доцент

Владимирский государственный
университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
E-mail: vgrau@mail.ru

Али Аббас Мохсин Али

аспирант

Владимирский государственный
университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
E-mail: ontff@inbox.ru

Екатерина Геннадьевна Богаткина

инженер

Владимирский государственный
университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
E-mail: bogatkina@vlsu.ru

Валерий Георгиевич Рау

доктор физико-математических наук,
профессор

Владимирский государственный
университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
E-mail: ontff@inbox.ru

В представленной работе рассмотрены примеры превращений радиоактивных нанокластеров в системах, предлагаемых: (1) для защиты радиоизмерительных приборов, и (2) для исследования радиационной стойкости радиосхем с внутренним источником радиации. А также рассмотрены варианты подходов к выше перечисленным проблемам (1) и (2) на основе анализа превращений ядер радиоактивных нанокластеров АСd и бора в материалах, создающих защиту радиоизмерительных приборов, и в измерительных системах с внутренним источником радиации.

In this work, we consider examples of radioactive transformations nanoclusters in systems which are intended for (1) to protect the radio devices, and (2) to study the radiation resistance of the radio with an internal source of radiation. And also considered options for approaches to the problems listed above (1) and (2) based on the analysis of radioactive nuclear transformations nanoclusters ACd and B in materials that protect the Radio equipment and measuring systems with internal source of radiation.

Ключевые слова: радиосистемы, радиация, нанокластеры, трансмутация нанокластеров.

Keywords: radio , radiation, nanoclusters , the transmutation of nanoclusters.

Наноструктурированные материалы начинают проникать практически во все сферы нашей деятельности, начиная с микро- и наноэлектроники [1] до освоения космического пространства, ядерной энергетики [2] и экологии. В частности для радиосистем, миниатюризация измерительных средств потребовала использования размерных и квантоворазмерных эффектов наночастиц в качестве необходимых свойств кон-

структивных элементов [3]. В связи с этим, особенно важными являются исследования возможности радиационной защиты микро- и наносистем, так как на наноуровне становятся существенными даже минимальные дозы облучения, приводящие к сбою в работе управляющей системы. Потоки солнечных космических лучей (СКЛ) значительно повышают уровень радиационной опасности для космонавтов, а также эки-

пажей и пассажиров высотных самолетов на полярных трассах; приводят к потерям спутников и выходу из строя аппаратуры, которая используется на космических объектах. Большая доза облучения может выводить из строя и электронное оборудование, установленное на космических аппаратах (КА). Солнечные *электроны* высоких энергий могут вызвать объемную ионизацию КА, а также выступать в качестве «электрон-киллеров» для микросхем, установленных на космических аппаратах. Следствием такого явления стала поломка, во время одной из магнитных бурь 1997 года, американского спутника TELSTAR, оставившая значительную часть территории США без пейджерной связи.

Из-за потоков СКЛ нарушается коротковолновая связь в приполярных районах и возникают сбои в навигационных системах [4]. Принято считать, что наибольший вклад в суммарную дозу вносят солнечные *протоны* с энергией 20-500 МэВ. Максимальный поток протонов с энергией выше 100 МэВ от мощной вспышки 23 февраля 1956 г. составил 5000 частиц на $\text{см}^2\text{с}^{-1}$ [5]. На сайте [6] <http://sec.noaa.gov/ftplib/indices/SPE.txt> собрана информация о всех солнечных протонных событиях с января 1976 г. по декабрь 2009 г., оказавших существенное воздействие на околоземное космическое пространство (Solar Proton Events Affecting the Earth Environment). Таковым событие считается, если интегральный поток протонов с энергией выше 10 МэВ по данным ИСЗ GOES превышает 10 частиц на ($\text{см}^2\text{ср}$). Приводится список таких событий для 2004 года. Один из наглядных примеров представлен ниже (рисунк 1).

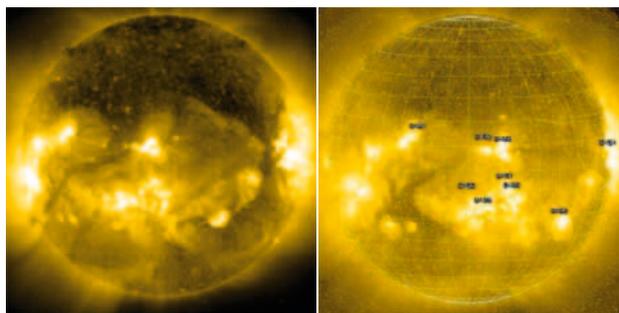


Рис. 1. Фотографии Солнца, сделанные прибором EIT (SOHO) до (07:06 UT) и после мощной вспышки на Солнце, произошедшей около 11:00 UT 28/10/2003

На *рисунке 1* приведена фотография Солнца до и после мощной вспышки в ОКП, когда потоки протонов с энергиями 40-80 МэВ возросли почти на 4 порядка. По количеству «снега» на правом рисунке видно, насколько регистри-

рующая матрица прибора повреждена потоками вспышечных частиц.

В то же время, накопилось большое количество нерешенных задач в самой теории микро- и наноструктурного анализа, которые пока не позволяют создавать модели, адекватные происходящим процессам. Следовательно, и в области новых технологий поведение радиосистем в условиях повышенной радиации становится слабо прогнозируемым. Как при создании новых материалов для ядерной энергетики, так и при разработке входящих в радиосистему электронных приборов, защищенных от радиации, знание структуры становится почти необходимым.

Специфика энергетических проблем (1) заключается в том, чтобы, в основном, использовать в реакторах кластеры ядерных изотопов веществ – поглотителей нейтронов, а в измерительной электронике (2) – использовать протонную и электронную радиоактивность. В частности, в работе [3] (по ссылке в [1]) показано, что в нанометровых ($L=65$ нм) КМОП схемах памяти длительность всплеска тока вследствие прохождения частицы и момент удара частицы по отношению ко времени записи-считывания в ячейке существенно влияют на устойчивость этих схем к сбоям.

Для исследования воздействия ОЯЧ на КМОП ячейки памяти в работе [1] использован метод смешанного приборно-схемотехнического моделирования в TCAD (Technology Computer Aided Design) [3] (рисунк 2). Транзистор, в который попадает частица, моделируется в TCAD (в 2-х или 3-х мерном приближении), а остальная часть схемы рассчитывается в программе схемотехнического моделирования SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis).

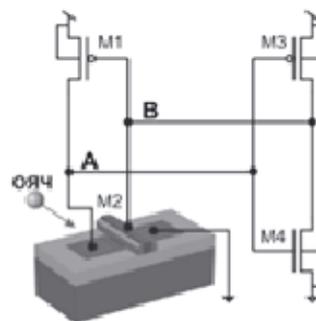


Рис. 2. Радиосхема смешанного приборно-схемотехнического моделирования [3] нанокластеров

Результаты смешанного 3D приборно-схемотехнического моделирования воздействия ОЯЧ на структуру КНИ МОП транзисторов в составе ячейки памяти при масштабирован-

нии транзисторов от 0,5 до 0,1 мкм показало, что при масштабировании КНИ МОПТ от 0,5 до 0,1 мкм критический заряд уменьшается в 8 раз, длительность всплеска тока уменьшается в 6 раз, что подтверждает существенное снижение стойкости к ОЯЧ при уменьшении длины канала.

И дело здесь не только в изменении критического заряда или емкостных характеристик, а в конкретных структурных элементах системы, изменяющих свои свойства. Поэтому очевидно, что переход от микро- на наноуровень может значительно повлиять на радиационную стойкость радиосистемы. В этом и состоит одна из особенностей перехода, которая называется размерным эффектом. Другими словами, необходимо изучать поведение элементов радиосистемы, представителями которых на наноуровне являются нанокластеры.

В работе [1] отмечается также, что **экспериментальное** исследование процессов воздействия отдельных частиц на полупроводниковые приборы и микросхемы весьма затруднительно.

Научный интерес представляет и пока мало исследованный процесс изменения свойств (в первую очередь, структуры) нанокластера при радиоактивном превращении нуклидов, входящих в его состав. Хорошо известно, например, что токсическое действие углерода ^{14}C , вошедшего в состав молекул белков (особенно в ДНК и РНК), определяется радиационным воздействием бета частиц (электронов) и ядер отдачи азота ($^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$), а также **трансмутационным** эффектом – изменением химического состава молекулы в результате превращения атома С в атом N. Оставим этот термин – «трансмутация» – для описания изменений состава и свойств одного нанокластера, переходящего в другой, при превращении одних атомов или молекул нанокластера в другие, которое происходит в результате ядерной реакции.

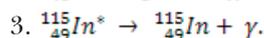
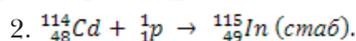
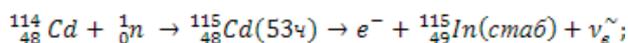
В представленной работе предложены варианты подходов к выше перечисленным проблемам (1) и (2) на основе анализа превращений ядер радиоактивных нанокластеров ^{114}Cd и бора в материалах, создающих защиту радиоизмерительных приборов и в измерительных системах с внутренним источником радиации (^{21}Mg , ^{130}I) для исследования их радиационной стойкости.

1. Аппаратное решение первой проблемы происходит относительно легко: созданием защитной «рубашки» из атомных ядер – поглотителей нуклонов и рентгеновских фотонов. Для этой цели можно использовать нанокластеры кадмия – вещества, хорошо зарекомендовавшего себя в атомных реакторах (изотопы Cd-109,

Cd-111, Cd-114 и др. с реальными временами полураспада: от нескольких минут до нескольких месяцев).

В качестве основы проектируемого устройства предлагается пористая структура анодированного оксида алюминия Al_2O_3 («алокса»). В нанотехнологии существует достаточное количество экспериментов, подтверждающих технологическую возможность заполнения пор алокса различными кластерами, поэтому для выбора конструкции защитного экрана рассмотрим вначале радиационную составляющую процессов, их последовательность, используя табличную информацию, приведенную, например, в работе [7]. В качестве примера выбран стабильный изотоп кадмия-114 (с распространенностью 28,7%), поглощающий как нейтроны, так и протоны в соответствии с приведенными ниже реакциями.

1.



Очевидно, что как в первой реакции, так и во второй происходит трансмутация кластеров кадмия в кластеры стабильного индия.

При поглощении ядрами кадмия высокоэнергетических нуклонов (протонов или нейтронов) у образовавшегося возбужденного ядра индия (3-я строка реакций) возможно (с 95% вероятностью) испускание γ -фотона через 4,5 часа. Для поглощения промежуточных фотонов, возникающих как побочный продукт реакции, а также электронов с большой энергией (в первой реакции), понадобится дополнительный экран, и вся защитная «рубашка» превратится в двухслойную гетероструктуру (фигунок 3).

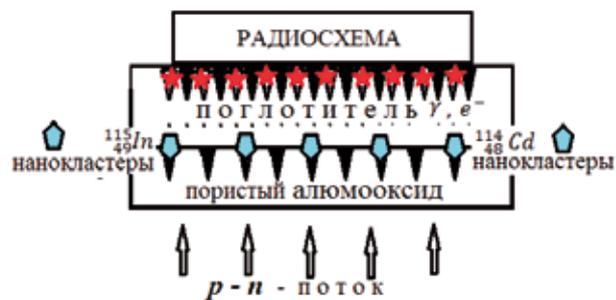


Рис. 3. Структура слоев «защитного экрана» для радиосхем (рисунок 2 по [1], в частности), работающих в условиях радиации

При классическом способе создания в электронике гетероструктуры методами эпитаксии, литографии, напыления и т.п., сложно ре-

шаются вопросы согласования геометрических параметров взаимодействующих слоев, особенно если при этом происходит перестройка кристаллических структур. Набор вариантов ограничен. Именно поэтому в проекте для получения слоев предлагается использовать пористый оксид алюминия: для него существуют методы регулирования размеров пор, под которые «подстраиваются» геометрические параметры кластеров. Но и в этом случае необходимо провести серию сложных экспериментов, начиная с компьютерного моделирования кластеров на основе данных рентгенодифракционного анализа и/или квантовомеханических расчетов и заканчивая экспериментами по масс-спектропии, доказывающими образование устойчивых наноразмерных кластеров с «магическими числами» так, как это сделано, например, для нанокластеров магния (рисунк 4) [8]. Там, где это необходимо, следует использовать все возможности электронной микроскопии. Ранее, в работе [9] нами были представлены результаты проведения электронной РЭМ и АСМ-микроскопии поверхности анодированного оксида алюминия (АОА) и наноструктурного исследования поликристалла корунда Al_2O_3 в многоцентровой модели послойного кристаллического роста [10]. В то же время дифрактограмма рентгеновского фазового анализа образцов пористой поверхности Al_2O_3 (дифрактометр D8 ADVANCE фирмы «Bruker») показала, что мы имеем дело с твердой гелевой или аморфной структурой АОА. Этот факт явился еще одним подтверждением в правильности выбора материала для радиационной защиты, так как при ядерных процессах в кристаллах могут возникать резонансные фотон-фононные взаимодействия, разрушающие материалы. В квантовой теории процессы вза-

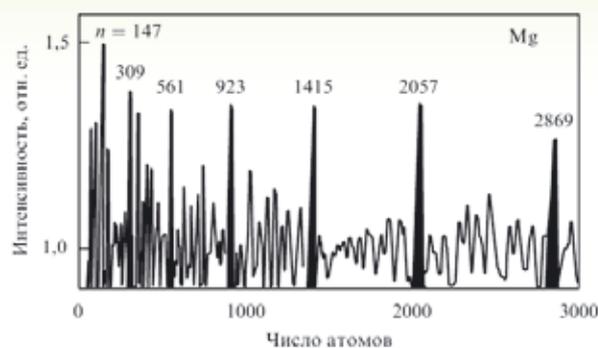


Рис. 4. Масс-спектр кластеров магния, образующихся при фотоионизации пучка кластеров магния

имодействия различных кластеров в пористой сверхрешетке АОА также еще мало изучены. Более оправдано предположение, что фонный спектр в гелевой структуре – широкополосный и будет носить характер «шума».

Теперь рассмотрим процесс компьютерного моделирования нанокластеров на основе данных рентгенодифракционного анализа (РДА), проведенного по методике послойного роста структур, представленной ранее в работах [8, 9].

Кластеры исходного продукта кадмия строятся по связям (ближайшим «контактам») в твердотельной структуре. Исходная информация (международный банк минералов «WWW-MIN-CRYST»): координаты атомов в ячейке с симметрией федоровской группы и межатомные (межядерные) расстояния в первой координационной сфере каждого атома приводятся ниже (таблица 1).

В случае выбора кристаллической структуры и кластера магния, который был расшифрован нами раньше кадмия и с которой мы будем иметь дело при решении второй проблемы, имеем для сравнения таблицу 2.

Таблица 1

Кристаллоструктурные данные кадмия

CADMIUM1, g-zinc, Cd, 18.6.1992 Ref.Str.: Wyckoff R.W.G. (1963);						
Hexagonal: P 6(3)/mmc; Z=2; P6(3)/mmc;						
Lattice parameters (cub. ang.,degr.)			Co-ordinates for all atomic positions:			
a= 2.9789	alpha = 90.0	No	No P	x/a	y/b	z/c
b= 2.9789	beta = 90.0	1	1	0.3333	0.6667	0.25
c= 5.6177	gamma = 90.0	2	1	0.6667	0.3333	0.75
Selected interatomic distances (cation-anion.anion-anion):						
NoP	Atom	Rad.sph. (angs.)	C.N.	Distance (angs.)		
1	Cd	3.744	12:	6x 2.9789	6x 3.2935	

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

Таблица 2

Кристаллоструктурные данные магния

MAGNESIUM 1, Mg; Ref.Str.: L: Swanson and Tatge (1951);						
Hexagonal: P 6(3)/mmc; Z=2; P6(3)/mmc;						
Lattice parameters (cub. angs.,degr.)				Co-ordinates for all atomic positions:		
a= 3.2095	alpha = 90.0	No	No P	x/a	y/b	z/c
b= 3.2095	beta = 90.0	1	1	0.3333	0.6667	0.25
c= 5.2104	gamma = 120.0	2	1	0.6667	0.3333	0.75
Selected interatomic distances (cation-anion.anion-anion):						
NoP	Atom	Rad.sph. (angs.)	C.N.	Distance (angs.)		
1	Mg	3.84	12:	6x 3.2095	6x 3.1969	

Налицо изоструктурность ячеек магния, цинка и кадмия. Поэтому расчет многогранников роста структур дает один и тот же вариант кластеров с одним и тем же набором магических чисел заполнения атомами поверхностей полиэдров.

Если обратить внимание на результаты масс-спектропии магния (рисунк 4), то количество атомов на k-й «оболочке» поверхности многогранника «экспериментального» кластера соответствуют закону последовательности чисел $10k^2+2$, а при расчете нанокластера магния, основанном на результатах РДА, в каждом слое появляются дополнительные числа, что указывает на различие этих типов структур. В литературе для объяснения результатов масс-спектропического эксперимента обсуждаются только 2 варианта нанокластеров: в формах икосаэдра или кубического кубооктаэдра. В то же время легко найти преобразование симметрии (ось поворота, проходящая через центры параллельных треугольных граней), которая пе-

реводит один многогранник в другой. Но симметрия кристаллического магния не удовлетворяет ни одному из этих вариантов. Возможно существование гексагональной формы «кубооктаэдра» с тем же набором магических чисел, который также может быть получен той же операцией вращения, производимой до тех пор, пока параллельные плоскости кубооктаэдра не будут связаны плоскостью симметрии. Не вникая в подробности такого несогласия моделей (это соответствует по объему материала еще одной полной статье), можно остановиться на варианте икосаэдрической симметрии (рисунк 6, слева) до тех пор, пока не будут проведены дополнительные исследования. Для процессов, которые рассматриваются в этой статье, вопрос не является принципиальным до момента сборки наносистемы в реальности.

Преобразование кадмия в индий (таблица 3) кардинально меняет симметрию кластера. Тем не менее после проведения соответствующего наноструктурного исследования оказалось, что с точки зрения координационного подхода, а следовательно, и магических чисел, индий (при $k=1$) является кластерным топологическим изо-

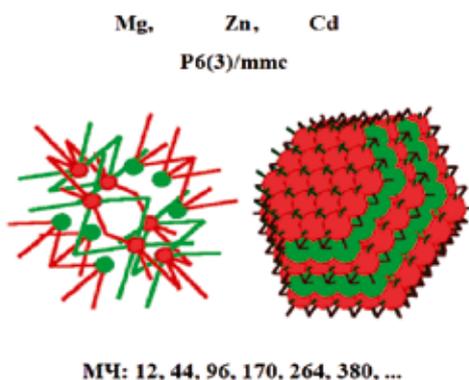


Рис. 5. Нанокластеры магния, цинка и кадмия с одинаковым набором магических чисел

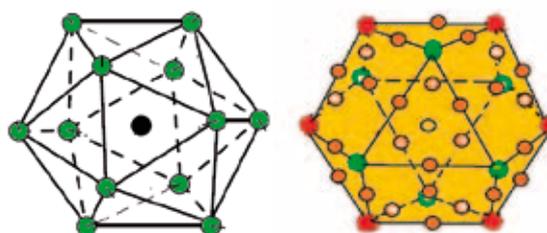


Рис. 6. Атомы на поверхностях икосаэдра с $k=1$ (первая оболочка, слева) и ромбододекаэдра с $k=2$ (вторая оболочка, справа)

Таблица 3

Кристаллоструктурные данные индия

INDIUM 1, In; Ref.Str.: Wyckoff R.W.G. (1963);						
Tetragonal, P 4(2)/nnm, Z=2, P4(2)/nnm						
Lattice parameters (cub. angs.,degr.)			Co-ordinates for all atomic positions:			
a= 3.244	alpha = 90.0	No	No P	x/a	y/b	z/c
b= 3.244	beta = 90.0	1	1	0.0	0.0	0.0
c= 4.938	gamma = 90.0	2	1	0.5	0.5	0.5
Selected interatomic distances (cation-anion.anion-anion):						
NoP	Atom	Rad.sph. (angs.)	C.N.	Distance (angs.)		
1	In	3.984	12:	4x 3.244	8x 3.3701	

мером кубооктаэдра, как это хорошо видно на следующем рисунке (рисунк 7).

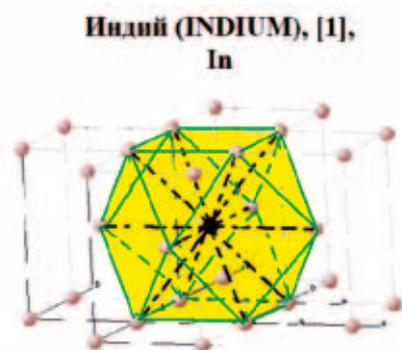


Рис. 7. Нанокластер индия (k=1)

После проведения наноструктурных исследований можно начинать «экспериментальную» часть работы по сборке системы защитного экрана.

2. При решении второй проблемы: создания установки для исследования радиационной стойкости радиосхемы предлагается в нижнюю часть в структуре слоев защитного экрана (рисунк 3) в качестве кластеров, размещенных в порах алюминоксида, ввести кластеры, содержащие радиоактивные элементы с заранее известным типом распада. В качестве конкретных нуклидов выберем такие, которые создают каскады γ -фотонов с различным набором энергий; например, это ядра кластера йода, при распаде превращающегося в ксенон. Происходит трансмутация $I_n \rightarrow Xe_n$, где n – магическое число исходного кластера: ${}^{130}_{53}I \rightarrow {}^{130}_{54}Xe + e^- + \tilde{\nu}_e + k\gamma$, а k – количество «каскадных» фотонов, рождающихся по схеме (рисунк 8).

Ядро ${}^{130}_{54}Xe$ -130, оказавшись в результате β^- -распада ядра ${}^{130}_{53}I$ -130 в состоянии с энергией 1.95 МэВ, может перейти в основное состояние большим числом способов, как в результате непосредственного перехода с испусканием γ -кванта (показан пунктиром), так и в результате различных каскадов, например, каскада типа $5^+ \rightarrow 2^+ \rightarrow 0^+$ в котором первый переход имеет мультипольность $M3$, а второй – $E2$. Переход $5^+ \rightarrow 4^+$ может происходить в результате испускания $E2$ и $M1$ γ -квантов.

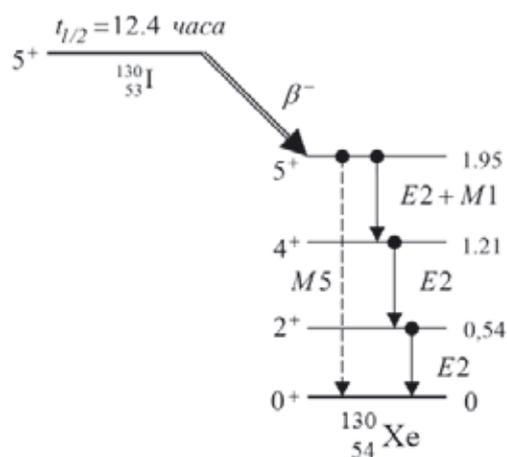


Рис. 8. Энергетическая диаграмма процесса

Нанокластерный анализ, проведенный на первом этапе создания системы, показывает, что трансмутация кластера йода в ксенон сопровождается перестройкой структуры: от вытянутого кубооктаэдра (рисунк 9) до правильного кубооктаэдра, характеризующего рост кластера ксенона (рисунк 10). Необходимо учесть в технологическом процессе, что ксенон как твердое тело

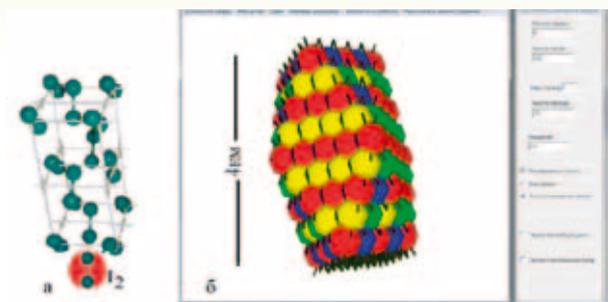


Рис. 9. Кристаллическая ячейка молекулярной структуры йода (а) и нанокластер йода (б). Каждый элемент кластера - «эллипсоид» заменяет молекулу I_2

существует при низких температурах (порядка 58К), температура кипения при нормальных условиях равна 108,1°C, поэтому в результате эксперимента необходимо либо понижать температуру, либо делать отводящие каналы для выхода газа из системы. При наноразмерных порах алюминия возможно удержание молекулярного ксенона в порах силами ван-дер-Ваальса.

Таблица 4

Кристаллоструктурные данные ксенона

Название:	Ксенон (XENON)
Спецификация:	[1], структурный тип - сррр , at 58°K
Формула:	Хе
Сингония:	кубическая
Пространственная группа:	F m3m
Параметры ячейки:	a = 6.1970 (0,62нм)
Кол-во формульных единиц:	Z = 4

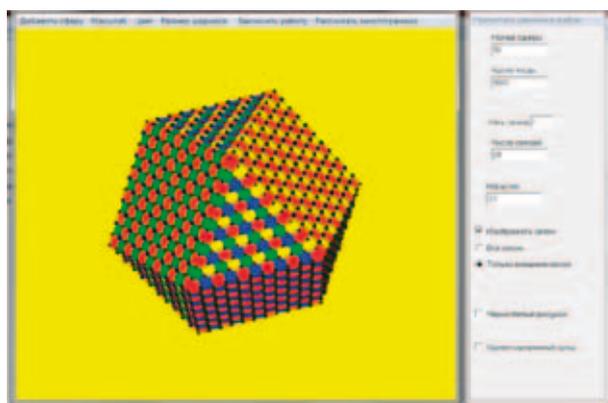


Рис. 10. Нанокластер ксенона и неона в программе расчета кластеров «Компьютерный наноскоп»

Каскад протонов, рождающихся в кластере радиоактивного изотопа магния, представлен на рисунке 11.

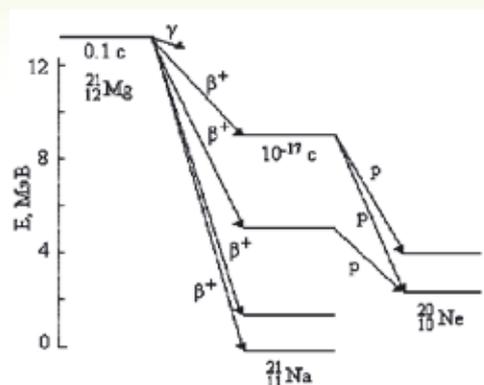
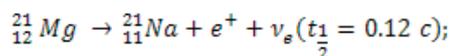


Рис. 11. Испускание запаздывающих протонов ядром Mg-21

Ядро $^{21}_{12}Mg$ нестабильно и в результате β^+ -распада превращается в изотоп $^{21}_{11}Na$:



В том случае, когда ядро $^{21}_{11}Na$ образуется в состояниях с энергией меньше 2.5 МэВ, в нем происходят γ -переходы в основное состояние. Однако если энергия возбуждения ядра Na-21 превышает 2.5 МэВ, открывается новая возможность: ядро Na-21 может, испустив протон, превратиться в устойчивый изотоп Ne-20:



Испускание протона происходит практически мгновенно, после β^+ -распада ядра Mg-21 ($t_{1/2}$ около 10^{-17} с), т.е. наблюдается практически одновременное появление протона и позитрона.

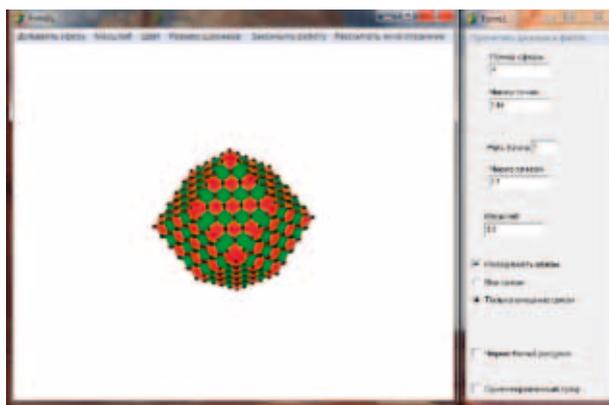


Рис. 12. Наноструктурное исследование натрия (симметрия ячейки при $t = 20^\circ\text{C}$: Cubic I m3m, Z=2)

Нанокластер неона (пр. гр. F m3m) является топологическим изомером ксенона, поэтому его структура при расчете оказалась с точностью до размеров ячейки идентичной структуре кластера ксенона, что показано на рисунке 10.

Проект устройства для защиты и исследования радиационной стойкости радиосистем, представленный в данной работе, может быть изменен в деталях, но принципы сборки устройства допускают как модельное исследование, так и его экспериментальную реализацию.

Литература

1. Петросянц К.О., Харитонов И. А., Орехов Е.В., Самбурский Л.М., Ятманов А.П., Воеводин А.В. Исследование стойкости к воздействию отдельных ядерных частиц ячеек КНИ КМОП ОЗУ методами смешанного 3D TCAD-SPICE моделирования. МЭС-2012., ИППМ РАН. М.: октябрь 2012. С. 413-417.

2. Азаренков Н.А, Воеводин В.Н., Кириченко В.Г., Ковтун Г.П. Наноструктурные материалы в ядерной энергетике. Харьков: «Вестник Харьковского университета». Вып.1, №887, 2010, С. 45.

3. Катунин Ю.В., Стенин В.Я. Моделирование 65 нм КМОП триггерных ячеек с повышенной сбоеу-

стойчивостью к воздействию отдельных ядерных частиц // Сб. научных тр. 13-й Российской научно-технической конференции «Электроника, микро- и наноэлектроника. 2011», 27 июня – 1 июля 2011 г., М., МИФИ, 2011. С. 24-33.

4. nuclphys.sinp.msu.ru/cosm/index-1083.htm Солнечные электроны.

5. Л.И. Мирошниченко. Солнечно-земные связи, вспышки, www.astronet.ru.

6. [Http://sec.noaa.gov/ftpdir/indices/SPE.txt](http://sec.noaa.gov/ftpdir/indices/SPE.txt).

7. Варламов В.В., Ишханов Б.С., Комаров С.Ю. Атомные ядра. Основные характеристики: учебное пособие. М.: Университетская книга, 2010. 334 с.

8. Martin T.P. et al. Chem. Phys., 1991. 176., S. 343.

9. Никитин О.Р., Руфицкий М.В, Скворцов К.В., Рау Т.Ф., Осин А.В., Рау В.Г. Мониторинг и моделирование поверхности материалов, используемых в технологии «ALOX TM» // Известия Института инженерной физики, 2013. №2(28). С. 75-78.

10. Рау В.Г., Журавлев В.Г., Рау Т.Ф., Малеев А.В. Морфогенез кристаллических структур в методе дискретного моделирования упаковок // Кристаллография. Том 47, №5, 2002. С. 793-796.

УДК 347.7, 006.01

КОМПЕТЕНТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВУЗА

Анна Сергеевна Сидорова

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

Олег Николаевич Андрух

кандидат технических наук, доцент
директор филиала Университета
машиностроения в г. Серпухове,
Вице-президент МОУ «ИИФ»
по учебно-методической работе
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93; E-mail: oandruh@mail.ru

В статье проанализированы противоречивые требования современных нормативно-правовых документов к подготовке и квалификации преподавателей вузов, разработана компетентностная модель преподавателя вуза, представляющая собой совокупность общекультурных, профессиональных компетенций и личностных качеств преподавателя.

In article inconsistent requirements of modern standard and legal documents to preparation and qualification of teachers of higher education institutions are analysed, the competence-based model of the teacher of the higher education institution, representing set of common cultural, professional competences and personal qualities of the teacher is developed.

Ключевые слова: техническое регулирование, объекты технического регулирования, профессорско-преподавательский состав, компетенции, квалификация, компетентностная модель преподавателя.

Keywords: technical regulation, subjects of technical regulation, faculty, competences, qualification, competence-based model of the teacher.

Одним из объектов технического регулирования является персонал [1]. Для достижения целей технического регулирования сначала устанавливаются требования к объектам, обеспечивающим их качество и безопасность, а затем нормируются требования по оценке соответствия этих объектов.

Целью настоящей статьи является формирование требований к преподавателю вуза на основе компетентностной модели.

В настоящее время система профессионального образования Российской Федерации подвергается глубокому реформированию, направленному на приведение содержания и структуры профессиональной подготовки кадров в соответствие с современными потребностями рынка труда, на повышение доступности качественных образовательных услуг.

При этом повышенное внимание должно уделяться всем граням деятельности профессорско-преподавательского состава как ключевой составляющей системы непрерывного образования, кардинальным образом влияющей на

качество образовательных услуг. Рациональным представляется следующий алгоритм проведения реформы:

- установление целей и задач реформирования;
- разработка нормативно-правовой базы, обеспечивающей выполнение поставленных целей и задач;
- проведение мероприятий по ресурсному (материальному, финансовому, информационному и т.д.) обеспечению реформы;
- проведение мероприятий по достижению целей и задач реформы;
- оценка эффективности проведенных мероприятий.

Одной из задач реформы высшего образования является подготовка профессорско-преподавательского состава, владеющего совокупностью компетенций, позволяющих готовить квалифицированные кадры для инновационной экономики страны.

Однако ситуация складывается парадоксальным образом: федеральные государственные об-

разовательные стандарты (ФГОС) по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) находятся на стадии разработки; ФГОС по программам бакалавриата и магистратуры нового поколения «три плюс» в области образования и педагогических наук еще не утверждены; профессиональный стандарт преподавателя вуза не разработан и не утвержден. Закономерен вопрос: как в настоящее время готовятся научно-педагогические кадры и как оценивается их деятельность?

Для достижения целей технического регулирования необходимо установить требования к преподавателю вуза, позволяющие осуществить обучение будущего преподавателя; учесть развитие квалификации в ходе трудовой педагогической деятельности и провести подтверждение соответствия деятельности преподавателя установленным требованиям.

Перечень должностей профессорско-преподавательского состава вуза и соответствующие им квалификационные уровни (Приказ Минздравсоцразвития РФ от 05.05.2008 №217н «Об утверждении профессиональных квалификационных групп должностей работников высшего и дополнительного профессионального образования») приведен в *таблице 1*.

Таблица 1

Квалификационные уровни должностей ППС вуза

Квалификационные уровни	Наименование должностей ППС
1-й квалификационный уровень	Ассистент, преподаватель
2-й квалификационный уровень	Старший преподаватель
3-й квалификационный уровень	Доцент
4-й квалификационный уровень	Профессор
5-й квалификационный уровень	Заведующий кафедрой
6-й квалификационный уровень	Декан факультета

В настоящей статье рассматривается компетентностная модель в отношении должностей ППС первого квалификационного уровня.

Компетентностная модель преподавателя технического вуза построена с учетом анализа:

- деятельности преподавателя технического вуза;
- Федерального закона от 29.12.2012 № 273-

ФЗ (ред. от 23.07.2013) «Об образовании в Российской Федерации»;

- ФГОС высшего образования по программам бакалавриата и магистратуры третьего поколения в 050100 «Педагогическое образование»;

- национального стандарта ГОСТ Р 52113-2003 «Услуги населению. Номенклатура показателей качества»;

- Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих (Приказ Минздравсоцразвития РФ от 11.01.2011 г. №1н);

- профессионального стандарта «Педагог».

Анализ деятельности преподавателя технического вуза показывает, что ППС осуществляет учебную, методическую, научно-исследовательскую, воспитательную, организационную и иную работу, предусмотренную трудовыми (должностными) обязанностями и индивидуальным планом.

Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» регламентирует деятельность ППС в рамках главы 5 «Педагогические, руководящие и иные работники организаций, осуществляющих образовательную деятельность», которая включает права и свободы педагогических работников, гарантии их реализации, обязанности и ответственность педагогических работников, сведения об аттестации педагогических работников.

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования 050100 «Педагогическое образование» устанавливает характеристику профессиональной деятельности и требования к результатам освоения основной образовательной программы (ООП). Характеристика профессиональной деятельности бакалавров включает: педагогическую, культурно-просветительскую, научно-исследовательскую деятельность. Характеристика профессиональной деятельности магистров включает: педагогическую, научно-исследовательскую, управленческую, проектную, методическую, культурно-просветительскую деятельность. Требования к результатам освоения ООП бакалавров и магистров представлены в виде перечня общекультурных и профессиональных компетенций.

Национальный стандарт ГОСТ Р 52113-2003 «Услуги населению. Номенклатура показателей качества» содержит перечень качественных и количественных характеристик (показателей профессионального уровня персонала), обеспечивающих возможность оценки качества исполнителя услуг (в том числе и образовательных). Эти показатели включают три подгруппы:

- уровень профессиональной подготовки и квалификации, в том числе теоретические знания и умения применять их на практике;

- способность к руководству;

- знание и соблюдение профессиональной этики поведения (требования к личностным качествам).

Единый квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и служащих содержит раздел «Квалификационные характеристики должностей руководителей и специалистов высшего профессионального и дополнительного профессионального образования». Квалификационные характеристики представляют собой требования к знаниям, должностным обязанностям и квалификации ППС. Квалификационные характеристики могут применяться в качестве нормативных документов или служить основой для разработки должностных инструкций, содержащих конкретный перечень должностных обязанностей ППС, с учетом особенностей организации преподавательской деятельности и управления, а также прав и ответственности работников.

Профессиональные стандарты являются самым новым видом стандартов, содержат характеристику квалификации, необходимой работнику для осуществления определенного вида профессиональной деятельности. В настоящее время разработано менее 100 профессиональных стандартов, и только один из них в сфере образования – профессиональный стандарт 01.001 «Педагог (педагогическая деятельность в сфере дошкольного, начального общего, основного общего, среднего общего образования) (воспитатель, учитель)» (Приказ Минтруда России №544н от 18.10.2013). Стандарт содержит описание трудовых функций педагогов по уровням квалификации, требования к образованию, опыту практической работы, особые условия допуска к работе, требования к знаниям и умениям.

Анализ приведенных выше документов показывает следующее.

1. Федеральные государственные образовательные стандарты разработаны на основе компетентного подхода, отражающего, как полученные знания, умения и навыки могут быть применены для решения конкретных задач профессиональной деятельности.

2. Требования к ППС, содержащиеся в ФЗ «Об образовании в РФ», Едином квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов и служащих, профессиональных стандартах построены по функциональному принципу, отражающему, какие должностные обязанности должны быть успешно выполнены

на основе определенных знаний, умений, навыков и квалификации.

3. ГОСТ Р 52113-2003 «Услуги населению. Номенклатура показателей качества» также учитывает функциональный принцип, но в данном документе дополнительно содержатся требования к личностным качествам персонала.

Компетентностный подход в образовании – это новый этап в подготовке профессиональных кадров. Он позволяет объяснить, какие компетенции необходимы специалисту для выполнения трудовых (должностных) функций. Поэтому модель преподавателя предлагается построить не на функциональном, а на компетентностном подходе [2].

Анализ вышеуказанных документов позволил представить деятельность преподавателя вуза как жизненный цикл развития компетенций:

- I этап – формирование компетенций (в вузе в процессе обучения);

- II этап – применение компетенций (в вузе в процессе трудовой деятельности);

- III этап – совершенствование компетенций (в вузе в процессе трудовой деятельности).

В общем виде компетентностная модель преподавателя вуза представлена на *рисунке 1*.

Таким образом, компетентностная модель преподавателя вуза представляет собой множество K

$$K = \left\{ \begin{array}{l} L_1, L_2, \dots, L_n \\ O_1, O_2, \dots, O_m \\ P_1, P_2, \dots, P_i \end{array} \right\},$$

где L_1, L_2, \dots, L_n – подмножество личностных качеств множества K ;

O_1, O_2, \dots, O_m – подмножество общекультурных компетенций множества K ;

P_1, P_2, \dots, P_i – подмножество профессиональных компетенций множества K .

Каждый элемент множества K можно выразить следующим образом:

$$L_n = (name_n, l_n, a_n);$$

$$O_m = (name_m, o_m, b_m);$$

$$P_i = (name_i, p_i, c_i),$$

где *name* – наименование компетенции соответствующего подмножества;

l_n, o_m, p_i – количественная оценка компетенции соответствующего подмножества;

a_n, b_m, c_i – коэффициент весомости компетенций соответствующего подмножества.

В компетентностную модель преподавателя вуза целесообразно включить следующий неполный перечень личностных качеств и компетенций.



Рис. 1. Компетентностная модель преподавателя вуза

Личностные качества – этичность, доброжелательность, контактность, вежливость, коммуникабельность, внимательность, предупредительность, терпеливость, бесконфликтность, ответственность и др.

Общекультурные компетенции:

- владение культурой мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения;

- способность анализировать мировоззренческие, социально и лично значимые философские проблемы;

- способность понимать значение культуры как формы человеческого существования и руководствоваться в своей деятельности базовыми культурными ценностями, современными принципами толерантности, диалога и сотрудничества;

- готовность использовать методы физического воспитания и самовоспитания для повышения адаптационных резервов организма и укрепления здоровья;

- готовность использовать основные методы защиты от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий;

- способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны;

- готовность использовать нормативные правовые документы в своей деятельности;

- способность понимать движущие силы и закономерности исторического процесса, место человека в историческом процессе, политической организации общества;

- способность использовать навыки публичной речи, ведения дискуссии и полемики;

- способность к коммуникации на иностранном языке, применению базовой и специальной лексики языка, профессиональной терминологии на иностранном языке и др.

Профессиональные компетенции:

- готовность к осуществлению педагогического проектирования образовательной среды, образовательных программ, индивидуальных образовательных маршрутов, учебных дисциплин;

- способность к эффективному проведению занятий всех форм (кроме лекционных);

- способность проектировать формы и методы контроля качества образования, а также различные виды контрольно-измерительных материалов, в том числе на основе информационных технологий и на основе применения зарубежного опыта;

- способность анализировать результаты научных исследований и применять их при решении конкретных образовательных и исследовательских задач, готовность самостоятельно осуществлять научное исследование с использованием современных методов науки;

- способность к разработке и реализации методических моделей, методик, технологий и приемов обучения, к анализу результатов процесса их использования;

- готовность исследовать, проектировать, организовывать и оценивать реализацию управленческого процесса с использованием инновационных технологий менеджмента, соответствующих общим и специфическим закономерностям развития управляемой системы;

- способность изучать и формировать культурные потребности и повышать культурно-образовательный уровень различных групп населения;

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

● готовность к использованию современных информационно-коммуникационных технологий и СМИ для решения профессиональных и культурно-просветительских задач и др.

Каждая компетенция модели подлежит декомпозиции на единичные показатели и может быть выражена количественно вследствие оценивания этих показателей. Разработанная модель компетенций преподавателя вуза может быть мобильной и адаптироваться к различным условиям путем наполнения ее соответствующими компетенциями для реализации должностных обязанностей профессорско-преподавательского состава вуза, что позволит разработать комплекс критериев оценивания компетенций.

Дальнейшее исследование предполагает формирование полного перечня компетенций

и личностных качеств компетентностной модели преподавателя вуза; выделение показателей качества, позволяющий оценить каждую компетенцию; формирование методического подхода по оцениванию общекультурных, профессиональных компетенций и личностных качеств преподавателя вуза.

Литература

1. Андрух О.Н., Сидорова А.С., Чадунели М.К. Объекты технического регулирования // Известия Института инженерной физики, 2014. №2(32). С. 81-84.

2. Андрух О.Н., Бугаков И.А. Основные направления по согласованию моделей выпускников общеобразовательных учреждений и учреждений высшего профессионального образования // Сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции «Современное непрерывное образование и инновационное развитие». Серпухов: МОУ «ИИФ», 2014. 3 с.

УДК 594.4: 678.067

ЦИКЛИЧЕСКОЕ НАГРУЖЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дмитрий Борисович Ерёмин

преподаватель
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)78-95-55

Предлагается методика оценки работоспособности оболочечных конструкций из композиционных материалов, с использованием температуры саморазогрева материала.

A method is proposed to assess the performance of shell structures made of composite materials, using a temperature of self-heating material.

Ключевые слова: модель разрушения, циклическое нагружение, композиционный материал, оболочка, саморазогрев.

Keywords: fracture model, cyclic stressing, composite material, shell, backheating.

Оценка прочности материалов при повторно-переменных нагружениях, изменяющихся по тому или иному закону и критериальной оценке текущего состояния технических систем является одной из важнейших задач механики применительно к новым областям техники. С такой задачей приходится встречаться прежде всего в механических системах, элементы которых под силовыми воздействиями, периодическими или импульсными, совершают колебания, которые при некоторых условиях эксплуатации могут попасть в резонанс с периодическими действующими внешними силовыми возмущениями. Наибольшее распространение получили трехслойные оболочечные конструкции, состоящие из двух наружных (несущих) слоев, изготовленных из высокопрочного материала и располагаемого между ними легкого заполнителя, соединенного с помощью клея. Разнесение несущих слоев повышает прочность и жесткость при поперечном изгибе, заполнитель вовлекает несущие слои в совместную работу, обеспечивает тепло- и звукоизоляцию конструкции. Таким образом, основное достоинство трехслойных оболочечных конструкций по сравнению с обычными наборными конструкциями – меньший вес при равной прочности и жесткости.

Разрушение матрицы в композиционных материалах (КМ) на начальной стадии деформирования элемента конструкции под действием

внешнего нагружения означает потерю сплошности материала, приводящую к снижению жесткости и несущей способности конструкции, особенно в условиях сплошного нагружения. Очевидно, что разрушение матрицы может снижать и ресурсные характеристики конструкции.

Цель исследования – учесть нелинейный закон накопления усталостных повреждений в КМ при циклическом нагружении и использовать такой параметр состояния как температура и рост остаточной деформации, подойти к индивидуализации ресурса оболочечных конструкций из композиционных материалов.

Объект исследования – цилиндрические стеклопластиковые оболочки, изготовленные из стеклоткани ТС 8/3-250 и связующего ЭП-5122. По торцам оболочки имели шпангоуты. Размеры оболочек: длина – 370 мм, наружный диаметр – 108 мм, толщина стенки – 1,5 мм, диаметр трехслойной оболочки – 361 мм.

Внутри оболочки устанавливались три бандажа, каждый из которых состоял из двух полудисков и разжимного устройства. Два бандажа устанавливались по торцам оболочки и один – в середине. Оболочка устанавливалась концами на два ложементы с углом охвата 120° . Нагрузка, будучи распределенной по дуге окружности ($\alpha = 90^\circ$), прикладывалась в среднем сечении оболочки. Испытания проводились на гидропульсаторе МУП-50 при $f = const$ в режимах $\sigma_\alpha = const$

МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

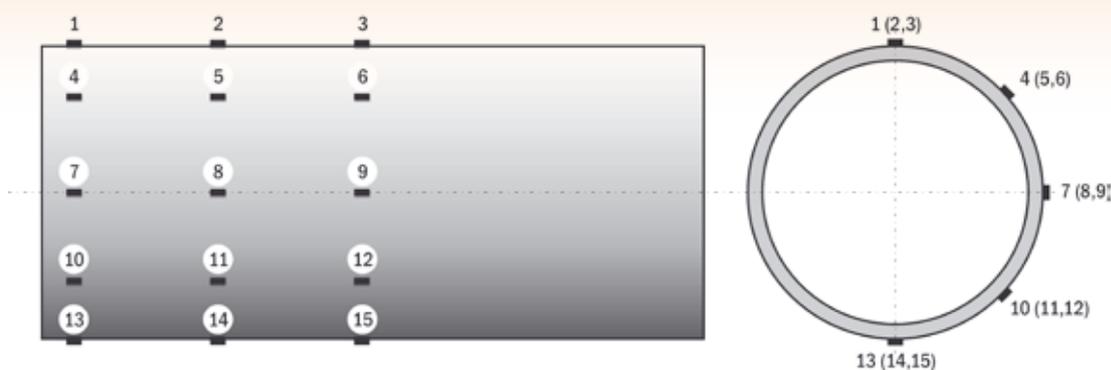


Рис. 1. Объект исследования

при уровнях нагрузки, соответствующих долговечностям $N \leq 10^6$ циклов. Рассеяние энергии изучалось температурным методом. С этой целью на оболочку были наклеены нихром-константановые термопары, с которых через каждые 5000 циклов снимались показания. Перед наклейкой нихром-константановых термопар проводилась их тарировка. Всего на оболочку наклеивалось 15 термопар в определенном порядке (рисунок 1).

Задача об исследовании саморазогрева имеет большое значение при изучении термомеханического поведения вязко-упругих тел. При колебаниях композитных материалов механическая энергия диссипируется в тепловую. Низкая теплопроводность, малая теплоотдача и почти экспоненциальное падение упругих и прочностных свойств композитов с ростом температуры делают возможными такой нестационарный термомеханический режим колебаний, при котором приток тепла вследствие диссипативных процессов будет превышать его расход на теплообмен с окружающей средой. Это явление, связанное с резким повышением температуры, приводящее к размягчению материала, можно положить в основу выработки критерия исчерпания несущей способности изделий из вязкоупругих материалов. Пренебрежение температурой саморазогрева конструкционного материала остаточными температурными напряжениями после формирования конструкции [1], температурными воздействиями окружающей среды приводит к потере прочности КМ при напряжениях, значительно меньше расчетных.

Теоретические основы экспериментальной проверки метода:

- методика должна предусматривать использование испытательной установки, в которой утечка энергии колебаний образцов в основание (фундамент) сведена к минимуму;
- в процессе циклического деформирования

образца весь объем материала рабочей части находится в однородном напряженном состоянии данного вида как по поперечному сечению, так и по рабочей длине образца;

- система крепления образца на установке должна быть достаточно жесткой.

Частная задача данного исследования сводилась к разработке методики подхода к решению задачи в теории колебания механических систем с учетом рассеяния энергии и по параметрам изменения температуры контрольных точек образцов-моделей индивидуализировать ресурс каждого элемента конструкции.

Основные допущения, принимаемые при разработке методики:

- разрушение материала представляет собой процесс, протекающий во времени;
- распространению магистральной трещины предшествует объемное разрушение материала;
- объемное разрушение представляет собой накопление микротрещин, размеры которых определяются характерным размером основных структурных элементов материала с последующим укрупнением и слиянием дефектов.

На основе этих допущений построена модель разрушения КМ, согласно которой необратимая часть механической энергии деформирования единицы объема материала за определенное время, получившая название суммарных тепловых потерь механической энергии $\sum \Delta W$, расходуется на разрушение материала, нагрев материала и тепловую энергию, рассеянную в окружающую среду. Суммарные потери механической энергии при нагружении определяются по выражению:

$$\sum \Delta W = \int \frac{\Psi(t) \cdot \sigma_a^2}{2 \cdot E_o(t)} dt,$$

где σ_a – амплитуда нагружения;

E_o – меняющийся во времени модуль упругости материала;

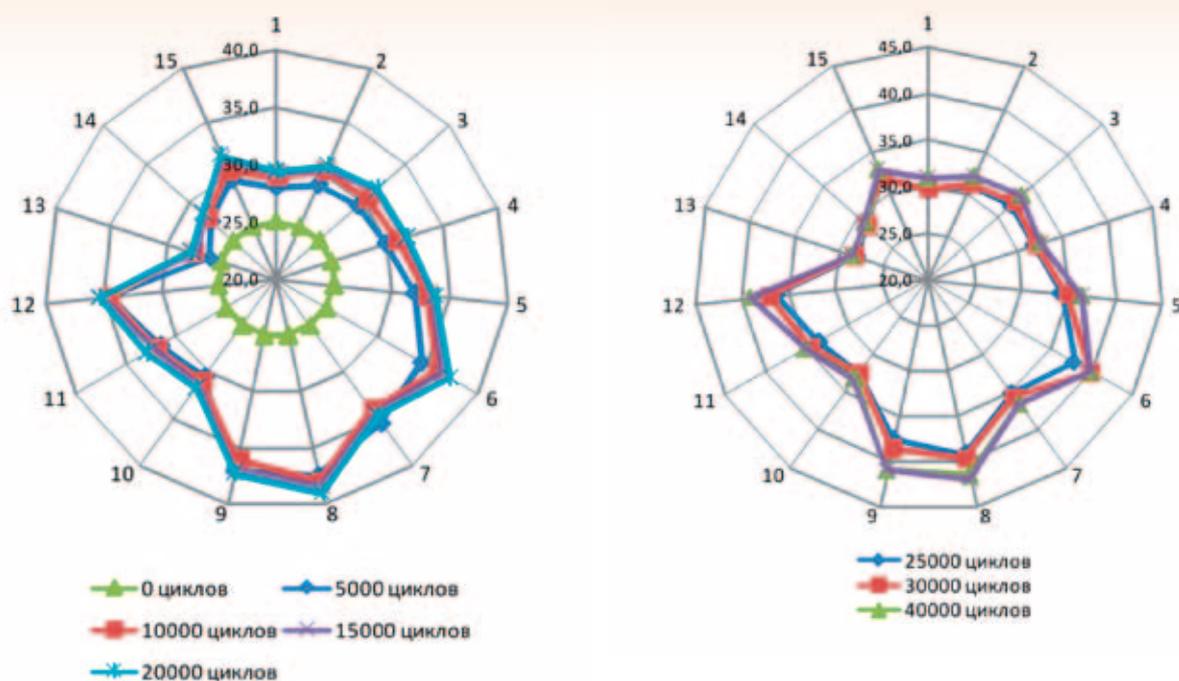


Рис. 2. Влияние количества циклов нагружения на температуру саморазогрева оболочек-моделей в местах установки датчиков. а) нагружение от 0 до 20000 циклов; б) нагружение от 25000 до 40000 циклов

$\Psi(t)$ – меняющийся во времени эмпирический коэффициент, который определяется экспериментально, и для рассматриваемого материала составил 0,04 в начале и 0,4 в конце нагружения.

Величина энергии, затраченной на нагрев единицы объема материала до конечной температуры T , определяется как:

$$W_i = m \cdot \rho \cdot c \cdot (T - T_0),$$

где m – механический эквивалент теплоты;

ρ – плотность;

c – удельная массовая теплоемкость материала;

T_0 – температура окружающей среды;

T – температура саморазогрева материала.

Тепловая энергия, рассеянная в окружающую среду единицей объема материала:

$$\dot{W} = m \cdot c \cdot \rho \cdot \alpha \cdot \int T(t) dt,$$

где α – коэффициент теплоотдачи.

Энергия, не участвующая в накоплении усталостных повреждений и выделяемая при циклическом деформировании в виде тепла:

$$\sum \Delta W_T = W_H + \int W dt.$$

Известно, что некоторая часть механических потерь, кроме расхода на теплообразование, идет также на активацию химических реакций, рассеивается в виде акустической и световой эмиссии переходит в энергию свободных поверхностей. Если принять, что часть рассеян-

ной энергии, не связанная с теплообразованием, идет на разрушение материала, т.е.

$$\sum \Delta W_P = \sum \Delta W - \sum \Delta W_T,$$

то энергия разрушения с увеличением выносливости возрастает.

Отсюда следует, что свойства исследуемого материала и вместе с ними тепловыделения $\sum \Delta W$ зависят от температуры. Однако критическая температура саморазогрева сама по себе не является причиной разрушения стеклопластикового образца при циклическом нагружении. Постоянное повышение температуры в процессе испытаний и эксплуатации служит надежным индикатором, показывающим изменение структурных свойств материала в процессе нагружения.

Для проверки указанного предположения и получения данных, необходимых при использовании данного метода оценки долговечности элементов конструкции из КМ, были проведены экспериментальные исследования на стеклопластиковых образцах-моделях [2], что подтверждает постоянство критического значения параметра повреждаемости при нагружении образцов различными уровнями циклических нагрузок (рисунк 2).

Учет изменения температуры образца дает возможность изучить процесс зарождения и раз-

МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

вития усталостных микродефектов и оценивает нестационарный термомеханический процесс разрушения материала.

Таким образом, предложенный метод определения долговечности многослойных оболочечных конструкций из КМ позволяет учесть нелинейный закон накопления усталостных повреждений в КМ при циклическом нагружении.

В результате проведенных экспериментов построено температурное поле саморазогрева по периметру стеклопластиковой оболочки-модели, подвергаемой циклическому нагружению, температура саморазогрева для некоторых режимов испытаний оболочек-моделей может достигать 50°C.

Результаты испытаний оболочек-моделей на саморазогрев при циклическом нагружении показали, что максимальные температуры разогрева наблюдаются в точках, лежащих на боковой образующей оболочки, нормальной к на-

правлению действия приложенной силы (позиция датчика 8).

По температуре и росту остаточной деформации подойти к индивидуализации ресурса стеклопластиковых оболочечных конструкций, а также использовать полученные результаты при обосновании текущего технического состояния стеклопластиковых конструкций и принятии обоснованного технического решения при продлении их гарантийного срока эксплуатации.

Литература

1. Молодцов Г.А., Биткин В.Е., Симонов В.Ф., Урмансов Ф.Ф. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 2000. 352 с.
2. Еремин Д.Б., Еремин Б.Г. Экспериментальное исследование саморазогрева стеклопластиковых элементов при динамическом нагружении // Сборник рефератов депонированных рукописей. М.: ЦВНИ МО РФ. Вып. 34. 1996.

МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 620.192.7+539.3

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕЙСТВИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕПЛОСИЛОВЫХ НАГРУЗОК НА КОМПОЗИТНЫЕ ОБОЛОЧКИ НИТЯНОЙ НАМОТКИ*

Афанасий Викторович Острик

доктор технических наук, профессор

главный научный сотрудник
Институт проблем химической физики РАН
Адрес: 142432, Московская обл.,
г. Черноголовка,
пр-т Академика Семенова, д. 1
Тел.: +7(4965)24-94-72
E-mail: ostrik@icp.ac.ru

Александр Александрович Чепрунов

*заслуженный изобретатель РФ,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник*

ведущий научный сотрудник
ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России
Адрес: 141307, Московская обл.,
г. Сергиев Посад-7
Тел.: +7(916)313-61-18 E-mail: olga@vnitip.ru

Алексей Игоревич Алаторцев

кандидат технических наук

старший научный сотрудник
филиал ВА РВСН им. Петра Великого»
(г. Серпухове)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)78-96-53 E-mail: alexalat@yandex.ru

Алексей Александрович Коробков

кандидат технических наук, доцент

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

Юрий Валерьевич Гирин

*старший инженер-испытатель
ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России
Адрес: 141307, Московская обл.,
г. Сергиев Посад-7
Тел.: +7(916)990-20-82 E-mail: ury1978@mail.ru*

Представляются результаты расчетно-экспериментальных исследований прочности композитных цилиндрических оболочек нитяной намотки к действию теплосиловых нестационарных нагрузок. Рассматриваются набор газодинамических устройств генерации импульсов давлений со сложным пространственно-временным профилем и средства измерения параметров реакции оболочек на нестационарную боковую нагрузку. Изучается влияние длительности импульса давления на характер разрушения пустых и заполненных оболочек. Приводятся соотношения для оценки величины максимальной окружной деформации по характеристикам неравномерно нагретой многослойной оболочки и параметрам нестационарной нагрузки.

Settlement and experimental results of researches of strength of composite cylindrical shells made by cotton winding method to action of thermal and mechanical non-stationary loadings are represented. Set of gasdynamic devices for generation of pressure impulses having a difficult existential profile and methods of reaction parameters measurement used in the conditions of action of non-stationary lateral loadings to shells are considered. Influence of pressure impulse duration on type of destruction of the empty and filled shells is studied. Dependences containing characteristics of unevenly heated multilayered shell and parameters of non-stationary loading are given for an assessment of value of the maximum circular deformation.

Ключевые слова: высокомодульные композитные материалы, газодинамические устройства, деформация и разрушение оболочек, потоки излучений и частиц, тепловое и механическое действия.

Keywords: high-modular composite materials, gasdynamic devices, deformation and destruction of shells, radiations and particles fluxes, thermal and mechanical action.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 13-08-01401-а).

Введение

Высокомодульные композитных материалы (ВКМ) нитяной намотки нашли широкое применение в несущих тонкостенных конструкциях летательных аппаратов (ЛА) [1-4]. При эксплуатации на эти конструкции возможно воздействие потоков излучений и частиц (ПИЧ) различной физической природы [5-8], а также действие ударной волны [9]. Несмотря на большой интервал изменения энергий квантов и частиц, а также сильно отличающиеся практически реализуемые длительности и поверхностные плотности энергии ПИЧ, основную опасность для несущих тонкостенных конструкций ЛА представляют тепловое (прогрев конструкции и изменение ее толщины в результате абляции) и механическое действия ПИЧ (отколы; нестационарная односторонняя нагрузка, неравномерно распределенная по поверхности конструкции ЛА). Во многих практически реализующихся случаях тепловое и механическое действия оказываются совместными, что увеличивает их опасность для прочности конструкций ЛА. Необходимость сохранения работоспособности

ЛА в условиях воздействия интенсивных нестационарных теплосиловых нагрузок потребовала разработки специальных экспериментальных установок [5, 9-12], позволяющих проводить испытания натурных элементов конструкций ЛА с моделированием полетных условий.

Целью настоящей работы является представление некоторых расчетно-экспериментальных результатов исследований действия нестационарных теплосиловых нагрузок на композитные оболочки нитяной намотки [1]. Эти результаты являются частью данных, полученных в рамках общей методологии [11] проведения испытаний на прочность к тепловому и механическому действиям ПИЧ, и могут служить иллюстрацией многообразия и сложности задач, которые возникают при отработке прочности несущих элементов конструкций ЛА к нетрадиционным для разработчиков ЛА видам воздействий.

Устройства воспроизведения теплового и механического действий ПИЧ

Прямые экспериментальные исследования последствий теплового и механического действий излучений (ТМДИ) на элементы кон-

Таблица 1
Требования к устройствам, моделирующим механическое действие ПИЧ

Тип излучения	Параметры излучения				Условия воздействия	Хар-ки нагрузки		№ режима
	λ , А°	τ , с	q , МВт/см ²	W , кДж/см ²		τ_n , с	I_p , кПа с	
Видимое и ИК излучения	$4 \times 10^3 \dots 10^5$	$10^{-5} \dots 2 \times 10^{-4}$	$10 \dots 500$	$1 \dots 10$	в воздухе	$5 \times 10^{-5} \dots 3 \times 10^{-4}$	$0,1 \dots 2$	1
УФИ	$3 \times 10^3 \dots 10^4$	$10^{-7} \dots 10^{-5}$	$10^2 \dots 10^4$	$1 \dots 10$	в вакууме	$10^{-7} \dots 10^{-5}$	$0,1 \dots 3$	2
ультрамягкое РИ	$10 \dots 300$	$10^{-10} \dots 10^{-8}$	$10^2 \dots 10^7$	$1 \dots 10$	в вакууме	$10^{-8} \dots 10^{-6}$	$0,1 \dots 5$	3
	$100 \dots 300$	$10^{-11} \dots 10^{-8}$	$10^2 \dots 10^7$	$0,1 \dots 1$	после прохождения возд. среды.	$10^{-8} \dots 10^{-6}$	$0,05 \dots 0,5$	4
мягкое РИ	$0,6 \dots 10$	$10^{-8} \dots 10^{-7}$	$10^3 \dots 5 \times 10^5$	$0,1 \dots 5$	в вакууме	$5 \times 10^{-7} \dots 5 \times 10^{-6}$	$0,07 \dots 3$	5
жесткое РИ	$0,15 \dots 10$	$5 \times 10^{-9} \dots 5 \times 10^{-8}$	$2 \times 10^3 \dots 10^6$	$0,1 \dots 5$	в вакууме	$5 \times 10^{-9} \dots 5 \times 10^{-8}$	$0,05 \dots 4$	6
					в вакууме преграда с ТЭ	$5 \times 10^{-7} \dots 5 \times 10^{-6}$	$0,1 \dots 5$	7
	$0,15 \dots 10$	$10^{-6} \dots 10^{-5}$	$10 \dots 10^3$	$0,3 \dots 1$	после прохождения возд. среды	$10^{-6} \dots 10^{-5}$	$0,02 \dots 1$	8

Примечание: УФИ – ультрафиолетовое излучение; РИ – рентгеновское излучение; ИК – инфракрасное; ТЭ – тяжелые элементы

МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Таблица 2

Газодинамические устройства для моделирования механического действия ПИЧ

Вид взрывного устройства	Возможности (хар-ки нагрузки)		Назначение (моделируемые режимы воздействия)	№ режимов воздействия из табл. 1
	τ_p , с	I_p , кПа·с		
Контактный секторный заряд	$10^{-6} \dots 10^{-5}$	0,8...5	моноимпульсное воздействие УФИ или РИ	2#, 3#, 5# - 8#
Контактный светодетонирующий заряд	$2 \times 10^{-7} \dots 10^{-6}$	0,05...2	моноимпульсное воздействие РИ	3#, 4#, 5 - 7, 8#
Эквидистантно-поверхностный заряд	$10^{-5} \dots 2 \times 10^{-4}$	0,3...3	моноимпульсное воздействие видимого или ИК излучений в воздухе	1# 2 - 8 (оболоч. стадия)
Объемно-распределенный заряд	$10^{-4} \dots 5 \times 10^{-4}$	0,1...2	моноимпульсное воздействие видимого или ИК излучений в воздухе	1
Кумулятивный объемно-распределенный заряд	$10^{-4} \dots 5 \times 10^{-4}$	0,1...2	моноимпульсное кумулятивное воздействие видимого или ИК излучений в воздухе	1
Ударная труба взрывного действия	$5 \times 10^{-5} \dots 2 \times 10^{-4}$	0,5...2	импульсно-частотное резонансное воздействие видимого или ИК излучений в воздухе	1#
Ударная труба взрывного действия с телом вращения	$5 \times 10^{-5} \dots 2 \times 10^{-4}$	0,5...2	импульсно-частотное воздействие видимого или ИК излучений в воздухе со сложным пространственным профилем	1#
Система вращающихся зарядов	$10^{-4} \dots 2 \times 10^{-4}$	0,5...2	многократное воздействие излучений на высокотемпературные потоки	-

Примечание: # – данное устройство моделирует этот режим воздействия лишь частично

струкций ЛА путем их непосредственного облучения не представляются возможными в связи с отсутствием мощных лабораторных источников излучения, способных генерировать необходимые плотности энергии на поверхностях с размерами порядка нескольких метров [5]. Не удается получить достаточно надежных результатов и методами моделирования [13], поскольку требования совпадения критериальных параметров для модели и натурной конструкции практически сводятся к идентичности последних по абсолютным размерам и свойствам материалов. В частности, условие равенства относительных толщин h/R (h , R – толщина и характерный радиус кривизны оболочки) тонкостенной конструкции и ее модели при неизменной толщине армирующей нити приводит к уменьшению числа слоев армирования у модели, что, в свою очередь, искажает характер и последовательность

разрушения этих слоев. Поэтому основным методом исследования последствий ТМДИ в настоящее время являются испытания натуральных конструкций ЛА при их нестационарном нагружении газодинамическими устройствами воспроизведения теплового и механического действия ПИЧ [5, 9-12, 14]. Проведенный в [5, 14] анализ механического действия излучений при различных представляющих практический интерес диапазонах изменения длин волн, плотностей потоков, внешних условий и свойств материалов преграды позволяет сформулировать требования к характеристикам нагрузок, которые необходимо воспроизводить при моделировании механического действия. Из этих требований, представленных в *таблице 1*, следует необходимость разработки устройств, генерирующих нагрузки длительностью $\tau_p = 0,01 \dots 300$ мкс с импульсами давления $I_p = 0,02 \dots 5$ кПа·с.

МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Таблица 3

Устройства для моделирования полетных условий

<p>Стенд позволяет нагревать тонкостенные несущие элементы ЛА до $T \leq 300^\circ\text{C}$</p>	<p>Ударная труба взрывного действия с смешевым твердым топливом для моделирования неравномерного нагрева с последующим механическим воздействием</p>
<p>Стенд статического сжатия для моделирования осевого поджатия тонкостенных конструкций с усилием $N_{oc} = 10 \dots 60 \text{ T}$</p>	<p>Стендовый реактивный двигатель с пороховым наддувом для создания внутреннего давления в камере сгорания с законом нарастания, близким к полетному</p>
<p>Стендовый реактивный двигатель с телом вращения для моделирования распределения давления в камере сгорания и сопловом блоке, близким к полетному</p>	<p>Стендовый реактивный двигатель с телом вращения и эквидистантно-поверхностным зарядом для воспроизведения траекторного нагрева, полетного внутреннего давления и механического действия</p>

В [5, 10, 12, 14] предложен набор взрывных газодинамических устройств (см. таблицу 2), позволяющих моделировать механическое действие излучений от оптического до жесткого рентгеновского диапазонов спектра на крупногабаритные тонкостенные корпуса конструкций ЛА. При разработке устройств учтена необходимость генерации нагрузок с различными пространственно-временными распределениями.

Набор газодинамических устройств дает возможность воспроизводить нагрузки длительностью $\tau_p = 0,2 \dots 500 \text{ мкс}$ с импульсами давления $I_p = 0,05 \dots 5 \text{ кПа}\cdot\text{с}$ и, как показывает сравнение данных в таблицах 1 и 2, лишь частично удовлетворяет предъявляемым к ним требованиям. Необходима разработка газодинамических устройств, генерирующих низкоимпульсные ультракороткие нагрузки с $I_p \leq 0,05 \text{ кПа}\cdot\text{с}$

и $\tau_p \leq 0,2$ мкс. Некоторое уменьшение импульса давления еще может быть достигнуто модернизацией светодетонирующего заряда.

Однако задача дальнейшего сокращения длительности нагрузки представляется неразрешимой в рамках газодинамического метода, который, по-видимому, свои возможности уже исчерпал, и здесь остается надеяться лишь на разработку методов генерации нагрузок на основе физических процессов, отличных от детонации взрывчатых веществ. В частности, более короткие и низкоимпульсные нагрузки удается создавать посредством электрического взрыва проводников [15] и облучения электронными пучками [16].

Проведение натурных испытаний конструкций ЛА связано с необходимостью моделирования полетных условий совместно с воспроизведением ТМДИ и требует разработки соответствующих устройств, некоторые из которых представлены в *таблице 3* [10, 14]. Устройства для воспроизведения совместного действия тепловых и механических нагрузок более детально описаны в [12].

Объекты исследований

В качестве объектов экспериментальных исследований были выбраны широко используемые в конструкциях ЛА оболочки типа «коккон» с фланцевыми соединениями на концах [1]. Силовая конструкция состояла из цельнометаллических днищ и цилиндрической части, образованных непрерывной намоткой жгута органического СВМ и связующего ЭДТ-10, причем днища получены только за счет намотки спиральных слоев, а цилиндрическая часть усилена кольцевыми слоями. Угол намотки спиральных слоев составлял $22,5^\circ$ со схемой армирования от внутреннего радиуса оболочки: ПХПХ. По торцам оболочки встроены фланцы из стали 30ХГСА. Для обеспечения герметичности на всю внутреннюю поверхность оболочек наносится слой из резины, а крепление наполнителя к оболочкам осуществляется с помощью адгезивного слоя.

Для оболочек, работающих при значительных осевых нагрузках, дополнительно наматываются узлы стыка из стеклопластика. Безразмерные параметры, характеризующие геометрию испытываемых оболочек, составляли $\bar{h} = h/R = 0,012$, $L/R = 1,85$ (L – длина цилиндрической части оболочки, R – радиус оболочки, h – толщина оболочки). Все испытываемые оболочки были изготовлены по единой технологии и подвергались одинаковым режимам термообработки, что позволило провести комплексное

исследование их реакции на нестационарное нагружение.

Измерение параметров реакции

Существенной частью любой методики проведения испытаний являются методы измерения параметров реакции исследуемого объекта на внешнее воздействие.

Измерение нестационарных деформаций осуществляется, как правило, электротензометрическим методом по схеме уравновешенного одинарного моста. В качестве измерительных датчиков применяются тензодатчики, позволяющие измерять относительную нестационарную деформацию до 4% с погрешностью не более 15% (например, тензодатчики типа КБ-10-200). В зоне нагружения каждый внутренний тензодатчик располагался напротив наружного, так что выходные сигналы с датчиков можно было суммировать и вычитать, получая таким образом характеристики мембранных и изгибных деформаций.

Для измерения перегрузок используются высокочастотные вибропрочные преобразователи с высоким коэффициентом преобразования и максимальными величинами измеряемых ускорений до $10^4 g$ (например, преобразователь АДП-10-1, погрешность измерений с помощью которого не превышает 20%).

Для измерения прогибов в процессе деформирования целесообразно использовать индукционные датчики, максимальные прогибы можно определить с помощью крешеров из различных достаточно деформируемых материалов (свинец, медь). Остаточный прогиб фиксируется прямыми измерениями внутренних размеров конструкции до и после испытаний с помощью микрометрических нутрометров или индикаторных приборов, позволяющих в сочетании со специальными приспособлениями обеспечить абсолютную точность измерений не хуже $\pm 0,1$ мм.

Результаты исследований

Влияние пространственно-временного распределения нагрузки и теплового действия ПИЧ

Первоначально композитные оболочки подвергались действию нагрузки с параметрами, не приводящими к их повреждению (ударная труба взрывного действия (УТВД) с импульсом давления $I_p = 0,5$ кПа·с, длительностью $\tau_p = 100$ мкс и диаметром пятна нагрузки $R_p = 200$ мм равным размеру поперечного сечения оболочки). Оболочка свободно вывешивалась на тросах или жестко защемлялась на не-

котором расстоянии от среза сопла УТВД. Исследования показали существенное влияние условий закрепления оболочки на ее напряженно-деформированное состояние. Однако в обоих случаях (для свободно подвешенной и жестко заземленной оболочки) максимальные окружные деформации оказались почти вдвое больше продольных. Несмотря на значительное формоизменение (максимальный прогиб составил 0,2 радиуса) оболочки в результате нагружения видимых повреждений не получили и полностью восстанавливали свою форму после деформирования.

Анализ развития деформаций во времени показывает, что они носят характер сложных многочастотных колебательных процессов, продолжительность которых более чем на порядок превышает время действия нагрузки с амплитудными значениями, достигающими 1,7%. В начале деформирования развиваются радиальные колебания с преобладанием сжимающих напряжений по всей толщине конструкции. По истечении некоторого времени после окончания действия нагрузки (порядка 400 мкс) наблюдается постепенный, а затем убыстряющийся процесс роста окружных изгибных деформаций (при этом сигналы от тензодатчиков с внешней и внутренней стороны оболочки имеют разную полярность) с максимумом изгиба при $t = 1,2$ мс.

Поскольку окружные деформации существенно превышают продольные, а деформирование оболочки происходит упруго вплоть до разрушения, то в качестве прочностного критерия может быть принято условие достижения максимума окружных деформаций некоторого критического уровня (при нестационарном нагружении этот уровень, как показывают результаты экспериментов, составляет порядка 2%). Преобладание окружных деформаций и выбранный критерий разрушения позволяют в качестве расчетной модели конструкции использовать модель бесконечной многослойной цилиндрической оболочки (для центральных сечений конструкции) или модель кольца (для сечений вблизи свободного края).

Результаты определения максимальных окружных деформаций для этих моделей целесообразно представлять в безразмерном виде, применимо для любых конкретных характеристиках конструкции и параметрах механического действия ПИЧ. При рассмотрении совместного теплового и механического действия ПИЧ (а также возможного аэродинамического нагрева в полете) необходимо, очевидно, учесть изменения жесткостей оболочки B и D с ростом температуры. В частности, для заданного профиля

по толщине оболочки $T = T_{ch} \tilde{T}(z)$ жесткости B и D оказываются функциями характерной температуры T_{ch} , которая, в свою очередь, определяется характеристиками воздействующего ПИЧ:

$$\begin{aligned} B &= B(T_{ch}) = \int \frac{E(T_{ch} \tilde{T}(z)) dz}{1 - \nu^2(T_{ch} \tilde{T}(z))}, \\ D &= D(T_{ch}) = \int \frac{E(T_{ch} \tilde{T}(z)) z^2 dz}{1 - \nu^2(T_{ch} \tilde{T}(z))}, \end{aligned} \quad (1)$$

где положение поверхности приведения выбирается так, чтобы

$$\int \frac{E(T_{ch} \tilde{T}(z)) z dz}{1 - \nu^2(T_{ch} \tilde{T}(z))} = 0.$$

E, ν – модуль Юнга и коэффициент Пуассона соответствующих слоев оболочки.

Величина максимальной окружной деформации ε_{\max} является функцией четырех параметров оболочки m, R, B, D (m – массовая толщина оболочки) и трех характеристик нагрузки I_p, τ_p, φ_p

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_{\max}(m, R, B, D, I_p, \tau_p, \varphi_p), \quad (2)$$

где характеристики нагрузки задают ее пространственно-временное распределение (φ – угловая координата; φ_p – угловой размер области нагружения; τ_p – длительность импульса давления; $P_i(t)$ – закон изменения давления во времени, нормированный на единицу):

$$P(\varphi, t) = I_p P_i(t) \begin{cases} \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \frac{\varphi}{\varphi_p}\right), & |\varphi| \leq \varphi_p \\ 0, & |\varphi| > \varphi_p \end{cases},$$

$$\int_0^{\tau_p} P_i(t) dt = 1,$$

Поскольку среди этих параметров лишь три имеют независимую размерность, то согласно π -теореме [13], максимальная окружная деформация упругой бесконечной цилиндрической оболочки или кольца с постоянными по окружной координате жесткостями B и D определяется четырьмя безразмерными параметрами:

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_{\max}(\bar{h}, \bar{I}_p, \bar{\tau}_p, \varphi_p), \quad (3)$$

$$\bar{h} = \sqrt{\frac{12D}{BR^2}}, \quad \bar{I}_p = \frac{I_p h}{\sqrt{mB}}, \quad \bar{\tau}_p = \frac{\tau_p}{R} \sqrt{\frac{B}{m}}. \quad (4)$$

Расчетные и экспериментальные данные показывают, что при длительностях нагрузок, не превышающих четверти периода изгибных колебаний конструкции, ε_{\max} линейно зависит от импульса давления, и тогда из (3), (4) следует

$$\varepsilon_{\max} / \bar{I}_p = \varepsilon_{\max}(\bar{h}, \bar{\tau}_p, \varphi_p). \quad (5)$$

Функция (5), полученная в результате систематических расчетов по численной модели [8], представлена на *рисунке 1* при максимальном пятне облучения $\varphi_p = \pi/2$.

Для заданного профиля температуры $T = T(\varphi, z)$ в многослойной упругой бесконечной цилиндрической оболочке с переменной суммарной толщиной $h_\Sigma(\varphi)$ жесткости B и D оказываются функциями угловой координаты φ (аналогичные соотношения для кольца получаются из этих соотношений, если положить $\nu \equiv 0$):

$$B(\varphi) = \int_{-\delta(\varphi)}^{h_{\Sigma(\varphi)} - z_0(\varphi)} \frac{E(T(\varphi, z)) dz}{1 - \nu^2(T(\varphi, z))},$$

$$D(\varphi) = \int_{-z_0(\varphi)}^{h_{\Sigma(\varphi)} - z_0(\varphi)} \frac{E(T(\varphi, z)) z^2 dz}{1 - \nu^2(T(\varphi, z))},$$

$$\int_{-z_0(\varphi)}^{h_{\Sigma(\varphi)} - z_0(\varphi)} \frac{E(T(\varphi, z)) z dz}{1 - \nu^2(T(\varphi, z))} = 0, \quad (6)$$

где расстояние $z_0(\varphi)$ от внутренней поверхности до поверхности приведения определяется из третьего соотношения в (6).

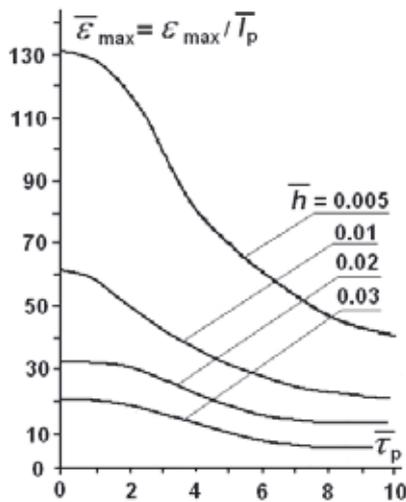


Рис. 1. Зависимость приведенной максимальной деформации ε_{\max} от безразмерных параметров \tilde{h} , τ_p

Две жесткостные характеристики $B(\varphi)$, $D(\varphi)$ из (6) или выражаемые через них толщина $\tilde{h}(\varphi)$ и деформационная характеристика $\tilde{E}(\varphi)/(1 - \tilde{\nu}^2(\varphi))$ материала эквивалентной однослойной бесконечной цилиндрической оболочки:

$$\tilde{h}(\varphi) = \sqrt{\frac{12D(\varphi)}{B(\varphi)}}, \quad \frac{\tilde{E}(\varphi)}{1 - \tilde{\nu}^2(\varphi)} = \frac{B^{3/2}(\varphi)}{\sqrt{12D(\varphi)}} \quad (7)$$

полностью описывают деформационные свойства рассматриваемой оболочечной модели.

В общем случае при достаточно произвольных распределениях температуры $T(\varphi, z)$ и суммарной толщины оболочки $h_\Sigma(\varphi)$ величины $B(\varphi)$ и $D(\varphi)$ независимы, и число параметров, определяющих максимальную деформацию оболочки, велико (для описания зависимостей $B(\varphi)$ и $D(\varphi)$ с необходимой для практики точностью требуется дополнительно еще, как минимум, четыре параметра). При этом для расчета максимальной деформации целесообразно обратиться к исходной численной модели нестационарного деформирования оболочки.

Рассмотрим частные случаи, когда число дополнительных параметров уменьшается до двух. Пусть $\tilde{h}(\varphi) = \text{const}$, что имеет место, например, при одностороннем тепловом действии ПИЧ на многослойную оболочку с симметричным расположением слоев (как известно, в несущих конструкциях часто используются трехслойные оболочки из одинаковых крайних жестких слоев и легкого заполнителя между ними) в режиме теплопроводности (в отсутствии уноса) при равномерном прогреве по толщине ($T = T(\varphi)$). Тогда из (7) получаем, что жесткостные характеристики пропорциональны: $D(\varphi)/B(\varphi) = \text{const}$. Если предположить, что зависимость $B(\varphi)$ от угловой координаты при $|\varphi| \leq \varphi_p$ аппроксимируется выражением:

$$B = B(\varphi) = B_0 \left(1 - a \cos\left(\frac{\pi \varphi}{2 \varphi_p}\right) - b \cos^2\left(\frac{\pi \varphi}{2 \varphi_p}\right) \right), \quad (8)$$

то и изгибная жесткость, пропорциональная B , имеет при $|\varphi| \leq \varphi_p$ вид:

$$D = D(\varphi) = D_0 \left(1 - a \cos\left(\frac{\pi \varphi}{2 \varphi_p}\right) - b \cos^2\left(\frac{\pi \varphi}{2 \varphi_p}\right) \right), \quad (9)$$

где B_0, D_0 – жесткости необлученной части конструкции (она также может быть предварительно нагрета: $B_0 = B_0(T)$, $D_0 = D_0(T)$, но без зависимости температуры от угловой координаты, что часто имеет место при воздействии симметричных полетных тепловых нагрузок).

Требование положительности и неубывания функций жесткостных характеристик (8), (9) приводит к ограничениям на область изменения параметров a, b (эта область показана на *рисунке 2*):

$$a \geq 0, \quad a + b < 1, \quad b \geq -a/2. \quad (10)$$

Аналогично предполагая постоянными деформационные характеристики (в частности, при тепловом действии на однослойную оболочку постоянной толщины в режиме развитого испарения, когда прогревом можно пренебречь)

$$\frac{\tilde{E}(\varphi)}{1 - \tilde{\nu}^2(\varphi)} = \frac{B^{3/2}(\varphi)}{\sqrt{12D(\varphi)}} = \text{const},$$

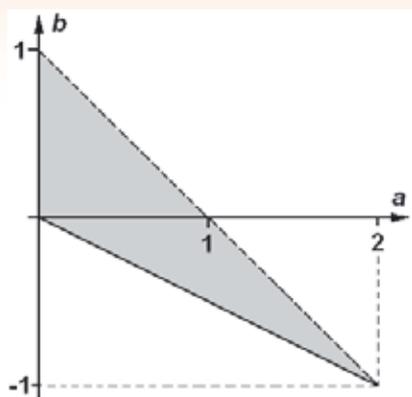


Рис. 2. Область изменения безразмерных параметров a, b

получаем:

$$B = B(\varphi) = B_0 \left(1 - a \cos\left(\frac{\pi \varphi}{2 \varphi_p}\right) - b \cos^2\left(\frac{\pi \varphi}{2 \varphi_p}\right) \right), \quad (11)$$

$$D = D(\varphi) = D_0 \left(1 - a \cos\left(\frac{\pi \varphi}{2 \varphi_p}\right) - b \cos^2\left(\frac{\pi \varphi}{2 \varphi_p}\right) \right). \quad (12)$$

Таким образом, в обоих предельных случаях искомая функция максимальной окружной деформации от безразмерных параметров принимает вид:

$$\bar{\varepsilon}_{\max} = \varepsilon_{\max} / \bar{I}_p = \bar{\varepsilon}_{\max}(\bar{h}, \bar{\tau}_p, \varphi_p, a, b), \quad (13)$$

$$\bar{h} = \sqrt{\frac{12D_0}{B_0 R^2}}, \quad \bar{I}_p = \frac{I_p \bar{h}}{\sqrt{m B_0}}, \quad \bar{\tau}_p = \frac{\tau_p}{R} \sqrt{\frac{B_0}{m}}. \quad (14)$$

На рисунках 3, 4 построены в результате систематических расчетов по численной модели [8] уровни максимальной деформации ε_{\max} на плоскости $a-b$ для импульсной нагрузки ($\bar{\tau}_p = 0$) при $\bar{h} = 0,01, \varphi_p = \pi/2$.

Таким образом, при упругом поведении слоев вплоть до разрушения результаты расчетов удастся в некоторых практически важных случаях представить в безразмерном виде, позволяющем оценить максимальные окружные деформации тонкостенных конструкций с учетом теплового действия ПИЧ.

На рисунке 5 представлены результаты сравнений оценок максимальных окружных деформаций по приведенным зависимостям и экспериментальным данным при различных длительностях нагружения. Несмотря на удовлетворительное согласие, следует отметить, что с уменьшением длительности меняется характер разрушения, причиной которого становятся не изгибные деформации оболочки, а волновые процес-

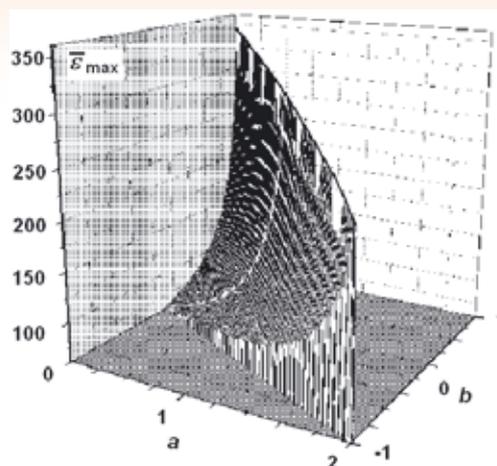


Рис. 3. $\bar{\varepsilon}_{\max}(a, b)$, для $\tilde{h}(\varphi) = \text{const}$

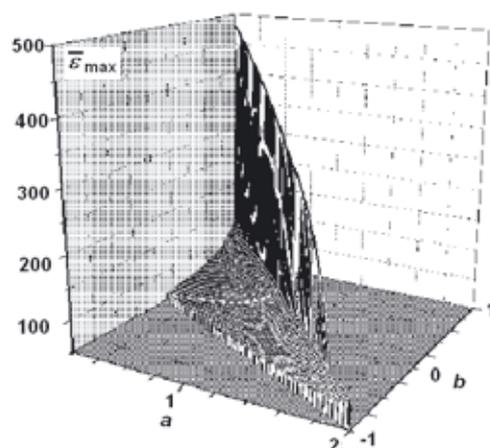


Рис. 4. $\bar{\varepsilon}_{\max}(a, b)$, $\tilde{E}_Y(\varphi)/(1-\tilde{\nu}^2(\varphi)) = \text{const}$

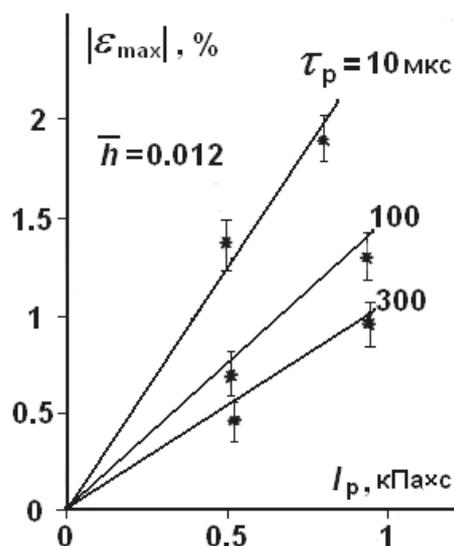


Рис. 5. Влияние длительности нагружения на максимальные деформации

МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА



Рис. 6. Изменение характера разрушения в зависимости от пространственно-временного распределения нагрузки ($I_{p\Sigma} = 0,01 \text{ кг с/см}^2$)

сы по толщине конструкции. Так, на *рисунке б* показано изменение характера разрушения оболочки в зависимости от пространственно-временного распределения нагрузки. Видно, что при длительности $\tau_p = 1 \text{ мкс}$ разрушения наиболее сильные и имеют вид откольных расслоений материала. Конечно, в этом случае использование критерия разрушения по максимальным окружным деформациям не имеет смысла, и необходимо обратиться к методикам расчета волновых процессов и соответствующим критериям откольных повреждений [17].

Следует отметить высокий уровень разрушений при кумулятивном способе воздействия (также представленном на *рисунке б*) даже в том случае, когда длительность нагрузки достаточно велика ($t_p = 100 \text{ мкс}$) и волновые процессы не играют существенной роли. Создание нагрузки в этом случае осуществляется УТВД с установленными в ее сопле насадками для профилирования нагрузки, что позволяет в рамках одного устройства воспроизвести одновременно импульсно-частотное и пространственно-неоднородное воздействие, инициирующее в конструкции резонансные и кумулятивные эффекты. Таким образом, как показывают результаты испытаний, вариант нагружения сходящимися на поверхности конструкции волнами давления является значительно более опасным для тонкостенных композитных конструкций, чем одностороннее динамическое нагружение без кумуляции.

Влияние заполнителя

Как показывают результаты многочисленных испытаний, наличие заполнителя с внутренним каналом существенно сказывается на параметрах реакции оболочки на нестационар-

ную нагрузку в сторону их уменьшения (в частности, существенно уменьшается прогиб) и, как правило, при достаточно большой толщине свода (порядка нескольких толщин оболочек и более) нарушение нормального функционирования элемента конструкции происходит в результате волновых разрушений заполнителя, для расчета которых имеется ряд численных методов [8, 18, 19]. В том практически важном случае, когда жесткость заполнителя существенно ниже жесткости оболочки (например, это имеет место для твердотопливных реактивных двигателей) оценку окружных деформаций при толщине свода менее нескольких толщин корпуса можно провести по приведенным соотношениям (3) – (5), рассматривая заполнитель как присоединенную массу и учитывая его увеличением массовой толщины m .

Испытания заполненных оболочек проводились с различными заполнителями, значительно отличающимися по плотности. В качестве заполнителя в экспериментах использовались: пенопласт (марки ППУ-КФ с плотностью $\rho_f = 200 \text{ кг/м}^3$), резина (герметик марки 31Г24 с $\rho_f = 1300 \text{ кг/м}^3$) и имитатор твердого топлива ($\rho_f = 1800 \text{ кг/м}^3$). Внутри заполнителя по оси оболочки проделывался канал с относительным радиусом $R_f/R \leq 0,2$, позволяющий оценить состояние заполнителя после нагружения и создающий волну растяжения после отражения от него проходящей с поверхности волны сжатия. Проведенные исследования показывают, что для используемых материалов заполнителей с увеличением их плотности снижение величина максимальной деформации оболочки уменьшается от 1.5 до 5 раз. В результате наличие заполнителя делает невозможным разрушение ис-

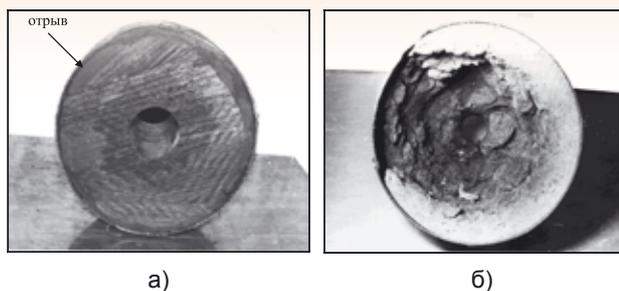


Рис. 7. Виды повреждений заполнителя

следующих оболочек импульсами нагрузки с параметрами $I_p \leq 0,01$ кг·с/см² и $\tau_p > 100$ мкс (пустые оболочки при $I_p = 0,01$ кг·с/см² и $\tau_p = 100$ мкс имели значительные повреждения).

Деформирование заполненных оболочек происходит с меньшей частотой, причем амплитуда колебаний затухает намного быстрее, чем у пустых (время затухания соответственно 3 мс и 40 мс), а максимальные деформации развиваются позже. При уменьшении длительности импульса до 10 мкс происходит разрушение оболочек с образованием вмятин глубиной до двух толщин и расслоением в зоне нагружения. В этом случае оболочка имеет остаточные деформации, но в ней отсутствуют разрывы волокон в лентах композиционного материала. В области заполнителя, прилегающего к оболочке, возникает зона растягивающих напряжений, которая приводит к отрыву заполнителя от корпуса (рисунки 7а).

Еще большее разрушение в заполнителе вызывает волна растяжения, образующаяся при отражении от свободной поверхности внутреннего канала (рисунки 7б). Следует отметить, что при испытаниях оболочек с заполнителями отсутствовали расслаивания оболочек со стороны их внутренней поверхности, поскольку наличие заполнителя препятствовало образованию достаточно интенсивной отраженной от контактной границы волны растяжения.

Литература

1. Механика конструкций из композиционных материалов: сб. науч. ст. / под ред. В.Д. Протасова. М.: Машиностроение, 1992. 96 с.
2. Пименов Н.В., Антипов Ю.В., Кульков А.А. и др. Высокопрочные органопластики на основе жгута Армос-600 // Вопросы оборонной техники, 2003. Вып. 3-4. С. 59-61.
3. Васильев В.В., Барынин В.А., Разин А.Ф. и др. Анизотропные композитные сетчатые конструкции – разработка и приложения к космической технике // Композиты и наноструктуры, 2009. № 3. С. 38-50.
4. Зорин В.А. Опыт применения композиционных материалов в изделиях авиационной и ракетно-космической техники (обзор) // Конструкции из композиционных материалов, 2011. Вып. 4. С. 44-59.
5. Лоборев В.М., Острик А.В., Петровский В.П., Чепрунов А.А. Методы моделирования механического действия излучений на материалы и конструкции // Науч.-техн. сб. №1 ЦФТИ МО РФ. Сергиев Посад, 1997. 75 с.
6. Бакулин В.Н., Образцов И.Ф., Потопахин В.А. Динамические задачи нелинейной теории многослойных оболочек: Действие интенсивных термосиловых нагрузок, концентрированных потоков энергии. М.: Наука, Физматлит, 1998. 464 с.
7. Грибанов В.М., Острик А.В., Ромадинова Е.А. Численный код для расчета многократного комплексного действия излучений и частиц на многослойный многофункциональный гетерогенный плоский пакет. Черноголовка: ИПХМ РАН, 2006. 92 с.
8. Физика ядерного взрыва. В 5 т. Том 2. Действие взрыва. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 620 с.
9. Кармишин А.В., Скурлатов Э.Д., Старцев В.Г., Фельдштейн В.А. Нестационарная аэроупругость тонкостенных конструкций / под ред. А.В. Кармишина. М.: Машиностроение, 1982. 240 с.
10. Острик А.В., Бакулин В.Н., Чепрунов А.А. Экспериментальные методы исследования механического действия излучений на тонкостенные композитные корпуса конструкций // Проблемы прочности и пластичности: межвуз. сб. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2000. С. 117-121.
11. Острик А.В. Расчетно-экспериментальное подтверждение прочности композитных конструкций летательных аппаратов к механическому действию рентгеновского излучения // Вопросы оборонной техники: науч.-техн. сб. Сер. 15, 2013. №1(168). С. 8-17.
12. Физика ядерного взрыва. В 5 т. Том 3. Воспроизведение факторов взрыва. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. 472 с.
13. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1981. 448 с.
14. Грибанов В.М., Острик А.В., Чепрунов А.А. и др. Механическое действие рентгеновского излучения на тонкостенные композиционные конструкции. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 256 с.
15. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский В.А. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. М.: Энергоатомиздат, 1990. 288 с.
16. Бойко В.И., Скворцов В.А., Фортвов В.Е., Шаманин И.В. Взаимодействие импульсных пучков заряженных частиц с веществом. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 288 с.
17. Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортвов В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. М.: «Янус-К», 1996. 408 с.
18. Ильгамов М.А., Иванов В.А. Гулин Б.В. Прочность, устойчивость и динамика оболочек с упругим заполнителем. М.: Наука, 1977. 331 с.
19. Острик А.В., Петров И.Б., Петровский В.П. Расчет деформации акустического импульса малой длительности на отверстие сложной формы в заполнителе, окруженном упругой оболочкой // Математическое моделирование, 1990.
20. Бородай В.Э., Коробков А.А., Попов А.Г. Математическая модель нестационарного теплопереноса в многослойном пакете теплозащиты гиперзвуковых летательных аппаратов // Известия Института инженерной физики, 2011. №3(21). С. 16-19.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 65.01

АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Юрий Анатольевич Сытняк

кандидат технических наук

начальник научно-аналитического отдела
ФГБНУ «Госметодцентр»

Адрес: 115998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7(499)706-81-25

Ирина Вячеславовна Цветкова

младший научный сотрудник
научно-аналитического отдела
ФГБНУ «Госметодцентр»

Адрес: 1155998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51
Тел.: +7(499)706-81-24

Проведен анализ решения задач государственными научными центрами Российской Федерации по проведению фундаментальных и прикладных исследований и разработок по критическим технологиям, а также по содействию подготовке кадров высшей квалификации.

The analysis of state research centers solution of tasks in fundamental and applied researches and development for critical technologies, and assistance in training of highly qualified personnel.

Ключевые слова: научные центры, исследования, критические технологии, интеграция.

Keywords: scientific centers, research, critical technology, integration.

Государственные научные центры Российской Федерации (ГНЦ) – особая форма научных организаций [1], большинство из которых обладают, как правило, уникальными научными школами и научно-технологической базой, ведут разработки по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации.

Статус ГНЦ Российской Федерации присваивается на два года для поддержки фундаментальных и прикладных исследований. Каждые два года по результатам оценки деятельности каждого ГНЦ правительство принимает решение о целесообразности сохранения за ГНЦ этого статуса.

В настоящее время в Российской Федерации насчитывается около 50 ГНЦ. Они есть практически во всех отраслях промышленности и реализуют взаимосвязь фундаментальных исследований с прикладными разработками и промышленностью, обеспечивают цикл непрерывной подготовки специалистов высокой квалификации [2, 3]. Интеграция ГНЦ с академическим и вузовским секторами науки и производством является необходимым условием для создания конкурентоспособной наукоемкой продукции.

Из многообразия задач, возложенных на ГНЦ, проанализируем решение задач по проведению фундаментальных и прикладных исследований и разработок по критическим технологиям, а также по содействию подготовке ка-

дров высшей квалификации. Действенным инструментом организации и проведения фундаментальных и прикладных научных исследований являются Программы реализации функций ГНЦ. В них предусмотрены:

- проведение комплекса исследований и разработок по критическим технологиям;
- коммерциализация результатов научных исследований и разработок, в том числе с использованием механизма технологических платформ;
- выполнение прогнозно-аналитической функции в области реализации критической технологии;
- осуществление экспертизы научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ и инновационных проектов, в том числе в целях предоставления налоговых льгот;
- развитие научно-технической и инновационной инфраструктуры на базе ГНЦ;
- кооперация с ведущими федеральными государственными образовательными учреждениями высшего профессионального образования;
- обеспечение функционирования отраслевых информационных ресурсов, содержащих научно-техническую информацию по критической технологии.

Важнейшими направлениями деятельности ГНЦ являются ядерная физика, атомная наука и техника, химия и новые материалы, авиация,

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ



Рис. 1.

космос, судостроение, транспорт, информатика и приборостроение, биотехнология, опто- и фотоэлектроника, робототехника и машиностроение, навигация и акустика, водоснабжение и гидрогеология, энергетика и электротехника, металлургия, строительство, метеорология, вирусология, медико-биологические проблемы, селекция растений.

Наиболее активно ГНЦ проводятся исследования и разработки по следующим критическим технологиям:

- «Базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники» (доля участия ГНЦ составила около 79% от общего числа всех ГНЦ);
- «Технология мониторинга и прогнозирования

состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидация ее загрязнения» (70%);

- «Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения» (60%);

- «Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии», «Технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов», «Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов», «Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», «Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом» (50%). Наибольшее внимание уделяется реализации приоритетного направ-

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Участие ГНЦ РФ в реализации приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации (доля ГНЦ в процентах)



Рис. 2.

ления «Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники», по которому ведутся работы в 35-ти ГНЦ. В приоритетном направлении «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» участвует 31 организация, а в приоритетных направлениях «Индустрия наносистем» и «Рациональное природопользование» – по 30 ГНЦ (рисунки 1 и 2).

Одной из важнейших задач, поставленных перед ГНЦ, является содействие подготовке кадров высшей квалификации.

В составе ГНЦ работают более 60 действительных членов государственных академий наук (РАН, РАО, РААСН), около 6000 докторов и кандидатов наук (рисунк 3).

В ГНЦ функционирует более 50 советов по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и доктора наук. Подготовка кадров высшей квалификации ведется почти во всех ГНЦ (93,6%).

Численность аспирантов и докторантов составляет более 1000 человек (рисунк 4). Успешно защитили диссертации на соискание сте-

пеней кандидата наук – 188 человек и доктора наук – 49 человек (рисунк 5).

В рамках работы по интеграции ГНЦ, вузов и промышленных предприятий высшими учебными заведениями создано более 100 научно-образовательных структур (базовых кафедр, научно-образовательных центров [4] и др.) в государственных научных центрах.

В высших учебных заведениях государственными научными центрами создано около 100 подразделений (научные центры, лаборатории и другие).

Созданию конкурентоспособной наукоемкой продукции способствует публикационная активность ГНЦ. Так, число публикаций организаций, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования, в целом по ГНЦ составляет более 5,5 тыс. единиц. Наиболее популярными системами научного цитирования являются (рисунк 6) Web of Science (51,0%) и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) (23,4%).

Кандидаты и доктора наук

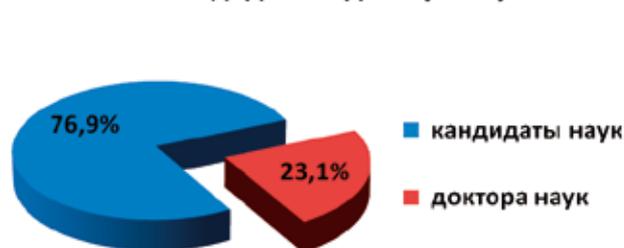


Рис. 3.

Численность аспирантов и докторантов

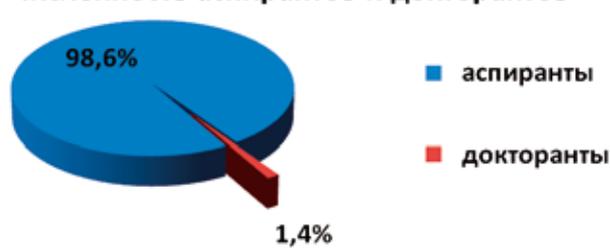


Рис. 4.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Анализ представленных данных по совокупной цитируемости публикаций ГНЦ, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования, показал, что около 80% приходится на систему Российский индекс научного цитирования. Оставшиеся 20% примерно поровну распределяется на системы Web of Science (11,5%) и Scopus (9,5%) (рисунк 7).

Проведенный анализ деятельности ГНЦ выявил ряд нерешенных проблем:

- перспективы развития ГНЦ не могут быть реальными без их стабильной государственной поддержки;
- текучесть кадров, прежде всего – молодых специалистов-исследователей;
- утрата преемственности, старение научных кадров;
- отсутствие механизма внедрения исследований и разработок, слабая заинтересованность рынка в инновационной отечественной продукции, продолжается ориентирование на зарубежных поставщиков;
- выполнение фундаментальных и поиско-

Количество защищенных диссертационных работ

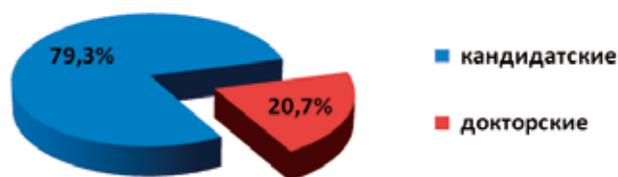


Рис. 5.

вых работ все менее обеспечены финансированием, в связи с чем выполнение поисковых и фундаментальных работ сокращается, знания и опыт уникальных специалистов не востребованы, что может привести к исчерпанию научно-го задела;

- физический износ (на грани критического) и моральная устарелость технического оснащения опытно-экспериментальной и производственной баз.

Соотношение цитируемости в системах Web of Science, Scopus и РИНЦ

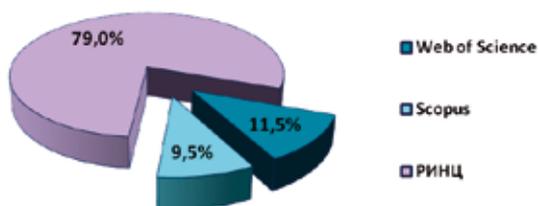


Рис. 6.

Число публикаций организаций, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования

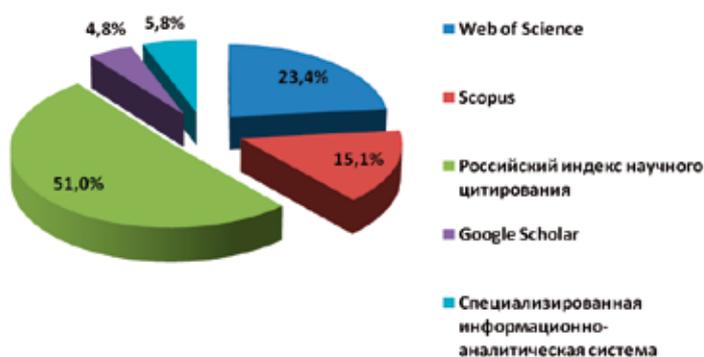


Рис. 7.

Литература

1. Указ Президента РФ от 22.06.1993 №939 «О государственных научных центрах Российской Федерации».
2. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Современная интегрированная система непрерывного образования как основа эффективного воспроизводства кадров для устойчивого инновационного развития // Известия Института инженерной физики, 2012. №2(24). С. 66-73.

3. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Интегрированная система непрерывного образования: направления интеграции и технология реализации // Известия Института инженерной физики, 2014. №3(32). С. 85-88.
4. Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н., Мелихов В.О. Аналитический обзор деятельности научно-образовательных центров национальной нанотехнологической сети // Российские нанотехнологии, 2011. Т. 6. №3-4. С. 8-12.

УДК 37.0

СОЦИОКУЛЬТУРНАЯ СРЕДА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СОЦИАЛИЗАЦИЮ И ВОСПИТАНИЕ В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ

Марианна Игоревна Седова

аспирант РГСУ (Москва)

преподаватель
филиала РГСУ (Серпухов)

Адрес: 142200, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Ворошилова, д. 137
Тел.: +7(925)704-77-57

E-mail: sedova_marianna@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы влияния социокультурной среды образовательного учреждения на обучение и воспитание подрастающего поколения. Анализируются социально-педагогические возможности, которые формирует социокультурная среда для обучения и воспитания учащихся. Исследуются и описываются факторы, влияющие на воспитание и развитие подрастающего поколения, а также в условиях социокультурной среды образовательного учреждения рассматриваются компоненты, оказывающие существенное влияние на обучение и воспитание учащихся.

The article examines the impact of socio-cultural environment of educational institutions for training and education of the younger generation. Analyses socio-pedagogical opportunities that forms the socio-cultural environment for the training and education of students. Explores and describes factors affecting the upbringing and development of the younger generation, but also in terms of socio-cultural environment of the educational institution are considered components have a significant impact on training and education of students.

Ключевые слова: социокультурная среда образовательного учреждения, педагогическая деятельность, воспитание и развитие подрастающего поколения.

Keywords: socio-cultural environment of the educational institution, teaching activities, education and development of the younger generation.

Среда несет в себе значительный развивающий и воспитательный потенциал с определенными направленностью и интенсивностью [8]. Ее влияние особенно велико и может носить как позитивный, так и негативный характер. Из истории педагогики о влиянии среды на воспитание человека известно достаточно давно. Так, например, И.-Г.Песталоцци в работе «Как Гертруда учит своих детей» обращал внимание на необходимость учета индивидуальных особенностей учащегося и своеобразие среды, в которой ему в последующем предстоит жить и трудиться. В процессе воспитания его готовят к своеобразию этой социокультурной среды. В работе «Лебединая песня» автор обращал внимание на необходимость развития природных сил личности в связи с социальной средой, под которой понимал прежде всего семью и установленные в обществе социальные отношения. Последовате-

ли И.-Г.Песталоцци продолжили развитие идей социальной педагогики и необходимости учета факторов среды в воспитании подрастающего поколения [9].

Понятие «педагогика среды» введено Шацким С.Т. Под педагогикой среды понимается теория и практика изучения педагогической организации социальной среды, окружающей индивида, выступающей объектом целенаправленного влияния общества, государства, их институтов и органов; проявлений среды как субъекта воспитания, располагающего существенными воспитательными потенциалами и каналами, способами, методами их практической реализации. На воспитание и развитие влияние оказывает не среда жизнедеятельности вообще, а конкретные **факторы**. Ими являются:

- Своеобразие социокультурной среды. Она должна нести позитивный смысл и быть соци-

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

окультурным феноменом, позволяющим передавать и развивать культуру подрастающего поколения. Своеобразие социокультурной среды жизнедеятельности и воспитания определяет нравственные ценности, нормы и правила поведения. Оно может как формировать действительно богатую личность, несущую в себе культуру, востребованную средой, так и деформировать человека, создавая то своеобразие, с которым общество борется в прямом и переносном смысле, старается изжить, исправить, перевоспитать.

- **Обстановка**, в которой находятся подростки, прежде всего характеризует тот микроклимат и отношения, которые окружают его, оценочные суждения, непосредственные примеры поведения и деятельности. Она интересна и создает фон, на котором осуществляется воспитание, а также выступает ретранслятором общей социокультурной среды. Это, собственно, детская среда, коллектив сверстников, в котором проводит время индивид, со всеми его социально-педагогическими возможностями. В нем подросток проявляется и активно впитывает все то, что определит его своеобразие.

- **Характер взаимоотношений** подростков, через которые они усваивают нормы и правила поведения, формируют отношения к тому, что их окружает.

- **Преимущественная деятельность** в этой среде, существенно сказывающаяся на их развитии и воспитание. Деятельность выступает одним из важнейших источников развития. К видам деятельности относятся учеба, труд. Каждый из них имеет свои социально-педагогические перспективы.

- **Взрослые**, как соучастники среды, их пример для подражания. Они дают пример для подражания, определенную культуру отношений, образ жизни и поведения. Как правило, у молодого поколения авторитетом пользуются те взрослые, кто хорошо понимают подростковую среду.

Таковы общие факторы среды, влияющие на воспитание человека, но субъектами социальной и социокультурной среды являются общество, государство, семья, религия, наука, средства массовой информации, различные социальные институты и др. Определяющим субъектом социокультурной среды воспитания, обучения и развития является семья – «это социокультурный феномен, играющий особую роль в социализации, социальной подготовке подрастающего поколения к жизни в обществе. В ней человек формируется как личность, перенимая культуру этой семьи и через нее общества (среды жизне-

деятельности)» [8]. Однако объектом нашего исследования является социокультурная среда образовательного учреждения. Здесь происходит социализация подростков и формирование их как личности. Социокультурная среда образовательного учреждения выступает важной составной частью жизни и становления подрастающего поколения.

Общеобразовательное учреждение – основное звено системы непрерывного образования. Оно представляет всем гражданам Российской Федерации возможность реализовать гарантированное государством право на получение бесплатного общего образования в пределах Федеральных государственных образовательных стандартов. Основными типами образовательного учреждения являются: образовательное учреждение (школа) и профессиональное образовательное учреждение (вуз, колледж, профессионально-техническое училище). Самым распространенным типом образовательного учреждения является школа, которая в концепции А.В. Мудрика рассматривается как воспитательная организация, воспитательная система, элемент воспитательного пространства [9].

Школа представляет собой социокультурный феномен, социальный институт и живой саморазвивающийся организм с присущими ему внутренними противоречиями, как целостная воспитательная организация, аккумулирующая и активно использующая основные механизмы социализации и воспитания и взаимодействующая с человеком на протяжении самого ответственного периода его жизни – детства. В современных условиях понятие «школа» используется в нескольких значениях [10]:

- школа как социокультурное явление, жизненный процесс, постоянное самоизменение и постижения себя и мира;

- школа как социальный институт, в процессе функционирования которого осуществляется образование;

- школа как искусственная социальная организация, звено общественно-государственной системы [10].

Необходимо отметить, что социокультурная среда общеобразовательной школы является необходимым условием и фактором в системе подготовки подрастающего поколения к самостоятельной жизни. В общенаучном смысле социокультурную среду следует понимать как некую составляющую бытия, доступную для восприятия, в которой субъекты в процессе жизнедеятельности имеют возможность удовлетворять свои потребности в образовании, расширять способы познания мира, развивать личностные

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

качества. В широком смысле – это особенности образовательного учреждения в целом, его преподавательского состава, богатство традиций и культура отношений в нем, возможности в предоставлении качественного образования, материальная база и информационные возможности для самостоятельной работы обучающихся. В узком – особенности непосредственной среды обучения (аудиторий, центров), профессиональной подготовленности и педагогической культуры педагогического состава, его менталитета, сложившихся традиций обучения, взаимоотношений («обучающий – обучаемый»).

Таким образом, для образовательного учреждения определяющим будет «образовательная социокультурная среда». Многие исследователи (А.В. Мудрик, Л.В. Мардахаев, Н.Е. Шуркова, Е.В. Бондаревская) под образовательной социокультурной средой понимают систему ключевых факторов, определяющих образование и развитие человека. В эту систему входят люди, которые влияют на образовательные процессы; общественно-политический строй страны; природная и социокультурная среда (включая культуру педагогической среды); средства массовой информации; случайные события.

Нам представляется, что в условиях социокультурной среды образовательного учреждения можно выделить следующие **компоненты**, оказывают существенное влияние на обучение и воспитание учащихся.

Во-первых, пространственно-семантический компонент: архитектурно-эстетическая организация жизненного пространства (архитектура здания и дизайн интерьеров, пространственная структура учебных и рекреационных помещений, возможность пространственной трансформации помещений при возникающей необходимости); символическое пространство (различные символы – герб, гимн, традиции).

Во-вторых, содержательно-методический компонент: содержательная сфера (концепции обучения и воспитания, образовательные и учебные программы, учебный план, учебники и учебные пособия); формы и методы организации образования (формы организации занятий – уроки, дискуссии, конференции, экскурсии, исследовательские общества, структуры самоуправления).

В-третьих, коммуникационно-организационный компонент: особенности субъектов образовательной среды (распределение статусов и ролей, половозрастные и национальные особенности обучающихся и педагогов, их ценности, установки, стереотипы); коммуникационная сфера (стиль общения и преподавания, простран-

ственная и социальная плотность среди субъектов образования, степень скученности); организационные условия (особенности управленческой культуры, наличие творческих объединений преподавателей, инициативных групп).

Социально-педагогические возможности социокультурной среды определяются:

1) опосредованным характером воспитательного и образовательного воздействия и способностью среды к саморазвитию;

2) социально-ролевой универсальностью ролевых проявлений, демократичностью и творческим характером общения ее участников, позволяющим преодолевать социально-психологические барьеры и создавать коммуникативные линии диалога;

3) взаимодополнением технологических и личностных ресурсов педагогического коллектива, субъекты которого консолидированы идеей организации оптимальной среды жизнедеятельности;

4) востребованностью креативно-досуговой деятельности, способной обеспечивать признание социальной значимости личностных инициатив, выходящих за рамки учебно-образовательных функций;

5) проявление эффекта резонансного взаимодействия элементов социокультурной среды, усиливающего совокупный результат педагогических усилий и обеспечивающего их кумулятивный эффект.

Однако исследования показывают, что социокультурная среда образовательного учреждения по форме включает определенные компоненты (микросферы), которые уже обладают конкретными социально-педагогическими возможностями в воспитании и обучении учащихся подросткового возраста. Этими компонентами являются:

- культура среды образовательной деятельности;

- культура администрации, педагогического коллектива;

- культура родительского сообщества, его взаимодействия с административно-педагогическим сообществом образовательного учреждения.

Каждый из названных компонентов (микросред) имеет свое социокультурное назначение, ценность и носит самодостаточный характер.

Во-первых, культурный потенциал преподавателя заложен в его внешнем виде, поведении (общей культуре), речи, отношении к обучаемым, самому себе, своей профессиональной деятельности, тому предмету, который он читает (профессиональной культуре), а также ма-

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

стерстве педагогической деятельности (педагогической культуре). Этот социально-педагогический инструментарий преподавателя обеспечивает его влияние на формирование личности и гражданина в условиях социокультурной среды.

Во-вторых, образовательно-воспитательная (педагогическая) среда преподавателя. Преимущественно это учебный класс (группа), в котором он проводит занятия и где он, используя различные методы и методики, средства и приемы, управляет познавательной деятельностью, добываясь качества обучения. Много значит для учащихся подросткового возраста оформление учебного класса, наличие в нем наглядных пособий, стендов с описанием опыта самостоятельной работы отдельных учащихся, фотографии учеников на различных мероприятиях.

В-третьих, управляемая преподавателем педагогическая среда, которая является средой учебного класса и в которой индивидуальный стиль педагогической деятельности преподавателя обеспечивает развитие интереса к учебному материалу, мотивацию и активизацию познавательной деятельности учащихся подросткового возраста. В этой среде управления познавательной деятельностью обучаемых **преподаватель** реализует себя как личность, передавая свои знания и умения, культуру, формируя личность будущего гражданина с учетом его (подростка) индивидуальных особенностей и предрасположенностей.

В-четвертых, фактором средового влияния на обучения и воспитание учащихся подросткового возраста будет **общий стиль педагогической деятельности и стиль решения преподавателем типичных педагогических задач**. Все это характеризует индивидуальность преподавателя. Индивидуальный стиль педагогической

деятельности преподавателя – это прежде всего сама личность преподавателя с ее индивидуальностью, неповторимостью и оригинальностью. Применяя методы, средства и приемы новых методик обучения и воспитания, преподаватель усиливает свое воздействие на учащихся подросткового возраста, формируя у них чувство уважения к педагогу и его профессиональному труду. Индивидуальный стиль педагога проявляется во владении и специфике реализации в повседневной педагогической деятельности.

Таковы конкретные социально-педагогические возможности, которые формирует социокультурная среда для обучения и воспитания учащихся и которые следует использовать в работе с подростками.

Литература

1. Басов Н.Ф., Басова В.М., Кравченко А.Н. История социальной педагогики. М.: Академия, 2008. 256 с.
2. Беляева Л.А. Философия воспитания как основа педагогической деятельности. Екатеринбург, 1993.
3. Василькова Ю.В. Социальная педагогика: учеб. пособие. М.: Академия, 2009.
4. Галагузов А.Н., Галагузова М.А., Ларионова И.А. Социально-педагогические задачи: учеб. пособие. М.: ВЛАДОС, 2008. 191 с.
5. Зимняя И.А. Педагогическая психология: Учебник для вузов. М.: Логос, 2002. 384 с.
6. Кащенко В.П. Педагогическая коррекция: учеб. пособие. М.: Академия, 2006. 304 с.
7. Мардахаев Л.В. Молодежные субкультуры и их влияние на подрастающее поколение // Актуальные проблемы социальной педагогики: теории и практики: матер, соц.-пед. чтений Института соц. работы, социол. и псих., 27 марта 2009 г. М.: РГСУ, 2009.
8. Мардахаев Л.В. Социальная педагогика. Полный курс: учебник. М.: Юрайт, 2011.
9. Мудрик А.В. Социальная педагогика. М.: Академия, 2009.
10. Шакурова М.В. Социальное воспитание в школе: учеб. пособие. М.: Академия, 2004.

УДК 37.012

МЕТОДИКА ИТЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЕМ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА НАУКИ

Елена Дмитриевна Володина

начальник отдела

ФГБНУ «Госметодцентр»

Адрес: 117998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51

Тел.: +7(499)706-81-26



В статье рассматривается методика итеративного управления формированием в высшей школе кадрового потенциала науки (КПН), позволяющая управлять процессом формирования КПН путем воздействия на объект управления, а также прогнозировать количественные характеристики воспроизводства в вузе КПН.

The article describes the method of iterative management of the formation of personnel potential of science in high school. The method makes it possible to manage the process of formation of the personnel potential of science by acting on management object, as well as to predict the quantitative characteristics of reproduction of personnel potential of science in high school.

Ключевые слова: кадровый потенциал науки, итеративное управление, марковские цепи.

Keywords: personnel potential of science, iterative management, Markov chains.

В основу приоритетных задач социально-экономического развития России и обеспечения национальной и экономической безопасности страны положено создание экономики знаний, одним из основных ресурсов которой является кадровый потенциал науки (КПН), под которым понимается обобщенная качественная характеристика кадровых ресурсов науки, выражаемая в степени профессиональной и квалификационной пригодности людей к выполнению высокоинтеллектуальной работы, наделенных соответствующей профессиональной подготовкой, научно-исследовательскими компетенциями, навыками в научном труде и личными способностями.

Почти двадцать лет продолжалось сокращение численности кадров в науке при ухудшении их возрастной структуры, нарушении профессиональной и возрастной преемственности, низком уровне оплаты труда ученых, широком распространении их вторичной занятости. Ухудшение социального положения исследователей, снижение престижа научного труда обусловили существенное сокращение притока выпускников вузов в сферу науки и отток из нее молодых

специалистов. Эти тенденции ускорили процесс старения и сокращения научных кадров. Указанными проблемами обеспокоены и научная общественность, и государственные органы власти России, перед которыми поставлена задача по разработке и реализации мер, направленных на привлечение и закрепление молодежи в науке, сохранение и развитие кадрового потенциала науки КПН.

Процесс формирования КПН является определяющей стадией его воспроизводства. Решение задачи обеспечения притока в науку молодых исследователей возлагается на вузы, где в процессе обучения у студентов формируются научно-исследовательские компетенции, определенные федеральными государственными образовательными стандартами. На формирование научно-исследовательских компетенций студентов главенствующее влияние оказывает научно-исследовательская работа студентов (НИРС). От качества и объема выполнения исследовательских работ зависит уровень научно-исследовательских компетенций, приобретенных студентами. Невыполнение индивидуального плана НИРС может привести как к недостаточности

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

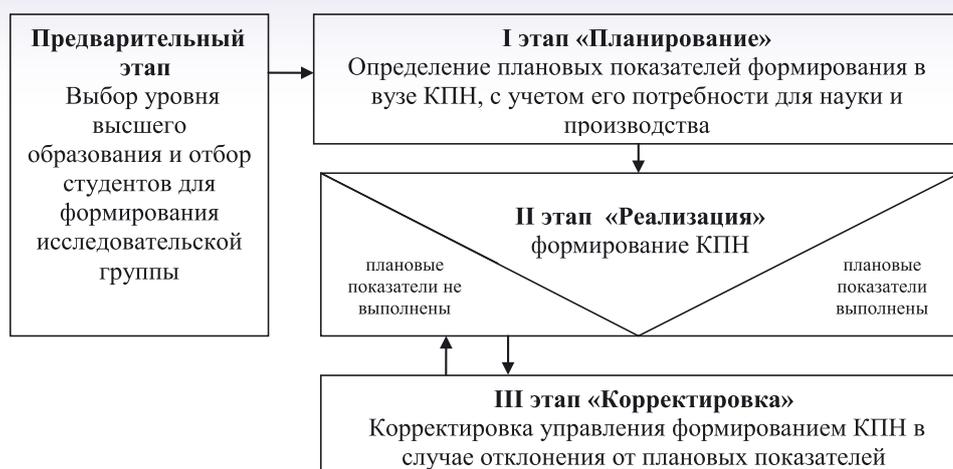


Рис. 1. Этапы методики итеративного управления формированием в вузе кадрового потенциала науки

привития исследовательских компетенций, так и к необеспеченности требуемого пополнения КПН. Поэтому в процессе обучения студентов необходимо принимать обоснованные управленческие решения для достижения поставленных задач по формированию КПН.

На основе моделей и алгоритмов итеративного управления формированием КПН [1-5] разработана методика, суть которой заключается в определении механизма планирования формирования КПН, его текущей оценке, а также корректирующего воздействия в случае его отклонения от плановых значений. Методика управления включает четыре этапа, одинаковые для всех уровней высшего образования (рисунки 1).

Предварительный этап

Производится выбор модели в соответствии с рассматриваемым уровнем высшего образования: бакалавриат, специалитет, магистратура, аспирантура. Далее производится отбор студентов для формирования исследовательской группы (ИГ). Для бакалавриата и специалитета ИГ формируется из студентов, окончивших 1 курс обучения со средним баллом успеваемости не ниже «4» и проявившими склонность к научной деятельности. Для магистратуры и аспирантуры ИГ формируется из студентов, поступивших на 1 курс обучения, проявивших склонность к научной деятельности и имеющих средний балл успеваемости по итогам окончания предыдущего уровня обучения не ниже «4».

I этап. «Планирование»

Суть его заключается в формировании исследовательской группы, разработке плана НИРС

с разбивкой по курсам и определении основных плановых показателей:

n_k – количество исследовательских работ, которое необходимо выполнить студентам ИГ на k -ом курсе;

x_k – объем работ, который необходимо выполнить студентам ИГ;

$y_k^{треб}$ – уровень научно-исследовательских компетенций, который студентам требуется достичь на k -ом курсе;

N – количество студентов, необходимое для формирования, чтобы на выходе обучения обеспечить требуемые параметры подготовки кадрового потенциала науки – $N_{треб}$.

Для студентов ИГ формируется план НИРС на весь период обучения с разбивкой по курсам. Для его формирования экспертным путем были разработана таблица весовых коэффициентов и стоимости форм исследовательских работ (таблица 1), а так же таблица соответствия сложности исследовательских работ курсам обучения студентов (таблица 2).

1. С помощью таблицы 2 для каждого курса определяется n_k – количество исследовательских работ, которое необходимо выполнить студентам ИГ на k -ом курсе.

2. С использованием таблицы 1 по формуле (1) определяется x_k – приведенный объем ИР, который должен выполнить студент ИГ на каждом курсе:

$$x_k = \sum_{i=1}^I w_i n_i, \quad (1)$$

где w_i – весовой коэффициент i -ой работы на k -ом курсе;

n_i – количество i -ых работы на k -ом курсе.

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Таблица 1

Весовые коэффициенты и стоимость форм исследовательских работ, определенные экспертным путем (фрагмент)

№	Наименование исследовательской работы	весовой к-т, w_i	Средняя стоимость работ, тыс. руб.
1	Доклад на вузовском студенческом научном мероприятии	0,005	0,5
2	Доклад на региональном студенческом научном мероприятии	0,007	3
3	Доклад на научном студенческом мероприятии (семинар, конференция, выставка и др.), отмеченный диплом/ грамотой	0,011	1
4	Публикации по итогам участия в вузовском научном мероприятии	0,011	0,5
5	Участие в научной работе вуза (по тематическим планам, хозяйственным договорам с предприятиями-партнерами и др.), 2 курс	0,012	12
7	Научная работа, представленная на вузовском конкурсе научных работ / вузовской олимпиаде	0,015	1
6	Публикации по итогам участия в региональном научном студенческом мероприятии	0,015	1
8	Научная работа, представленная на региональном конкурсе научных работ / региональной олимпиаде	0,018	5
9	Участие в научной работе вуза (по тематическим планам, хоз. договорам, с предприятиями-партнерами и др.) 3-4 курс	0,018	14
10	Научная работа, представленная на вузовском конкурсе научных работ, отмеченная Диплом/грамотой	0,019	1
11	Доклад на всероссийском студенческом научном мероприятии	0,02	7
12	Публикации в российских изданиях по итогам участия в всероссийском научном студенческом мероприятии	0,021	1
13	Научная работа, представленная на региональном конкурсе научных работ и отмеченная медалью или дипломом	0,021	5
14	Участие в научной работе вуза (по тематическим планам, хоз. договорам, с предприятиями-партнерами и др.) 5-6 курс	0,023	16
15*	Публикация в российских изданиях по итогам участия в международном научном студенческом мероприятии	0,023	3
16*	Научная работа в рамках внутренней академической мобильности (межвузовские соглашения, стажировки, программы обмена и др.)	0,026	15
17	Научная работа, представленная на всероссийском конкурсе научных работ / всероссийской олимпиаде	0,027	10
18	Заявка, поданная на участие в российском конкурсе студенческих грантов любого фонда, (без учета – выигранная она или нет)	0,028	1

При этом учитывается ограничение на стоимость работ в текущем году $C_k \leq C_{k \text{ зад}}$. При отсутствии сведений о стоимости работ на следующих курсах обучения можно использовать значения стоимости работ на 1 курсе работы ИГ.

3. На основе моделей оценки уровня научно-исследовательских компетенций по формулам (2), (3) определяется y_k – уровень научно-исследовательских компетенций, который студенту

требуется достичь на каждом курсе, для достижения к концу обучения $y_{k \text{ треб}}$:
для студентов бакалавриата и специалитета

$$y_k = y_\infty - (y_\infty - y_0) e^{-\gamma x^k}, \quad (2)$$

для студентов магистратуры и аспирантуры

$$y_k = y_0 y_\infty / (y_0 + (y_\infty - y_0) e^{-\gamma x^k}), \quad (3)$$

где k – период (курсы) обучения студента;
 y_0 – начальный уровень научно-исследователь-

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Таблица 2
Таблица соответствия сложности исследовательских работ курсам обучения студента (фрагмент)

№	Наименование работы	Весовой коэф-т	Бакалавриат			Магистратура		Аспирантура		
			Специалитет							
			курс							
1	Доклады и тезисы выступлений на научных студенческих мероприятиях									
1.1	Доклад на вузовском студенческом научном мероприятии	0,005	26 2с	36 3с	46 4с					
1.2	Доклад на региональном студенческом научном мероприятии	0,007	26 2с	36 3с	46 4с	1м 5с				
1.3	Доклад на всероссийском студенческом научном мероприятии	0,02		36 3с	46 4с	1м 5с	2м	1а	2а	3а
1.4	Доклад на международном научном студенческом мероприятии, проводимом за рубежом (семинар, конференция, выставка и др.)	0,031			46 4с	1м 5с	2м	1а	2а	3а
2.	Научная работа, представленная на конкурсе научных работ и студенческих олимпиадах									
2.1	Научная работа, представленная на вузовском конкурсе научных работ / вузовской олимпиаде	0,015	26 2с	36 3с						
2.2	Научная работа, представленная на региональном конкурсе научных работ / региональной олимпиаде	0,018	26 2с	36 3с	46 4с					
2.3	Научная работа, представленная на всероссийском конкурсе научных работ / олимпиаде	0,027			46 4с	1м 5с	2м	1а	2а	
2.4	Научная работа, представленная на международном конкурсе научных работ / олимпиаде	0,037			46 4с	1м	2м	1а	2а	3а

ских компетенций студента (соответствующий моменту начала «научения»);

y_{∞} – конечный уровень научно-исследовательских компетенций студента;

γ – скорость роста научно-исследовательских компетенций студента;

x_k – приведенный объем работ, выполняемый студентом для приобретения компетенций на k -ом курсе обучения.

Значение $y_{k\text{ треб}}$ задается исходя из потребностей в кадровом потенциале науки отраслей экономики и научной сферы.

4. После составления плана НИРС на основе разработанных дискретных марковских моде-

лей оценки формирования кадрового потенциала науки в высшей школе определяется вероятность P_k его успешного выполнения студентами ИГ по окончании уровня обучения.

Вербально-графические модели процесса научно-исследовательской деятельности (НИД) студентов представлены на *рисунке 2*. Возможные состояния и переходы процесса приведены в *таблицах 3 и 4*.

ПОДГОТОВКА КАДРОВ



Рис. 2. Графы состояний и переходов процесса НИД студентов

По формуле (4) производится расчет вероятностей переходов p_{ij} для случая успешного выполнения плана НИРС:

$$z_k = z_\infty - (z_\infty - z_0) e^{-\gamma \cdot xk}, \quad (4)$$

и для случая неуспешного выполнения плана НИРС

$$z_{k\text{неусп.}} = 1 - z_k, \quad (5)$$

где z_0 – вероятность выполнения студентом заданного объема ИР при переходе на k -ый курс; z_∞ – максимальная вероятность выполнения студентом заданного объема ИР.

Из системы уравнений, описываемых формулой

$$P_i(k) = \sum_{j=1}^n P_j(k-1)p_{ji}, \quad (6)$$

с учетом условия нормировки

$$\sum_{i=1}^l P_i = 1 \quad (7)$$

находим P_k – вероятность успешного выполнения плана НИРС студентами ИГ по окончании уровня обучения.

5. Имея P_k вероятность успешного выполнения плана НИРС студентами ИГ по окончании уровня обучения, а также $N_{\text{треб}}$ – требуемое количество человек для пополнения КПН, можно рассчитать N – количество студентов, необходимое для формирования ИГ:

$$N = N_{\text{треб}} / P_k \quad (8)$$

II этап. «Реализация»

Суть его заключается в выполнении плана НИРС на текущем курсе и оценке выполнения после окончания текущего курса. Если работы студентом выполнены в полном объеме, то он продолжает реализацию плана на следующем курсе обучения. Если реализация плана НИРС

Таблица 3

Состояния процесса НИД для различных уровней высшего образования

Описание состояния	Номер состояния			
	бакалавриат	специалитет	магистратура	аспирантура
студент обучается на 1 курсе и выполняет заданный объем ИР	-	-	1	1
студент обучается на 2 курсе и выполняет заданный объем ИР	1	1	2	2
студент обучается на 3 курсе и выполняет заданный объем ИР	2	2	-	3
студент обучается на 4 курсе и выполняет заданный объем ИР	3	3	-	-
студент обучается на 5 курсе и выполняет заданный объем ИР	-	4	-	-
студент закончил обучение, выполнив заданный объем ИР	4	5	3	4
студент не выполнил требуемый объем ИР	5	6	4	5

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Таблица 4

Возможные переходы состояний процесса НИД для различных уровней высшего образования

Физическая сущность перехода	Номер перехода			
	Б*	С*	М*	А*
Студент, выполнив заданный объем ИР на 1 курсе, переходит на 2 курс	-	-	1-2	1-2
Студент, выполнив заданный объем ИР на 2 курсе, переходит на 3 курс	1-2	1-2	-	2-3
Студент, выполнив заданный объем ИР на 3 курсе, переходит на 4 курс	2-3	2-3	-	-
Студент, выполнив заданный объем ИР на 4 курсе, переходит на 5 курс	-	3-4	-	-
Студент, выполнив заданный объем ИР на 2 курсе магистратуры, заканчивает обучение в магистратуре	-	-	2-3	-
Студент, выполнив заданный объем ИР на 3 курсе аспирантуры, заканчивает обучение в аспирантуре	-	-	-	3-4
Студент, выполнив заданный объем ИР на 4 курсе бакалавриата, заканчивает обучение в бакалавриате	3-4	-	-	-
Студент, выполнив заданный объем ИР на 5 курсе специалитета, заканчивает обучение в специалитете	-	4-5	-	-
Студент, не выполнив заданный объем ИР на 1 курсе, переходит на 2 курс	-	-	1-4	1-5
Студент, не выполнив заданный объем ИР на 2 курсе, переходит на 3 курс	1-5	1-6	-	2-5
Студент, не выполнив заданный объем ИР на 3 курсе переходит на 4 курс	2-5	2-6	-	-
Студент, не выполнив заданный объем ИР на 4 курсе переходит на 5 курс	-	3-6	-	-
Студент, не выполнив заданный объем ИР, заканчивает обучение	3-5	4-6	2-4	3-5

* Б – бакалавриат, С – специалитет, М – магистратура, А – аспирантурв

прошла неуспешно, то на следующем курсе обучения требуется его корректировка.

В конце учебного года (курса) проводится проверка выполнения студентами ИГ плана НИРС. Для этого осуществляется сравнение n_k – количества исследовательских работ, которое необходимо выполнить студентам ИГ по плану НИРС с $n_{k \text{ факт.}}$ – количеством работ, фактически выполненных. Если количество работ, выполненных студентом ИГ, больше либо равно плановому $n_{k \text{ факт.}} \geq n_k$, то реализация плана НИРС проходит успешно, и студенты продолжают реализацию первоначального плана на следующем курсе обучения. Если студент не сумел выполнить требуемое количество работ $n_{k \text{ факт.}} < n_k$, то реализация плана прошла неуспешно, и в следующем году (курсе) обучения требуется его корректировка.

Этап II повторяется k раз. Количество повторов зависит от выбранного уровня высшего образования, т.е. количества курсов обучения: для бакалавриата $k=3$, для специалитета $k=4$, для магистратуры $k=2$, для аспирантуры $k=3$.

III этап. «Корректировка»

Суть его заключается в том, что после того как студент ИГ в текущем году не сумел по тем или иным причинам выполнить требуемое количество исследовательских работ, план НИРС следующего года корректируется таким образом, чтобы «наверстать упущенное». Для корректировки используется правило принятия решения по выбору параметров итеративного управления формированием научно-исследовательских компетенций.

1. В начале этапа осуществляется сравнение количества фактически выполненных работ $n_{k \text{ факт.}}$ с минимальным количеством работ $n_{k \text{ мин}}$, которое должен ежегодно выполнять студент, включенный в ИГ. При этом $n_{k \text{ мин}}$ равно плановому количеству исследовательских работ в текущем году для студентов, не включенных в ИГ (контрольная группа).

Если условие $n_{k \text{ факт.}} \geq n_{k \text{ мин}}$ не выполняется, то студент не соответствует требованиям участия в ИГ и должен быть из нее исключен.

Если условие $n_{k \text{ факт.}} \geq n_{k \text{ мин}}$ выполняется, то

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Таблица 5
Плановые и фактические значения показателей x_k и y_k

Курс обучения	Плановые значения		Фактические значения		Откорректированные значения	
	Объем работ x_k	y_k	Объем работ x_k	y_k	Объем работ $x_{k\text{нов}}$	y_k
1	0,354	0,548	0,251	0,509		
2	0,329	0,653			0,434	0,653 0,664

для студента производится корректировка плана НИРС. Для этого определяется дополнительный объем исследовательских работ Dx_{k+1} и соответственно скорректированный объем $x_{k+1\text{кор}}$ на следующий учебный год.

2. Правило принятия решения при итеративном управлении формированием научно-исследовательских компетенций студентов на k -ом курсе заключается в выборе параметров итеративного управления Dx_k , которые обеспечивают минимальное положительное отклонение $y_k(k, \gamma, Dx_k)$ от $y_{k\text{треб}}$ при выполнении требований к сроку обучения $k \leq k_{\text{треб}}$ и заданной стоимости работ ($C_k(Dx_k) \leq C_{k\text{зад}}(Dx_k)$):

$$\begin{aligned} y_k(k, \gamma, Dx_k) - y_{k\text{треб}} &\rightarrow Y_{k\text{треб}}, \\ y_k(k, \gamma, Dx_k) - y_{k\text{треб}} &\geq 0, \\ k &\leq k_{\text{треб}}, \\ C_k(Dx_k) &\leq C_{k\text{зад}}(Dx_k). \end{aligned} \quad (9)$$

Величина дополнительных ИР Dx_{k+1} для курса, следующего за тем, на котором произошло отставание, определяется исходя из разности приведенных объемов работ x_k – требуемого для выполнения и $x_{k\text{факт}}$ – фактически выполненного на k курсе:

$$Dx_{k+1} = x_k - x_{k\text{факт}}. \quad (10)$$

$$x_{k+1\text{кор}} = x_{k+1} + Dx_{k+1}. \quad (11)$$

где k – курс обучения студента;
 Dx_{k+1} – дополнительный объем ИР, который необходимо выполнить студенту на $k+1$ курсе.

При этом целесообразно наращивать объем работ не только за счет их количества, но и за счет увеличения их суммарного весового коэффициента, к примеру, за счет включения ИР, выполняемых в рамках академической мобильности (АМ) как наиболее весомых (в таблице 1 отмечены *).

3. С помощью разработанных таблиц весовых коэффициентов и стоимости форм исследовательских работ определяется стоимость скорректированных работ $C_{k\text{кор}}$ (таблица 1), после чего осуществляется проверка соответствия $C_{k\text{кор}}$ плановой стоимости работ на k -ом курсе $C_{k\text{зад}}$. Если $C_{k\text{зад}} < C_{k\text{кор}}$, то выполнение работ невозможно из-за отсутствия финансирования, и студент исключается из ИГ. При условии достаточности финансирования $C_{k\text{зад}} \leq C_{k\text{кор}}$ студент может выполнить скорректированный объем исследовательских работ.

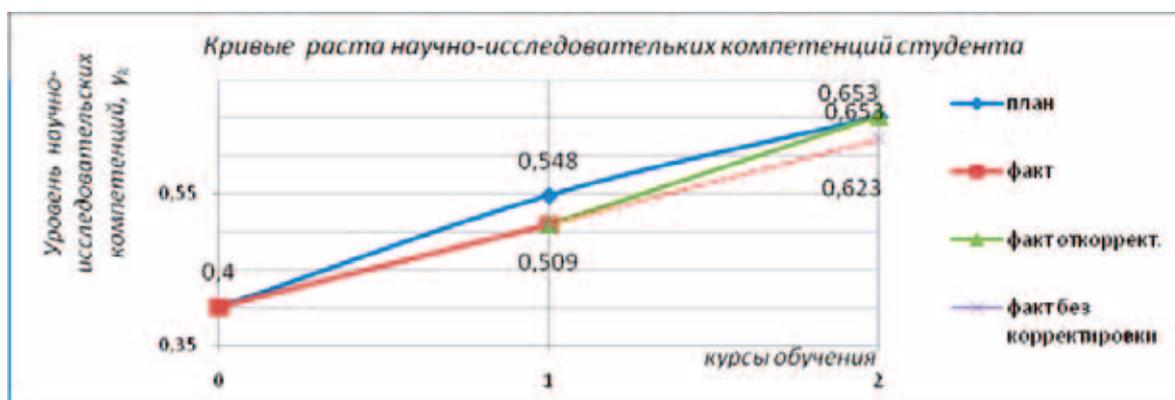


Рис. 3. График кривых роста научно-исследовательских компетенций студента

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

4. По формулам (4-8) производится корректировка вероятности успешного выполнения скорректированного плана НИРС по окончании выбранного уровня образования.

Этап III повторяется. Количество его повторений зависит от числа курсов, на которых произошло отставание от плана НИРС.

Далее повторяется II этап «Реализация» – студент приступает к выполнению скорректированного плана НИРС.

В качестве примера для студентов ИГ магистратуры разработан план НИРС и определены плановые показатели объемов работ x_k и уровней научно-исследовательских компетенций y_k . Вероятность успешного выполнения плана НИРС P_2 студентами ИГ магистратуры по окончании обучения составила 0,88. При требуемом объеме пополнения КПП $N_{\text{треб}} = 50$ чел. ИГ группа должна состоять не менее, чем из 57 человек.

На I курсе студент не выполнил необходимое количество работ n_1 . При условии достаточности финансирования $C_{2\text{зад}}$ для 2-го курса были определены значения $x_{2\text{нов}}$ (таблица 5). В результате корректировки плана НИРС достигнуто значение y_2 равное $y_{2\text{треб}}$ (рисунок 3).

Таким образом, разработанная методика итеративного управления формированием в высшей школе кадрового потенциала науки позволяет управлять процессом формирования КПП путем

воздействия на объект управления и прогнозировать его количественные характеристики.

Литература

1. Володина Е.Д., Емелин Н.М. Алгоритм принятия решения по выбору параметров итеративного управления научно-исследовательской деятельностью студентов // Транспортное дело России, 2014. №1(110). С. 195–199.

2. Володина Е.Д., Емелин Н.М. Модель роста инновационных компетенций студентов в процессе международной академической мобильности // Известия Института инженерной физики, 2014. №2(32). С. 97–101.

3. Володина Е.Д., Емелин Н.М. Дискретная марковская модель формирования научно-исследовательских компетенций студентов // Сборник трудов XXXII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем». Серпухов, 2013. №4. С. 56–70.

4. Володина Е.Д. Алгоритм планирования научно-исследовательской деятельности студентов // Сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции «Современное непрерывное образование и инновационное развитие». Серпухов, 2014.

5. Володина Е.Д. Модели итеративного управления формированием научного потенциала в высшей школе. Сборник трудов XXXIII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем». Серпухов, 2014.



AUTHORS

Alexey I. Alatortsev. Cand.Tech.Sci., senior scientist. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Fizuli K. Aliev. Ph.D. Chief scientist. Military Science Committee Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow.

Al-Jaberi Ramzy Khamid. Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Ali Abbas Mohsin Ali. Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Oleg N. Andruh. Cand.Tech.Sci., associate professor. Vice-president IPO "IEP". Director of the branch of Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Albina S. Beliaeva. Associate professor. Ufa State University of Economics and Service. Ufa, Chernyshevskogo st., 145.

Ekaterina G. Bogatkina. Engineer. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Andrey M. Borodin. TVP publishing. Moscow.

Alexander E. Cheprunov. Cand.Tech.Sci., senior scientist. Honoured devisor of Russia. 12-th Central research institute of the Ministry of defence of Russian Federation. Moscow reg., Sergiev Posad-7.

Dmitriy B. Eriomin. Lecturer. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Alexander P. Galkin. Dr.Sci.Tech., professor, head of Department. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Yuriy V. Girin. Cand.Tech.Sci., senior scientist. Senior testing engineer. 12-th Central research institute of the Russian Ministry of defence. Moscow reg., Sergiev Posad-7.

Anatoliy V. Guliaev. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Igor L. Iosilevskiy. Ph.D. Senior scientist. Joint Institute for high temperatures of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Izhorskaya st., 13-2.

Konstantin V. Kapel'ko. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow, Kitaygorodskiy d., 9.

Sergey A. Konnov. Lecturer. Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow, Kitaygorodskiy d., 9.

Alexey A. Korobkov. Cand.Tech.Sci., associate professor. Senior scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Maxim S. Kovaliov. Scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Inna A. Martynova. Undergraduate. Moscow Institute of physics and technology (State university). Moscow reg., Dolgoprudnyu, Moskovskoye h., 25-4.

Evgeniy A. Matveev. Director. Scientific and technical enterprise "Kriptosoft". Penza, Lermontova st., 3.

Alexander O. Nazarov. Kazan National Research Technical University. Kazan, Karl Marx st., 10.

Oleg R. Nikitin. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor, head of Department. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Obadi Hesam Mohhamed Ali. Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Afanasiy V. Ostriuk. Dr.Sci.Tech., professor. Institute of problems of chemical physics of the Russian academy of sciences. Moscow reg., Chernogolovka, Akademika Semionova av., 1.



AUTHORS

Andrey V. Panteleev. Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor. Moscow aviation institute. Moscow, Volokolamskoye h., 4.

Valeriy G. Rau. Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Tamara F. Rau. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Daria A. Rodionova. Student. Moscow aviation institute. Moscow, Volokolamskoye h., 4.

Marianna I. Sedova. Postgraduate student. Lecturer. Branch of Russian State Social University. Moscow reg., Serpukhov, Voroshilova st., 137.

Igor A. Sheremet. Dr.Sci.Tech, professor. Military-Industrial Commission of Russia. Moscow.

Anna S. Sidorova. Jr. scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Denis Y. Sorokin. Scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu 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 Udarnyu l., 1a.

Yuriy A. Sytنيak. Cand.Tech.Sci. Head of Analytical Department FSBSI "GOSMETODCENTR", Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Dmitriy A. Tokarev. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Alexey N. Tzarkov. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. President of IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Irina V. Tsvetkova. Jr. scientist. Analytical 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.



МИНИСТР ОБОРОНЫ ОЦЕНИЛ ИННОВАЦИИ МОУ «ИИФ»

Институт инженерной физики стал официальным партнером и активным участником Второй специализированной международной выставки «Дни инноваций Министерства обороны Российской Федерации».

В этом году Дни инноваций были организованы как цикл мероприятий инновационной тематики для профессиональной аудитории с целью демонстрации разработчиками и производителями перспективных идей и разработок науки и промышленности руководящему составу Министерства обороны и Вооруженных сил РФ с их последующим анализом и выработкой комплекса мер по внедрению наиболее удачных решений в деятельность Минобороны России. В выставке приняли участие более 250 организаций: государственные корпорации, предприятия оборонно-промышленного комплекса России, ведущие научно-исследовательские институты, гражданские и военные высшие учебные заведения, а также отечественные и зарубежные разработчики, производители вооружения, военной техники и технологий двойного и специального назначения.

Экспозиции МОУ «ИИФ» были представлены и в закрытом (с ограниченным доступом), и в открытом павильонах выставки. Министр обороны генерал армии С.К. Шойгу посетил экспозицию Института инженерной физики. Президент – Председатель правления МОУ «ИИФ» А.Н. Царьков доложил С.К. Шойгу о результатах проделанной работы в рамках данных ранее министром обороны поручений. В частности, это разработки в области модернизации стрелкового оружия: системы обвеса автоматов Калашникова и модернизированный вариант пулемета «Печенег». По поручению министра обороны испытания модернизированного стрелкового оружия пройдут осенью этого года.

Главе военного ведомства и его заместителям были продемонстрированы разработки в области совершенствования экипировки водолазного и сухопутного снаряжения, оснащенные системами локального обогрева. Сотрудники Института инженерной физики, экипированные в специализированные костюмы, показали принцип их работы. Разработанная учеными

МОУ «ИИФ» экипировка, названная «В Арктике, как дома», позволяет сохранять заданную температуру тела в любых погодных условиях на суше и под водой.

Ученые Института презентовали результаты работы в области навигационных технологий. В частности, доложили о ходе работ по внедрению автоматической системы определения астрономического азимута (оптико-электронный астроизмеритель) в воинских частях. Эта система, разработанная учеными МОУ «ИИФ» и ОАО «Концерн ЦНИ «Электроприбор» (Санкт-Петербург), была принята на снабжение Вооруженных сил РФ по приказу министра обороны.



В открытой экспозиции МОУ «ИИФ» представил инновационные, не имеющие аналогов разработки в области вооружения, военной техники, средств защиты, навигации, связи, интернет-технологий, видеонаблюдения, охранных систем, защиты информации, аттестации объектов информатизации и другие.

Экспозицию Института посетили руководители военных и гражданских ведомств, оборонных предприятий, ученые, конструкторы, изобретатели, потенциальные заказчики и партнеры – всего более трех тысяч человек.

За активное участие в выставочных проектах Министерства обороны РФ Институт был удостоен диплома I степени. Медалями Министерства обороны были награждены Вице-президент Института А.Г. Мурашов и начальник управления энергетических систем и комплексов С.В. Мартынов. Институту инженерной физики был вручен Знак министра обороны «За заслуги в области развития и внедрения инновационных технологий».

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.