

№ 1<sup>+0</sup>  
2016

[39]

# ИЗВЕСТИЯ

научно-технический журнал

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ



8 февраля

День российской науки

Проникнуть  
вглубь вещей –

Дойти  
до самой сути!



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

- 2 **А.В. Карга, Д.А. Ковальков.** Общий подход синтеза оптимальных управлений наблюдениями нестационарной многопозиционной измерительной системы на основе использования функционала обобщенной работы
- 8 **В.А. Коломбет, В.Н. Лесных, Е.В. Коломбет.** О перспективе применения фундаментальной системы утраивающихся периодов в мультимасштабных технических устройствах
- 12 **Е.С. Гресс, С.С. Крылов.** Функциональная модель автоматизированной системы статистического рейтингового оценивания качества успеваемости

### РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

- 22 **В.В. Зеленевский, А.В. Зеленевский, А.Ю. Джелаухян.** Оптимизация параметров радиолинии ОНЧ-НЧ диапазонов
- 25 **В.А. Цимбал, С.Е. Потапов, В.Е. Тоискин, Е.А. Шуточкин, И.Д. Бонкин.** Концепция применения программно-конфигурируемых сетей для управления мобильными объектами
- 31 **А. Н. Миронов, В.Ю. Пальгунов, А.А. Ковальский.** Математическая модель достижения предельного состояния антенных систем наземных станций измерительного комплекса космодрома «Плесецк»
- 37 **И.С. Топорков, А.А. Ковальский, С.Х. Зиннуров.** Модель и алгоритм управления процессом резервирования ресурса сети спутниковой связи при обслуживании разнородного нестационарного трафика
- 48 **В.А. Шевченко.** Верхняя аддитивная граница вероятности ошибки на бит для двоичных кодов в некогерентных каналах связи с метрикой с «объединением произведением» в присутствии случайной импульсной помехи и теплового шума

### ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- 55 **А.В. Панкратов, А.И. Фомин.** Особенности инженерного анализа программируемых изделий
- 59 **С.С. Неустроев, И.В. Роберт, С.Н. Рягин, А.Н. Царьков, Д.Е. Сорокин, А.А. Павлов, Д.Д. Иванов, А.А. Бурмистров.** Обнаружение ошибок устройств хранения и передачи информации
- 66 **В.Е. Петров, А. Бадилло.** Использование метода разложения решения в полиномиальный хаос для анализа неопределенности рабочих характеристик центробежного насоса
- 72 **Д.В. Смирнов, А.И. Алаторцев, А.Н. Фуров.** Способ управления беспилотным летательным аппаратом в условиях внешних воздействий средств противовоздушной обороны
- 75 **Н.М. Емелин.** Информационное обеспечение мониторинга рецензируемых научных изданий

### СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

- 79 **Е.И. Маевский.** Возможные причины острой реактогенности эмульсии перфторуглеродов. Часть 1. Перфторан.
- 88 **В.К. Курочка, А.Н. Царьков.** Современное состояние медицинской науки в РФ и ее роль в системе здравоохранения как составной части научного пространства страны

### ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

- 93 **С.В. Иванушкин.** Обоснование необходимости разработки и особенности научно-методического аппарата оценки наилучших доступных технологий для реализации международных проектов
- 98 **Е.М. Ананьев, И.А. Бугаков, И.Д. Грачёв, В.Н. Дегтярёв, О.П. Скопцов, А.Н. Царьков.** Интеллектуальные биомехатронные системы

### ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- 101 **А.Г. Попов, М.Ю.Авилов, Н.Д. Спорыхин, Е.В. Бородай.** Исследование распределения прочностных свойств по толщине стенки металла баллонов большого объема

### ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

- 105 **Н.М. Емелин, Л.Л. Талиманчук.** Методика оценки эффективности электронного обучения иностранных студентов с применением дистанционных образовательных технологий
- 108 **О.Н. Андрух, М.Г. Заводчикова, В.В. Коновалов.** Проблемы разработки и актуализации основных образовательных программ в вузе

Научно-технический журнал

**ИЗВЕСТИЯ**  
**Института инженерной физики**  
№1(39)2016

Издаётся с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

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

Главный редактор, председатель  
редакционного совета  
и редакционной коллегии

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

Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

**Юрий Александрович Романенко**  
заместитель главы администрации города  
Протвино, заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор

**Анатолий Васильевич Тодосийчук**  
заместитель руководителя аппарата Комитета  
Государственной Думы по науке  
и наукоёмким технологиям,  
почетный работник науки и техники РФ,  
доктор экономических наук, профессор

**Игорь Анатольевич Шеремет**  
заместитель директора Российского фонда  
фундаментальных исследований по науке,  
доктор технических наук, профессор

**Редакционная коллегия**

**Олег Николаевич Андрух**

кандидат технических наук, доцент

**Борис Фёдорович Безродный**  
доктор технических наук, профессор

**Сергей Борисович Беркович**

почетный геодезист РФ  
доктор технических наук, профессор

**Владимир Эрнестович Бородай**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

**Игорь Александрович Бугаков**

заслуженный изобретатель РФ,

доктор технических наук, профессор

**Александр Михайлович Вальваков**

почетный работник науки и техники РФ,  
доктор технических наук, профессор

**Вадим Геннадьевич Грибунин**

доктор технических наук

**Сергей Григорьевич Данилюк**

доктор технических наук, профессор

**Владимир Владимирович Зеленевский**

доктор технических наук, профессор

**Николай Николаевич Казаков**

член Союза писателей России

**Олег Павлович Кузнецов**

кандидат технических наук, доцент

**Александр Ильич Курянов**

доктор технических наук, профессор

**Дмитрий Геннадьевич Митрофанов**

заслуженный изобретатель РФ,

доктор технических наук, профессор

**Роман Леонидович Мусатов**

кандидат технических наук

заместитель главного редактора

**Игорь Павлович Новожилов**

выпускающий редактор

**Игорь Николаевич Оков**

доктор технических наук, профессор

**Владимир Петрович Пашинцев**

заслуженный работник высшей школы РФ,

доктор технических наук, профессор

**Валерий Николаевич Умников**

доктор технических наук, профессор

**Дмитрий Вячеславович Смирнов**

доктор технических наук, доцент

**Сергей Владимирович Смулов**

доктор технических наук, профессор

**Владимир Анатольевич Цимбал**

заслуженный деятель науки РФ,

доктор технических наук, профессор

**Сергей Николаевич Шиманов**

почетный радист РФ,

доктор технических наук, профессор

ISSN 2073-8110

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

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

Адрес редакции: 142210, Московская обл.,

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

Тел: +7(4967)35-31-93, 35-13-71

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

E-mail: [info@iifrf.ru](mailto:info@iifrf.ru)

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору  
за соблюдением законодательства в сфере массовых комму-  
никаций и охране культурного наследия. Свидетельство  
о регистрации СМИ ПИ №ФС77-26650 от 20 декабря 2006 г.

Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ».

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

Подписано в печать 29.01.2016. Дата выхода  
в свет 06.02.2016. Тираж 2000 экз. Цена свободная.

© Межрегиональное общественное учреждение  
«Институт инженерной физики» (ИИФ), 2016



**Игорь Александрович Бугаков**

Вице-президент МОУ «ИИФ»

по инновационным проектам

заслуженный изобретатель РФ

доктор технических наук, профессор

*Уважаемые коллеги!*

Почти 300 лет назад Петром I была основана Российская академия наук, день создания которой – 8 февраля 1724 года – с 1999 года отмечается как День российской науки.

Наука – основная форма познания и главный ресурс преобразования мира, эффективный способ объединения людей разных культур, важнейшее предназначение человека и увлекательнейший вид его деятельности, приносящий глубокое удовлетворение и наполняющий жизнь особым содержанием и смыслом. В современных условиях научные исследования, имеющие своим конечным результатом перспективные инновации, способны дать не только моральное, но и материальное удовлетворение, обеспечить существование и развитие научных коллективов.

ИИФ сегодня – это, прежде всего, динамично развивающаяся научная организация, в штате которой состоит более 700 сотрудников, в том числе 25 докторов и 98 кандидатов наук, 32 заслуженных деятелей и почетных работников РФ, занимающихся работами в области навигации, АСУ и связи, защиты информации, прочностных исследований и технической диагностики, перспективных механических и энергетических систем, медико-биологических исследований, хранения и обработки информации, искусственного интеллекта. В 2015 году двум научным коллективам Института присвоен статус «Ведущая научная школа ИИФ»: научному коллективу, возглавляемому начальником Управления навигационно-геодезических систем, почетным геодезистом РФ, членом Академии навигации и управления движением, д.т.н, проф. С.Б. Берковичем («Интегрированные наземные навигационно-геодезические геоинформационные комплексы с контуром оценки надежности навигационных данных») и научному коллективу, возглавляемому ведущим научным сотрудником Управления АСУ и связи, заслуженным деятелем науки РФ, академиком АИИ им. А.М. Прохорова и АИО, почетным радистом РФ, почетным членом Российского НТОРЭС им. А.С. Попова, д.т.н, проф. В.А. Цимбалом («Инновационные технологии повышения качества информационного обмена беспроводных сетей передачи данных»).

Большинство проводимых в Институте научных исследований завершаются внедрением их результатов, часть которых с использованием опытно-экспериментальной и производственной базы ИИФ доведена до серийного производства.

Будущее научной организации во многом зависит от наличия молодежи, обеспечения преемственности научных поколений. В действующих на базе Института трех вузах осуществляется качественная реализация образовательных программ, а сам Институт реализует программы аспирантуры (в ней сегодня 32 аспиранта). Распоряжением руководителя Рособнадзора от 30 декабря 2015 года в связи с изменением кодов направлений подготовки Институт получил новое приложение к свидетельству о государственной аккредитации программ аспирантуры. С 2008 года на работу в ИИФ принято 80 выпускников вузов.

Главное достояние Института – люди, профессиональные кадры, коллектив единомышленников, умеющих и желающих качественно трудиться на благо каждого и всех. Именно наше единство, чувство локтя, рвение за общее дело – основные факторы успеха ИИФ.

*С Днем российской науки!*

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 519.23

**ОБЩИЙ ПОДХОД СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ  
УПРАВЛЕНИЙ НАБЛЮДЕНИЯМИ  
НЕСТАЦИОНАРНОЙ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛА  
ОБОБЩЕННОЙ РАБОТЫ**

**THE SYNTHESIS OF OPTIMAL CONTROL  
OF OBSERVATION FOR NON STATIONARY  
MULTIPOSITION MEASURING SYSTEM USING  
FUNCTIONAL OF GENERALIZED WORKS**

**Александр Викторович Карга**

*кандидат технических наук*

заместитель начальника кафедры

ВА РВСН им. Петра Великого

(филиал в г. Серпухове)

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

ул. Бригадная, 17

Тел. +7(4967)72-19-11

**Денис Анатольевич Ковальков**

*кандидат технических наук, доцент*

начальник кафедры

ВА РВСН им. Петра Великого

(филиал в г. Серпухове)

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

ул. Бригадная, 17

Тел. +7(4967)72-19-11

## Аннотация

Предлагается использовать функционал обобщенной работы для оптимизации наблюдений. Объектом управления является фиктивная динамическая система, математическая модель которой описывается уравнением эволюции ковариационной матрицы ошибок оценивания. В качестве примера предлагается синтез линейной математической модели каналов наблюдения для нестационарной многопозиционной измерительной системы с использованием опорных фазовых траекторий. Это позволяет значительно упростить решение задачи оптимального управления измерениями параметров движения объекта наблюдения.

**Ключевые слова:** функционал обобщенной работы, оптимизация наблюдений, нестационарная многопозиционная измерительная система.

## Summary

It is proposed to use the functionality of the generalized work for the optimization of the observation. The object of control is a fictitious dynamic system. The mathematical model of this system is described by the equation of evolution of a covariance matrix of estimation errors. For example, proposed synthesis of linear mathematical model of the channel observation non stationary multiposition measuring system using the reference phase trajectories. This allows to considerably simplify the solution of the optimal control problem with measurement of motion parameters of the object of observation.

**Keywords:** functionality of the generalized work, optimization of the observation, non stationary multiposition measuring system.

Одним из наиболее эффективных способов повышения качества работы измерительных информационных систем (ИИС) является оптимизация управления режимами их функционирования. Для различных ИИС под режимами функционирования понимаются различные способы организации их работы. Например, в

многопозиционных радиолокационных системах можно перераспределять моменты зондирования объекта наблюдения (ОН) между измерительными пунктами (ИП) с точки зрения уменьшения суммарной энергии излучения при заданной точности сопровождения. В современных системах контроля технического состояния

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

сложных объектов можно оптимизировать энергетические затраты на диагностирование, перераспределяя моменты включения датчиков при заданном значении вероятности безотказной работы системы в целом. Последняя задача является особенно актуальной для контроля функционирования автономных систем.

Решение задач оптимизации управления измерительным процессом связано в первую очередь со спецификой математической модели объекта управления. Для радиолокационных измерительных информационных систем это, как правило, уравнение типа Риккати для апостериорной ковариационной матрицы ошибок фильтрации, отражающее закономерности эволюции во времени точностных характеристик вторичной обработки сигналов.

Основой для построения оптимальных законов управления измерительным процессом в реальном масштабе времени по принципу обратной связи является применение метода динамического программирования. Однако использовать общий подход динамического программирования с использованием классических функционалов качества представляется весьма затруднительным из-за нелинейного характера и высокой размерности уравнения типа Риккати. Применение функционала обобщенной работы позволяет получить аналитические выражения оптимальных управлений как для случая линейной, так и для некоторых случаев нелинейной фильтрации.

Рассмотрим в качестве объекта управления некоторую фиктивную динамическую систему, математическая модель которой описывается уравнением эволюции ковариационной матрицы ошибок оценивания

$$\begin{aligned} \frac{dK(t)}{dt} &= A(t)K(t) + K(t)A^T(t) + Q(t) - \\ &- K(t) \sum_{j=1}^m \gamma_j(t) H_j^T(t) Q_{\eta_j}^{-1}(t) H_j(t) K(t), \quad (1) \\ K(t_0) &= K_0, \quad t \in [t_0, t_k]. \end{aligned}$$

Уравнение (1) соответствует алгоритму линейной фильтрации процесса, математическая модель которого описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + F(t)\xi(t), \quad (2)$$

а наблюдение за процессом (2) описывается соотношением

$$y(x(t), t) = H_\gamma(t)x(t) + \eta(t). \quad (3)$$

В выражениях (1-3)  $x(t) \in R^n$ ,  $A(t) \in R^{n \times n}$ ,  $F(t) \in R^{n \times r}$ ,  $x(t)$  – гауссовский формирующий процесс;

$M[\xi(t)\xi^T(t-\tau)] = Q_\xi \delta(\tau)$ ,  $M[\xi(t)] = 0$ ,  $x(t) \in N\{\hat{x}_0, K_0\}$  – гауссовский вектор;  $Q(t) = F(t)Q_\xi(t)F^T(t)$ ;  $y(t) \in R^l$ ;  $H_\gamma^T = [\gamma_1^{0.5} H_1^T(t) \dots \gamma_m^{0.5} H_m^T(t)]$ ,  $H_j(t) \in R^{l \times n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ;  $h(t)$  – гауссовский шумовой процесс,  $M[h(t)h^T(t-\tau)] = Q_\eta \delta(\tau)$ ,  $M[h(t)] = 0$ ,  $Q_\eta(t)$  – диагональная матрица с элементами  $Q_{\eta_1}(t)$ ,  $Q_{\eta_2}(t), \dots, Q_{\eta_m}(t)$ , матрицы  $Q_{\eta_j}(t)$  ( $j = \overline{1, m}$ ) положительно определены,  $M[\xi(t)\eta^T(t-\tau)] = 0$ ;  $\gamma_j(t) \in R^1$  – управления,  $\gamma_j(t) \geq 0$ ,  $\forall t \in [t_0, t_k]$ ,  $j = \overline{1, m}$ .

Необходимо синтезировать закон управления  $\gamma$  фиктивной динамической системой (1), доставляющий минимум полуопределенному функционалу качества вида

$$\begin{aligned} J &= \varphi(K(t_k)) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_k} (\gamma^T(t) G^{-1} \gamma(t) + \\ &+ \gamma_{ii}^T(t) G^{-1} \gamma_{ii}(t)) dt \rightarrow \min_\gamma, \quad (4) \end{aligned}$$

где  $\varphi \in R^1$  – известная дифференцируемая функция;  $\gamma^T(t) = [\gamma_1(t) \dots \gamma_m(t)]$ ;  $G \in R^{m \times m}$  – диагональная положительно определенная матрица с элементами  $g_{ij} > 0$ .

Полуопределенность функционала качества (4) заключается в том, что он содержит неизвестное до выполнения синтеза оптимальное управление  $\gamma_{on}(t)$ . Минимизация полуопределенного функционала (4) эквивалентна минимизации классического функционала

$$J = \varphi(K(t_k)) + \int_{t_0}^{t_k} \gamma^T(t) G^{-1} \gamma(t) dt \rightarrow \min_\gamma$$

при дополнительном изопериметрическом условии

$$\int_{t_0}^{t_k} \gamma_{ii}^T(t) G^{-1} \gamma_{ii}(t) dt = C = \text{const},$$

которое может быть интерпретировано как задание некоторой обобщенной работы управления наблюдениями в оптимальной системе [1].

Таким образом, полуопределенный критерий качества (4) может рассматриваться как функционал обобщенной работы для задачи управления наблюдениями.

Данный подход позволяет синтезировать оптимальные законы управления многомерной фиктивной динамической системой в реальном масштабе времени, причем управляющие функции имеют вид конечных аналитических выражений [2]:

$$\gamma_{j \text{оп}}(K(t), t) = g_{jj} \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{\partial}{\partial K_i} \right)^T \varphi \right] \psi_{ji}(K(t), t), \quad (5)$$

где  $K_i$  –  $i$ -й столбец матрицы  $K$ ;  $\psi_{ji}(K(t), t)$  –  $i$ -й столбец матрицы  $\psi_j(K(t), t) = K(t)H_j^T(t)Q_{\eta_j}^{-1}(t)H_j(t)K(t)$ .

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

В случае нелинейной математической модели измерителя

$$y(x(t), t) = W_\gamma(x(t), t) + \eta(t), \quad (6)$$

линеаризованные уравнения фильтрации примут вид:

$$\dot{\hat{x}}(t) = A(t)\hat{x}(t) + K(t) \sum_{j=1}^m \gamma_j^{0.5}(t) \left[ \left( \frac{\partial}{\partial \hat{x}} \right) W_j^T(\hat{x}(t), t) \right] \cdot$$

$$\cdot Q_{\eta j}^{-1} [y_j(t) - \gamma_j^{0.5}(t) W_j(\hat{x}(t), t)], \quad \hat{x}(t_H) = \hat{x}_H,$$

$$\frac{dK(t)}{dt} = A(t)K(t) + K(t)A^T(t) + Q -$$

$$-K(t) \sum_{j=1}^m \gamma_j(t) \left[ \left( \frac{\partial}{\partial \hat{x}} \right) W_j^T(\hat{x}(t), t) \right] Q_{\eta j}^{-1} \cdot$$

$$\cdot \left[ \left( \frac{\partial}{\partial \hat{x}} \right) W_j^T(\hat{x}(t), t) \right]^T K(t),$$

$$K(t_H) = K_H, \quad t \in [t_H, t_K],$$

а вид оптимальной управляющей функции будет определяться соотношением [2]:

$$\tilde{\gamma}_{\text{юн}}(\hat{x}(t), K(t), t) = g_{jj} \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{\partial}{\partial K_i} \right)^T \varphi \right] \tilde{\psi}_{ji}(t), \quad (7)$$

где  $W_\gamma(x(t), t) \in R^l$  – дважды дифференцируемая функция,  $W_j(\hat{x}(t), t) \in R^{p_j}$ ,  $j = 1, m$ ;

$$W_\gamma^T(x(t), t) = [\gamma_1^{0.5}(t) W_1^T(x(t), t) \dots \gamma_m^{0.5}(t) W_m^T(x(t), t)];$$

характеристики шумового процесса  $\eta(t)$  те же, что и в (3);

$y_j(x(t), t) \in R^{p_j}$  – подвектор вектора  $y$ , соответствующий сигналу  $s_j$ ;

$\hat{x}(t)$  – оценка вектора  $x$ ;

$\tilde{\psi}_{ji}(\hat{x}(t), K(t), t)$  –  $i$ -й столбец матрицы

$$\tilde{\psi}_j(\hat{x}(t), K(t), t) = K(t) \left[ \left( \frac{\partial}{\partial \hat{x}} \right) W_j^T(\hat{x}(t), t) \right] \cdot$$

$$\cdot Q_{\eta j}^{-1} \left[ \left( \frac{\partial}{\partial \hat{x}} \right) W_j^T(\hat{x}(t), t) \right]^T K(t).$$

Управление вида (7) нелинейными наблюдениями (6), оптимальное по критерию (4), реализуется на основе принципа обратной связи и зависит как от текущих значений ковариационной матрицы ошибок оценивания  $K(t)$ , так и от текущих значений оценок фильтруемого процесса  $\hat{x}(t)$ .

Линеаризацию математической модели каналов наблюдения можно осуществить и другим способом.

Для примера рассмотрим математическую модель каналов наблюдения для конкретной нестационарной в пространстве многопозиционной измерительной системы, состоящей из  $N$  измерительных пунктов (ИП 1 ... ИП  $N$  на рисунке 1):

$$y_j(x(t), t) = \gamma_j^{0.5}(t) W_j(x(t), t) + \eta_j(t), \quad t \in [t_i, t_e], \quad (8)$$

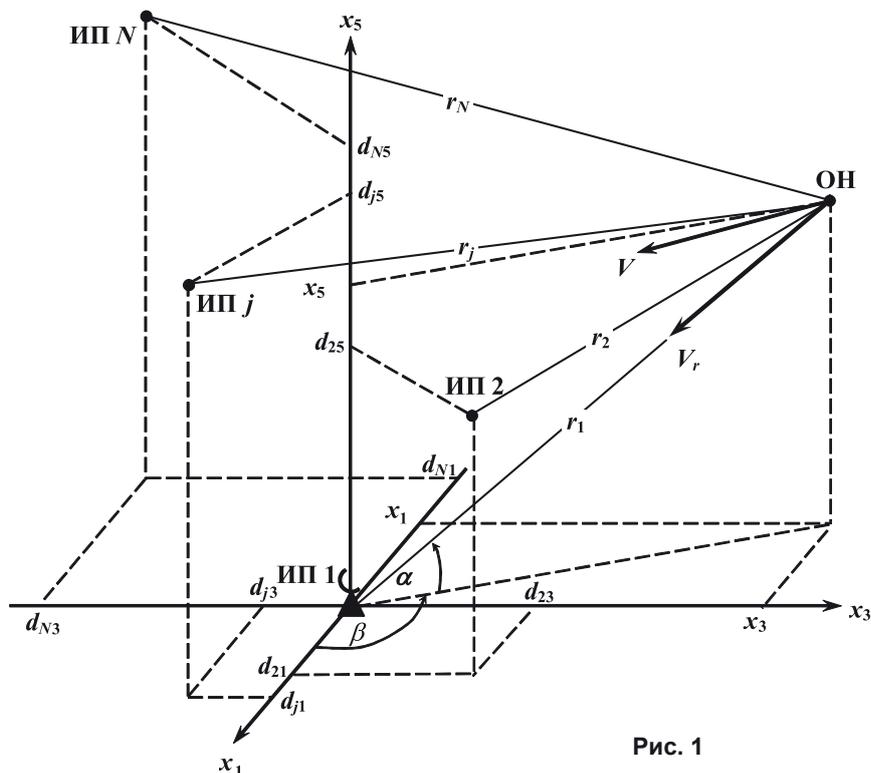


Рис. 1

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

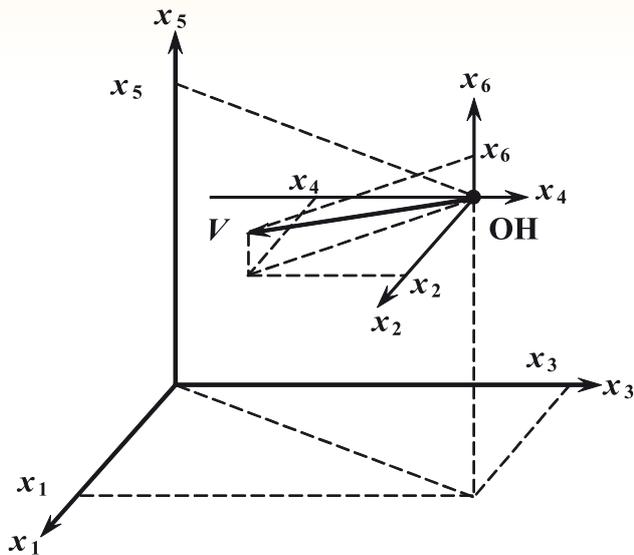


Рис. 2

где  $y_j(x(t), t) \in R^{n_j}$ ,  $n_j$  – количество наблюдаемых параметров  $j$ -м измерительным пунктом,  $n_1=4$ ,  $n_2=\dots=n_N=1$ ;

$h_j(t)$  – гауссовский шумовой процесс, у которого

$$M[\eta_j(t)(\eta_j(t-\tau))^T] = Q_{\eta_j} \delta(\tau), \quad M[\eta_j(t)] = 0,$$

$Q_{\eta_j} \geq 0$ ;  $j = \overline{1, N}$  – порядковый признак ИП;

$x(t) = [x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t), x_5(t), x_6(t)]^T$  – вектор состояния ОН (рисунк 2),

причем  $x_2(t) = \frac{dx_1(t)}{dt}$ ,  $x_4(t) = \frac{dx_3(t)}{dt}$ ,

$$x_6(t) = \frac{dx_5(t)}{dt}.$$

В (8)  $W_j(x(t), t)$  – векторная нелинейная функция, имеющая вид:

$$W_1 = [r_1(x(t), t); \beta(x(t), t); \alpha(x(t), t); V_r(x(t), t)]^T; \quad (9)$$

$W_j(x(t), t) = r_j(x(t), t) =$

$$= \sqrt{(x_1(t) - d_{j1}(t))^2 + (x_3(t) - d_{j3}(t))^2 + (x_5(t) - d_{j5}(t))^2}, \quad (10)$$

$j = \overline{2, N}.$

$$(H_1(x_1(t), t))_{11} = x_{01}(t) / \sqrt{(x_{01}(t))^2 + (x_{03}(t))^2 + (x_{05}(t))^2};$$

$$(H_1(x_1(t), t))_{13} = x_{03}(t) / \sqrt{(x_{01}(t))^2 + (x_{03}(t))^2 + (x_{05}(t))^2};$$

$$(H_1(x_1(t), t))_{15} = x_{i5}(t) / \sqrt{(x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2 + (x_{i5}(t))^2};$$

Выражение (9) описывает первый канал наблюдения (ИП 1), который измеряет следующие параметры ОН:

радиальную дальность –

$$r_1(x(t), t) = \sqrt{(x_1(t))^2 + (x_3^{(p)}(t))^2 + (x_5(t))^2},$$

радиальную скорость –

$$V_r(x(t), t) = \frac{d}{dt}(r_1(x(t), t)) = \frac{x_1(t)x_2(t) + x_3(t)x_4(t) + x_5(t)x_6(t)}{\sqrt{(x_1(t))^2 + (x_3(t))^2 + (x_5(t))^2}},$$

угол места –

$$\alpha(x(t), t) = \arcsin\left(x_5(t) / \sqrt{(x_1(t))^2 + (x_3(t))^2 + (x_5(t))^2}\right),$$

азимут –

$$\beta(x(t), t) = \arccos\left(x_1(t) / \sqrt{(x_1(t))^2 + (x_3(t))^2}\right).$$

Как видно из (10), остальные измерительные пункты (ИП 2 ... ИП N) измеряют радиальные дальности до объекта наблюдения –  $r_j(x(t), t)$ . Они являются пространственно нестационарными и их взаимное расположение относительно ИП 1 определяется параметрами  $d_{j1} = d_{j1}(t)$ ,  $d_{j3} = d_{j3}(t)$ ,  $d_{j5} = d_{j5}(t)$ .

Пусть заданы некоторые прогнозируемые опорные траектории движения объектов наблюдения  $x_i(t) \in R^6$ . Тогда представим вектор состояния в виде

$$x(t) = x_i(t) + z(t). \quad (11)$$

Полагая вектор отклонений  $z(t)$  малым, и используя разложение функции  $W_j(x(t), t)$  в ряд по степеням  $z(t)$  в окрестности опорной траектории  $x_i(t)$  с учетом пренебрежения слагаемыми порядка малости два и выше, получим

$$y_j(z(t), t) = \gamma_j^{0.5}(t) H_j(x_i(t), t) z(t) + \eta_j(t), \quad (12)$$

где  $H_j \in R^{n_j \times 6}$  – матричные ( $n_j=4$ ) и векторные ( $n_2=\dots=n_N=1$ ) функции, определяемые в соответствии с

$$H_j(x_i(t), t) = \left[ \left( \frac{\partial}{\partial x(t)} \right) (W_j(x(t), t))^T \right]$$

при  $x(t) = x_i(t)$ .

В соответствии с (9), (12) элементы матрицы  $H_1(x_1(t), t)$  имеют вид:

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

$$\begin{aligned}
 (H_1(x_i(t), t))_{12} &= (H_1(x_i(t), t))_{14} = (H_1(x_i(t), t))_{16} = 0; \\
 (H_1(x_i(t), t))_{21} &= -x_{i3}(t) / \left[ (x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2 \right]; \\
 (H_1(x_i(t), t))_{23} &= x_{i1}(t) / \left[ (x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2 \right]; \\
 (H_1(x_i(t), t))_{22} &= (H_1(x_i(t), t))_{24} = (H_1(x_i(t), t))_{25} = (H_1(x_i(t), t))_{26} = 0; \\
 (H_1(x_i(t), t))_{31} &= \frac{-x_{i1}(t)x_{i5}(t)}{\left[ (x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2 + (x_{i5}(t))^2 \right] \sqrt{(x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2}}; \\
 (H_1(x_i(t), t))_{33} &= \frac{-x_{i3}(t)x_{i5}(t)}{\left[ (x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2 + (x_{i5}(t))^2 \right] \sqrt{(x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2}}; \\
 (H_1(x_i(t), t))_{35} &= \frac{\sqrt{(x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2}}{(x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2 + (x_{i5}(t))^2}; \\
 (H_1(x_i(t), t))_{32} &= (H_1(x_i(t), t))_{34} = (H_1(x_i(t), t))_{36} = 0; \\
 (H_1(x_i(t), t))_{41} &= \frac{x_{i2}(t) \left[ (x_{i3}(t))^2 + (x_{i5}(t))^2 \right] - x_{i1}(t) \left[ x_{i3}(t)x_{i4}(t) + x_{i5}(t)x_{i6}(t) \right]}{\left[ (x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2 + (x_{i5}(t))^2 \right]^{\frac{3}{2}}}; \\
 (H_1(x_o(t), t))_{42} &= x_{o1}(t) / \sqrt{(x_{o1}(t))^2 + (x_{o3}(t))^2 + (x_{o5}(t))^2}; \\
 (H_1(x_o(t), t))_{43} &= \frac{x_{o4} \left[ (x_{o1}(t))^2 + (x_{o5}(t))^2 \right] - x_{o3}(t) \left[ x_{o1}(t)x_{o2}(t) + x_{o5}(t)x_{o6}(t) \right]}{\left[ (x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2 + (x_{i5}(t))^2 \right]^{\frac{3}{2}}}; \\
 (H_1(x_o(t), t))_{44} &= x_{o3}(t) / \sqrt{(x_{o1}(t))^2 + (x_{o3}(t))^2 + (x_{o5}(t))^2}; \\
 (H_1(x_o(t), t))_{45} &= \frac{x_{o6} \left[ (x_{o1}(t))^2 + (x_{o3}(t))^2 \right] - x_{o5}(t) \left[ x_{o1}(t)x_{o2}(t) + x_{o3}(t)x_{o4}(t) \right]}{\left[ (x_{i1}(t))^2 + (x_{i3}(t))^2 + (x_{i5}(t))^2 \right]^{\frac{3}{2}}}; \\
 (H_1(x_o(t), t))_{46} &= x_{o5}(t) / \sqrt{(x_{o1}(t))^2 + (x_{o3}(t))^2 + (x_{o5}(t))^2}.
 \end{aligned}$$

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

В соответствии с (10), (12) элементы векторных функций  $H_1(x_i(t), t)$  для всех  $j = \overline{2, N}$ , имеют вид:

$$\begin{aligned}(H_j)_1 &= \frac{(x_{i_1}(t) - d_{j_1}(t))}{\sqrt{(x_{i_1}(t) - d_{j_1}(t))^2 + (x_{i_3}(t) - d_{j_3}(t))^2 + (x_{i_5}(t) - d_{j_5}(t))^2}}; \\(H_j)_3 &= \frac{(x_{i_3}(t) - d_{j_3}(t))}{\sqrt{(x_{i_1}(t) - d_{j_1}(t))^2 + (x_{i_3}(t) - d_{j_3}(t))^2 + (x_{i_5}(t) - d_{j_5}(t))^2}}; \\(H_j)_5 &= \frac{(x_{i_5}(t) - d_{j_5}(t))}{\sqrt{(x_{i_1}(t) - d_{j_1}(t))^2 + (x_{i_3}(t) - d_{j_3}(t))^2 + (x_{i_5}(t) - d_{j_5}(t))^2}}; \\(H_j)_2 &= (H_j)_4 = (H_j)_6 = 0.\end{aligned}$$

Таким образом, нелинейную математическую модель (8) для многоканальной нестационарной в пространстве измерительной системы, состоящей из  $N$  измерительных пунктов, можно преобразовать к линейной модели вида (12) относительно отклонения  $z^{(p)}(t)$  от некоторой априорно заданной опорной траектории  $x_i^{(p)}(t)$  с учетом принятых допущений (11). Данную модель можно применять для решения задач оптимального управления фиктивной динамической системой (1) с использованием функционала качества полуопределенного типа (4). Оптимальные управляющие функции будут формироваться в соответствии с (5).

### Литература

1. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. М.: Наука, 1987.
2. Хуторцев В.В., Карга А.В. Метод прогнозирующей модели в теории управления наблюдениями. М.: Радио и связь, 2004. 203 с.

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 519.21

## О ПЕРСПЕКТИВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УТРАИВАЮЩИХСЯ ПЕРИОДОВ В МУЛЬТИ- МАСШТАБНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ ON THE PROSPECTS OF THE FUNDAMENTAL SYSTEM OF TRIPLES PERIODS IN MULTISCALE TECHNICAL DEVICES

**Вадим Николаевич Лесных**

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

**Валерий Александрович Коломбет**

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

**Евгений Валерьевич Коломбет**

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

### Аннотация

Статья посвящена вопросу повышения стабильности работы сложных технических систем. Рассматривается недавно обнаруженная фундаментальная система утраивающихся периодов, т.н. темпоральный фрактал, который в совокупности составляют периоды самых разнообразных процессов – астрономических (квазары, звезды, Солнце), геофизических (геомагнетизм, климат, вулканы) и биологических (вымирание биологических таксонов, особенности памяти и музыкального слуха человека). Периоды, составляющие исследованный участок темпорального фрактала, простираются от 50 микросекунд до полутора миллиардов лет. Поскольку не найдено никаких предвестников ограничения этого феномена становится актуальным поиск проявлений темпорального фрактала, в частности, в технических устройствах. В качестве вдохновляющего примера в статье рассмотрен результат самоподстройки к темпоральному фракталу диапазона частот современного фортепиано (в ходе двухсотлетней эволюции этого музыкального инструмента). Все это указывает на перспективность согласования дискретного спектра частот в любых современных мультимасштабных технических комплексах с соответствующим фрагментом темпорального фрактала.

**Ключевые слова:** стабильность, дискретный спектр частот, темпоральный фрактал, мультимасштабность, технические системы.

### Summary

The destination of the article is stabilization of complex technical systems. A new-found fundamental system of tripled periods (the so-called temporal fractal) is considered. It collectively assembles periods of wide variety of processes – astronomy (quasars, stars, Sun), geophysical (geomagnetism, climate, volcanoes) and biological (extinction of taxa, peculiarities of so memory so musical tone deaf of man). Periods of investigated part of the temporal fractal range from 50 microseconds to one and a half billion years. Because of absence of any precursors for limitation of this phenomenon, the search for manifestations of temporal fractal in technical devices turns to actual aim. We consider an inspiring example in the article: the result of self-tuning of bandwidth of modern piano to the temporal fractal (during two centuries of evolution of the musical instrument). All these circumstances point out to the prospect of dovetailing of the discrete spectrum in any modern multiscale technical complexes with the corresponding fragment of the temporal fractal.

**Keywords:** stability, discrete spectrum of frequencies, temporal fractal, multiscale, technical systems.

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

Известно, что среднее расстояние между соседними локальными максимумами дискретного временного ряда для нормально распределенного случайного процесса равно тройке. Если теперь взять только локальные максимумы этого ряда, то получится новый ряд, у которого среднее расстояние между локальными максимумами тоже стремится к трем, то есть, в определенном смысле выделится «девятый вал», период в девять интервалов исходного временного ряда. Процедуру можно повторять, и это дает систему приблизительно утраивающихся периодов [1].

В апреле 2014 года была опубликована статья [2], которую следует признать доказательством реального существования фундаментальной системы утраивающихся периодов (она ниже обозначается как ФСУП или как темпоральный фрактал – терминология еще не устоялась). В упомянутой статье сообщается, что благодаря происходящему в современной науке тотальному уточнению экспериментальных данных о астрономических геологических, и биологических событиях и процессах, к настоящему моменту достигнуто существенное повышение достоверности численных значений старых данных, и на этом основании появилась возможность показать, что периодические процессы находятся в своеобразном мета-резонансе, демонстрируя сквозную систему последовательно утраивающихся периодов.

Периоды процессов, в совокупности слагающих ФСУП, занимают широчайший диапазон масштабов и не зависят от природы (то есть, от физики) периодического процесса. Это универсальное явление выглядит поистине вселенским, потому что данные по внеземным периодическим процессам, таким как образование квазаров и звездообразование демонстрируют функционально связанную периодичность с такими периодическими земными явлениями как, например, вулканизм и вымирание таксонов.

Авторы статьи [2] формализовали ФСУП в виде формул и таблиц, сочетающих в себе характеристики утраивающихся периодов в широчайшем диапазоне масштабов. В конце концов, они решили, что эта мультимасштабная согласованность предполагает общую астрономическую причину для земной геологической и биологической цикличности.

Утраивающиеся периоды упорядочены в две серии. Первая простирается в сторону увеличения от периода  $T_0 = 114.5722\dots$  лет, а вторая от вдвое меньшего периода. Согласно [2] периоды определяются формулой

$$T_{n,k} = T_0 * 3^{k/n},$$

где  $n = 1$  и  $2$ ;  $k = 0 - -15$ .

В работе [3] показано, что ФСУП простирается также далеко в область существенно более коротких периодов (до  $k = -29$  при тех же значениях  $n$ ), то есть причина ФСУП вовсе не астрономическая. Во-первых, был найден десяток пар экспериментальных значений новых периодов ФСУП, обнаруженных в особенностях реализации функции памяти человека разумного. Эти периоды лежат в интервале минута – месяц [4-6]. Во-вторых, характерные частоты ФСУП проявляются в таких особенностях аудиальной модальности человека, как пение и феномен музыки – технической имитации пения. Звуковые явления лежат преимущественно в диапазоне от 20 Гц до 20 КГц, и здесь обнаружены следы семи пар периодов ФСУП, проявившиеся в существовании именно семи «базовых» нот – до, ре, ми, фа, соль, ля и си [3]. (Эта пара примеров позволила предположить [3], что в мультимасштабном по своей природе организме человека происходит также множество других явлений, тесно согласованных с темпоральным фракталом).

Получается, что во вселенной существует темпоральный фрактал (т.е. ФСУП), который удается обнаружить самыми различными способами. Используемые при этом астрономические, геофизические и биологические методы – это всего лишь способы визуализации независимо существующего вселенского темпорального фрактала [2, 3, 7-12].

Поскольку до сих пор не найдено никаких предвестников ограничения этого феномена, становится актуальным поиск проявлений темпорального фрактала, в частности, в современных технических устройствах с целью улучшения их характеристик. В роли примитивного, но вдохновляющего примера мы рассмотрим здесь эффект самоподстройки к темпоральному фракталу диапазона частот современного фортепиано; неосознаваемая музыкантами подстройка происходила в ходе двухсотлетней эволюции этого инструмента. В финале этой эволюции, в наше время превалируют 88 клавишные фортепиано, и несложно показать, что здесь тоже проявилась описанная в [3] подстройка слуха человека к периодам ФСУП.

Действительно (см. рисунок 1), у современного фортепиано, настроенного по частоте 440 Гц, интерпретируемой как ля первой октавы, самая низкая нота звучит на частоте 27,5000 Гц. Частота ФСУП для  $n=1$  и  $k=-23$  равна 26,04 Гц. Две соседние частоты ФСУП для  $n=1$  равны, соответственно, 8,68 Гц и 78,12 Гц. По-

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



Рис. 1. Семь пар частот  $1/T_{n,k}$  темпорального фрактала и клавиатура фортепиано на фоне интервала звуковых частот.

Диапазон клавиатуры фортепиано ограничен частотами  $1/T_{1,-23}$  и  $1/T_{2,-27}$ .

лучается, что для крайней левой клавиши рояля выбрана частота, довольно близкая к частоте ФСУП. Отличие составляет 1,46 Гц, так что относительное смещение частот, то есть, величина  $100\% \cdot 1,46 \text{ Гц} / 26,04 \text{ Гц}$  составляет 5,6%. Поскольку соседние ноты фортепиано отличаются по частоте на 5,9%, то частота ФСУП отличается от частоты наиболее низкой ноты фортепиано меньше, чем на одну ноту. Диапазон возможных случайных значений частоты, отклонившейся в рассмотренном примере лишь от 26,04 Гц до 27,5 Гц простирается от 15,03 Гц (это среднее геометрическое от 8,68 Гц и 26,04 Гц) до 45,10 Гц (среднего геометрического от 26,04 Гц и 78,12 Гц), так что ширина этого диапазона возможных значений составляет 30,07 Гц. Величина  $2 \cdot 1,46 \text{ Гц} / 30,07 \text{ Гц} = \sim 0,1$  является в данном примере оценкой вероятности отклонения от 26,04 Гц, не большего, чем наблюдаемое.

Самая высокая (самая правая) нота фортепиано имеет частоту 4186,01 Гц. Аналог в ФСУП при  $n=2$  и  $k=-27$  составляет 4218 Гц. Разница в частотах составляет около 32 Гц, ширина диапазона возможных случайных попаданий в этом случае близка к 4870 Гц. Относительная величина промаха равна  $100\% \cdot 32 \text{ Гц} / 4218 \text{ Гц} = 0,8\%$ , что существенно меньше, чем 5,9% – расстояние между соседними нотами. В этом случае частота ФСУП отличается от частоты наиболее высокой ноты фортепиано много меньше, чем на одну ноту. Вероятность отклонения от частоты ФСУП равной 4218 Гц, не большего, чем наблюдаемое, составляет  $2 \cdot 32 \text{ Гц} / 4870 \text{ Гц} = \sim 0,01$  – около одного процента.

Поскольку произведение вероятности независимых событий дает вероятность их совместного появления, то в данном случае оценка  $\sim 0,1 \cdot 0,01 = \sim 10^{-3}$  позволяет заключить, что верхняя и нижняя ноты современного фортепиано были неосознанно выбраны в соответ-

ствии с ФСУП. Хотя оценка  $10^{-3}$  сделана несколько упрощенно, она настолько хороша, что даже, если пожертвовать одним десятичным порядком, вывод не изменится: крайние клавиши фортепиано адаптированы к частотам ФСУП. По сути, этим самым мы привели экспериментальную технико-биологическую модель того, каким, казалось бы, странным образом природные периодические процессы могут адаптироваться к характерным периодам вселенского темпорального фрактала.

Все вышесказанное ставит вопрос о перспективности согласования в современных мультимасштабных технических комплексах дискретных спектров механических и радиоэлектронных частот ( $1/T_{n,k}$ ) с соответствующими фрагментами темпорального фрактала.

Мы ожидаем, что в любом техническом комплексе после выполнения процедуры такого согласования уменьшатся дрейфы частот, а мультимасштабность комплекса приведет к синергичному (возможно, мультипликативному) повышению стабильности его работы.

## Литература

1. Розенберг Г.С., Рудерман С.Ю. Анализ одной процедуры создания сообщений // Тезисы II Всесоюзной конференции по технической кибернетике. Минск: АН СССР, 1969. С. 11–12.
2. Puetz Stephen J., Prokoph Andreas, Borchardt Glenn, Mason Edward W. Evidence of synchronous, decadal to billion year cycles in geological, genetic, and astronomical events // Chaos, Solitons & Fractals. 2014. Vol. 62-63. P. 55–75.
3. Бондарь А.Т., Коломбет В.А., Федоров М.В. Фундаментальная система утраивающихся периодов как базис новой методологии изучения мультимасштабных физических и биологических явлений // Биофизика, 2015. №5 (В печати).

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

4. Бондарь А.Т. О закономерности памятного следа во времени // ДАН, 1977. Т. 236, №6. С. 1503.
5. Бондарь А.Т. Динамика эффективности воспроизведения и проактивного влияния вербальной информации // «Память и следовые процессы». Пущино. 1979. С. 134.
6. Коломбет В. Введение в гипнографический психоанализ. М.: ООО «Мэйлер», 2008. 240 с.
7. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002, 656 с.
8. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. М.: Мир, 1988. 240 с.
9. Gefter A. Is the universe is fractal? // New Sci. 2007. Vol. 3. №2594. P. 30.
10. Joyce M., Labini F.S., Gabrielli A., Montouri M., Pietronero L. Basic properties of galaxy clustering in the light of recent results from the sloan digital sky survey // A&A. 2005. Vol. 443. №1. P. 6.
11. Pietronero L. The fractal structure of the universe: correlations of galaxies and clusters // Physica A. 1987. Vol. 144. P. 257.
12. Барышев Ю.В., Теерикорпи П. Фрактальная структура Вселенной. Очерк развития космологии. Изд. САО РАН, 2005. 396 с.



# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



УДК 004

## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО РЕЙТИНГОВОГО ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА УСПЕВАЕМОСТИ FUNCTIONAL MODEL OF THE AUTOMATED SYSTEM STATISTICAL RATING ASSESSMENT OF QUALITY PERFORMANCE

**Екатерина Сергеевна Гресс**

аспирантка кафедры «Вычислительная математика и программирование»  
Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)  
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4  
Тел.: +7(916)598-73-08  
E-mail: gress@mai.ru

**Сергей Сергеевич Крылов**

кандидат физико-математических наук, доцент  
декан факультета  
«Прикладная математика и физика»  
Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)  
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4  
Тел.: +7(909)696-00-36  
E-mail: krylov@mai.ru

### Аннотация

В статье рассматривается функциональная модель автоматизированной системы статистического рейтингового оценивания качества успеваемости студентов. Собраны и специфицированы основные функциональные требования, описаны возможности разработанной системы.

**Ключевые слова:** информационная система, функциональная модель, функциональные требования, рейтинговая система.

### Summary

The article discusses the functional model of the automated system statistical rating assessment of the quality of students' progress. The basic functional requirements are collected and specified. The capabilities of the developed system are described.

**Key words:** information system, functional model, functional requirements rating system.

### Введение

В связи с активным внедрением в учебный процесс вузов новых стандартов высшего образования [1], актуальными вопросами в современной системе оценки качества высшего образования является разработка в вузе математических и функциональных моделей оценивания качества образовательного процесса и реализация программных средств их информационной поддержки [2].

В МАИ на факультете «Прикладная математика и физика» данную задачу предлагается решить с помощью специальной автоматизированной системы статистического рейтингового оценивания качества успеваемости студентов [3].

### Функциональная модель

Автоматизированная система статистического рейтингового оценивания качества успеваемости студентов представляет собой дополнитель-

ную к уже существующим в учебных заведениях учетным системам функционально-аналитическую компоненту. В ней предусмотрены следующие роли пользователей: системный администратор, руководство вуза сотрудник деканата, начальник курса, методист вуза, методист факультета, методист кафедры, сотрудник кафедры, преподаватель, студент. На рисунках 1 и 2 показаны примеры диаграмм прецедентов для ролей *сотрудник деканата* и *преподаватель* соответственно.

Основными функциями роли *сотрудник деканата* являются ввод и корректировка документов, связанных с различными аспектами активности студентов факультета в вузе, просмотр и построение аналитических отчетов об успеваемости, посещаемости и рейтингах студентов.

Основными функциями роли *преподаватель* являются ввод и корректировка документов, связанных с работой студентов на занятиях у данного преподавателя, просмотр и построение

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

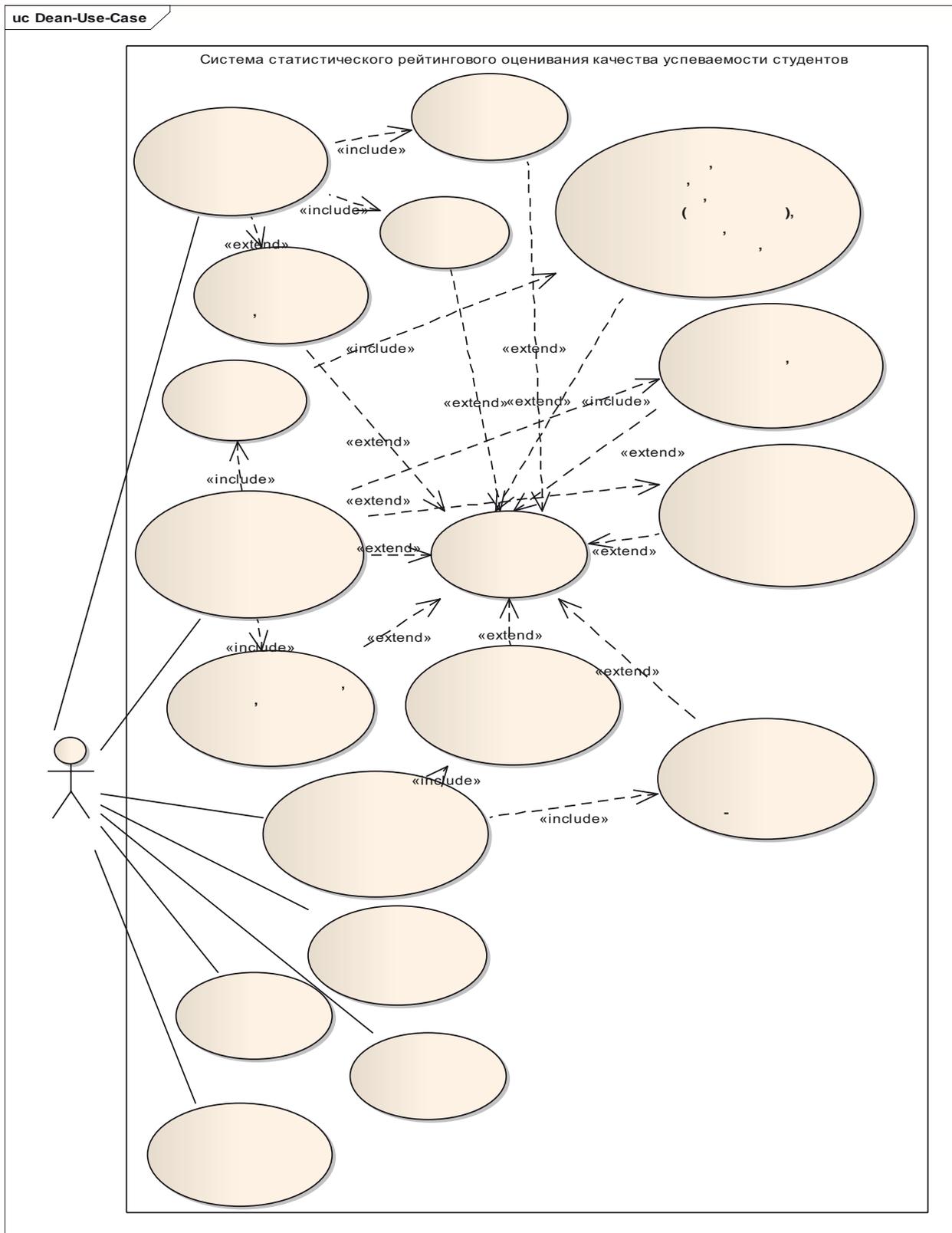


Рис. 1. Диаграмма прецедентов роли *сотрудник деканата*

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

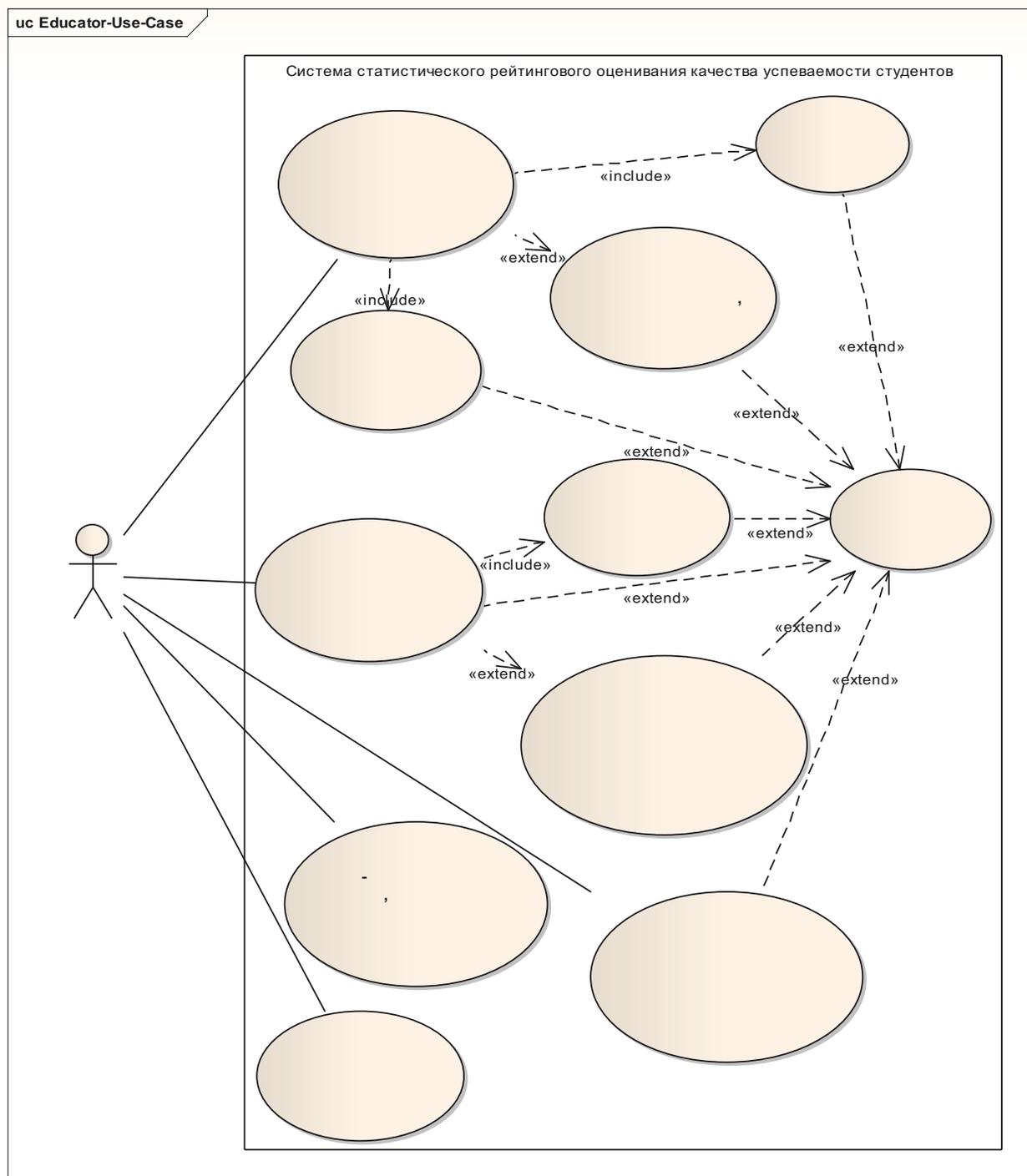


Рис. 2. Диаграмма прецедентов роли преподаватель

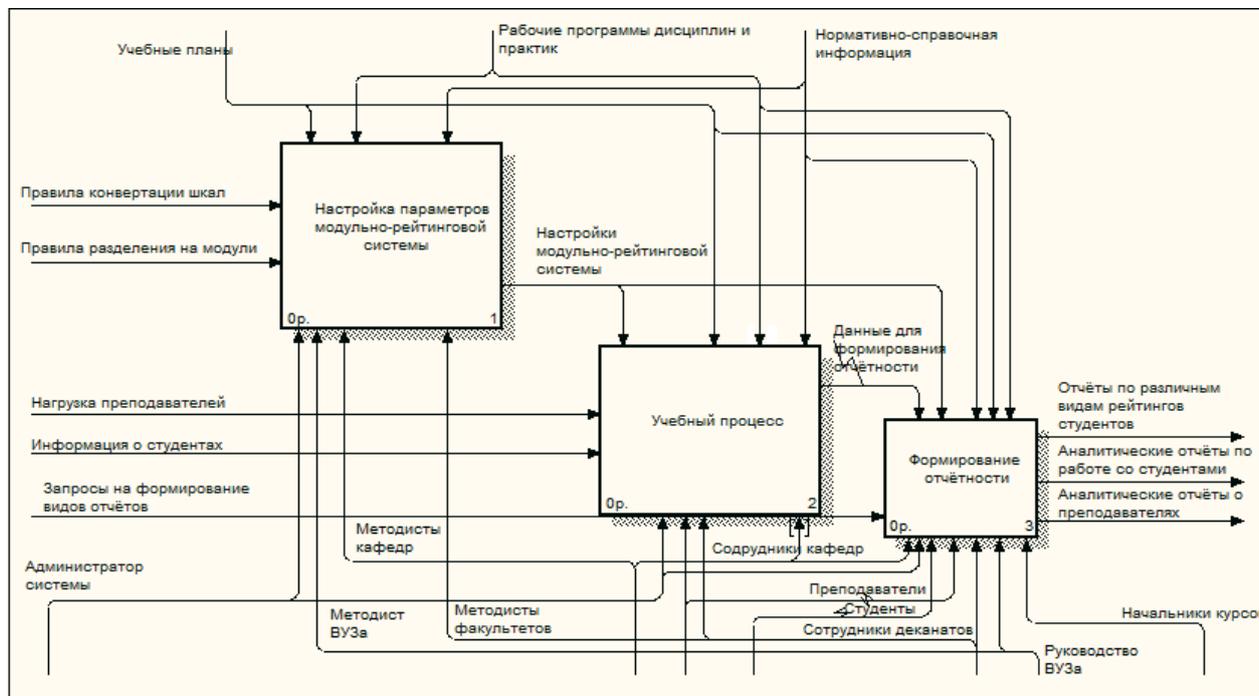
различных аналитических отчетов об успеваемости, посещаемости и рейтингах студентов.

Рассмотрим бизнес-процессы системы (рисунки 4-6).

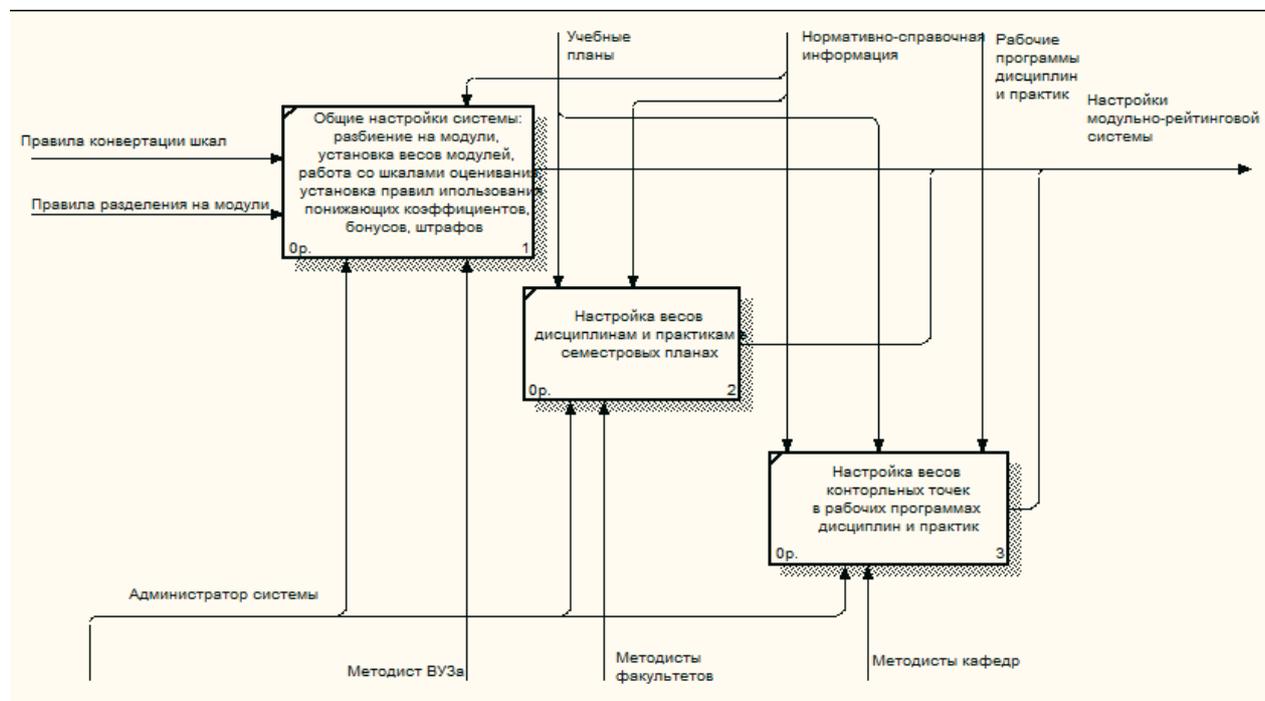
На рисунке 3 показаны основные процессы системы: функциональные блоки настройка параметров модульно-рейтинговой системы, учебный процесс и формирование отчетности.

На рисунке 4 показаны основные этапы настройки модульно-рейтинговой системы, являющейся частью системы статистического рейтингового оценивания качества успеваемости студентов. Пользователь может определить собственную модель рейтинга и гибко настроить ее компоненты, использовать различные шкалы оценивания знаний студентов и описать их

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



**Рис. 3.** Диаграмма системы статистического рейтингового оценивания качества успеваемости студентов



**Рис. 4.** Детализация сущности настройки параметров модульно-рейтинговой системы

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

взаимную конвертацию, назначить свои правила понижающих коэффициентов, установить систему бонусов и штрафов, настроить веса семестров и дисциплин в учебных планах и контрольных точек в рабочих программах дисциплин.

Учебный процесс, показанный на *рисунке 5*, делится на три функциональных блока: текущая успеваемость в семестре, сессионная успеваемость, личные характеристики студента. К блоку личных характеристик студента относится учет по различным дисциплинам таких

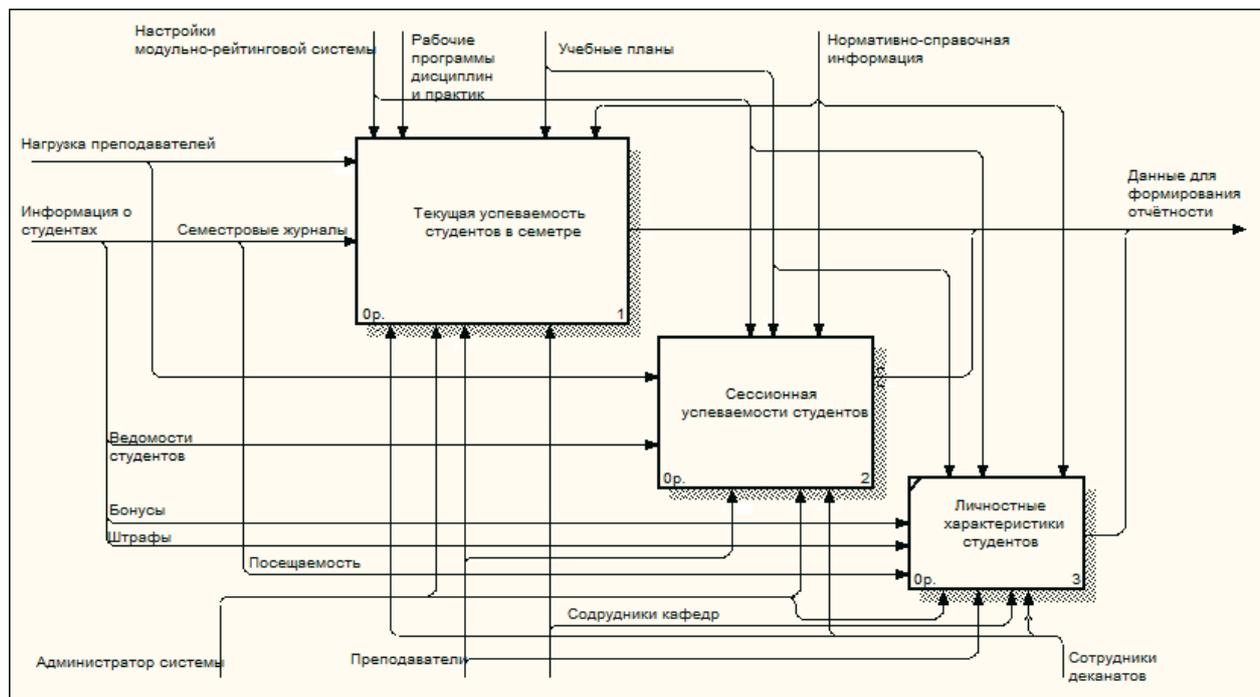


Рис. 5. Детализация сущности «Учебный процесс»



Рис. 6. Диаграмма верхнего уровня потоков данных системы

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

параметров, как поведение, активность, ведение научной работы, выступление на конкурсах и олимпиадах по профессиональной тематике и т.п. Учет данных параметров выражается в соответствующих бонусах или штрафах студенту.

Диаграммы потоков данных системы пред-

ставлены на *рисунках 6-10*. На *рисунке 6* представлены потоки данных, функционирующие между системой статистического рейтингового оценивания качества успеваемости студентов, ее пользователями, интеграция с другими системами и административное взаимодействие

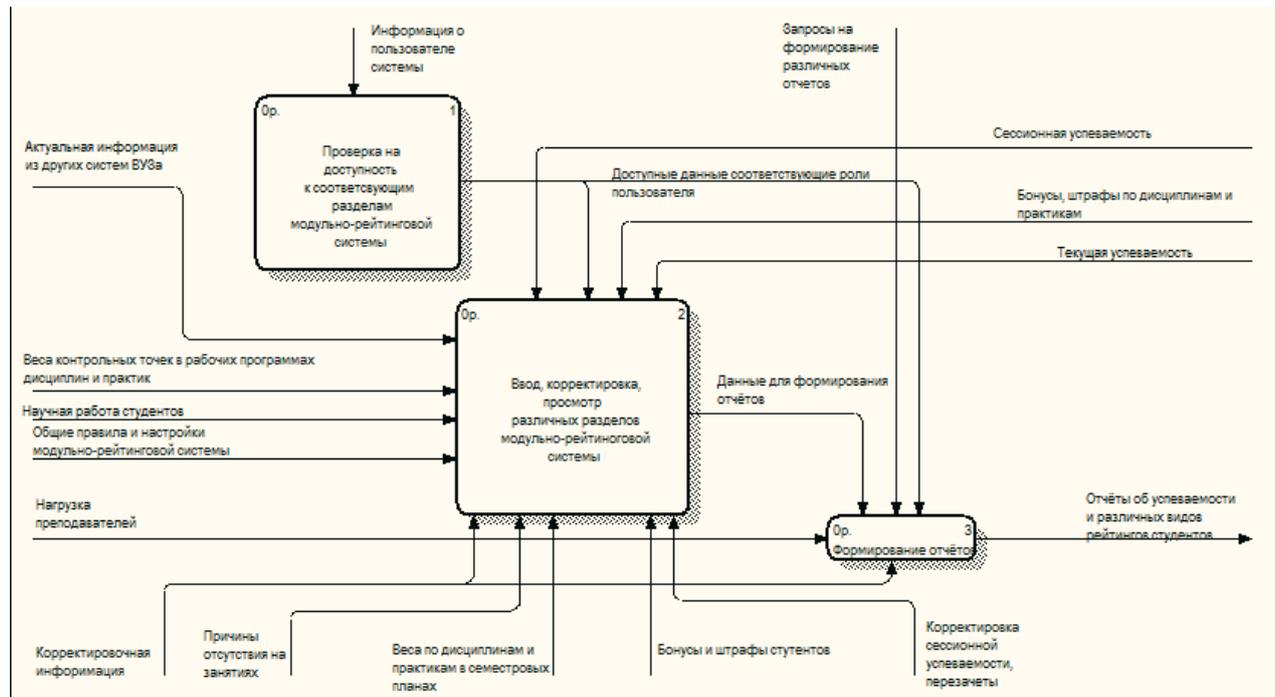


Рис. 7. Детализация верхнего уровня потоков данных системы

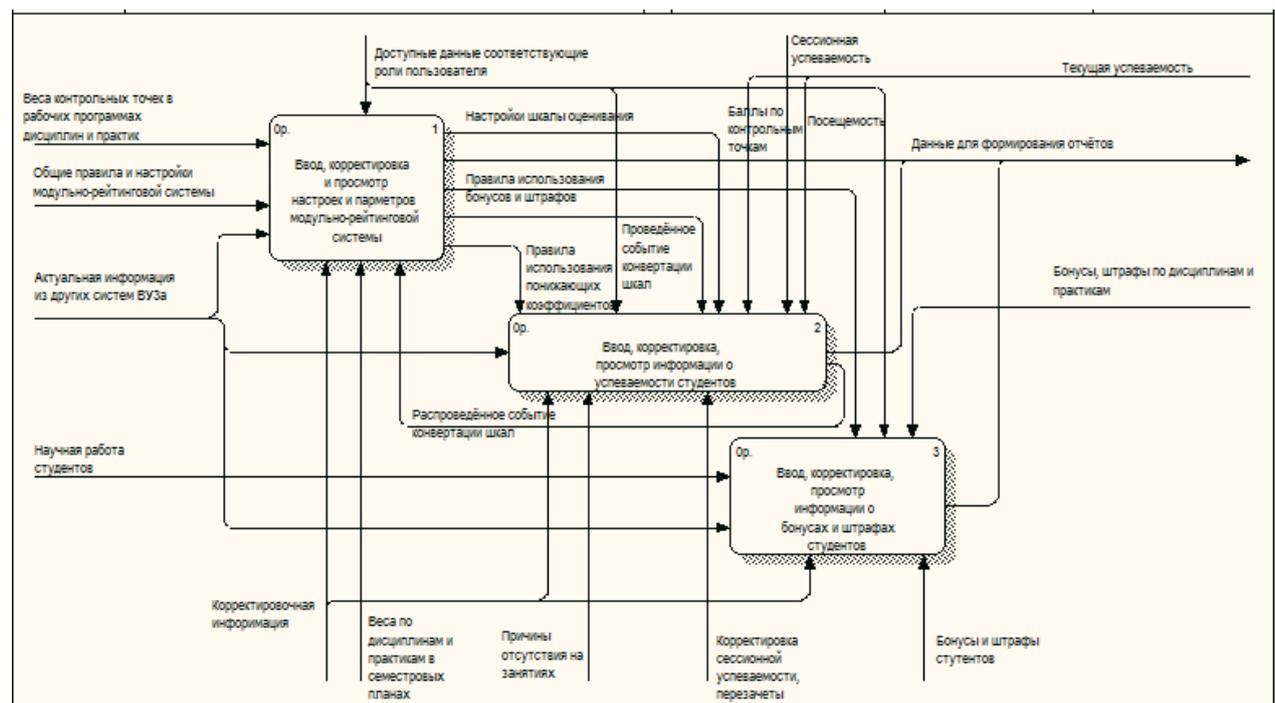


Рис. 8. Декомпозиция потоков данных системы

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

пользователей между собой вне системы. На *рисунке 7* представлены потоки данных в системе статистического рейтингового оценивания качества успеваемости студентов. Условно их можно разделить следующим образом. Проверка

прав пользователя, затем получение доступа к данным, соответственно декларированным ролям. Далее может осуществляться редактирование объектов системы или просмотр отчетов. При формировании отчетности все

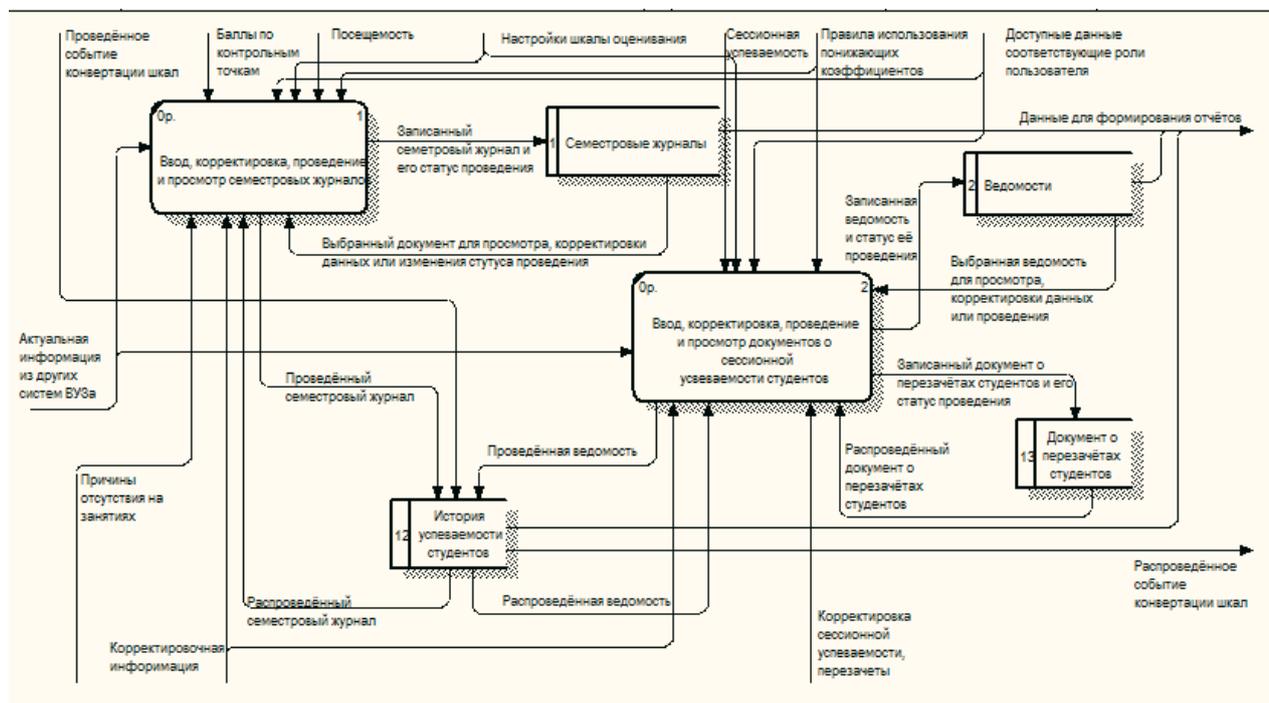


Рис. 9. Декомпозиция потоков данных настроек рейтинговой системы

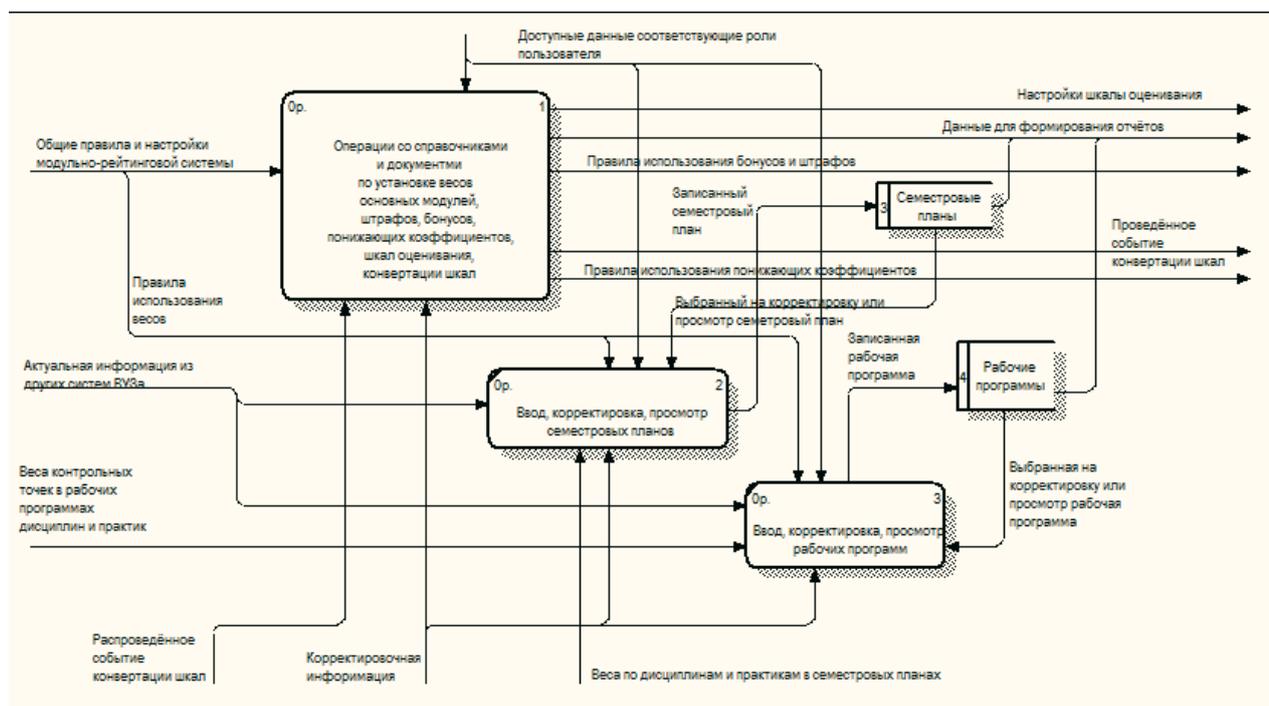


Рис. 10. Декомпозиция потоков данных успеваемости студентов

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

данные предоставляются пользователям в режиме чтения. При работе с остальными объектами системы пользователь может не только просматривать, но и редактировать данные. В этом случае выделяются три категории пото-

ков данных (рисунк 8): ● настройки модульно-рейтинговой системы; ● успеваемость студентов; ● дополнительные бонусы и штрафы студентов.

Потоки данных, соответствующие настройкам модульно-рейтинговой системы, относящиеся

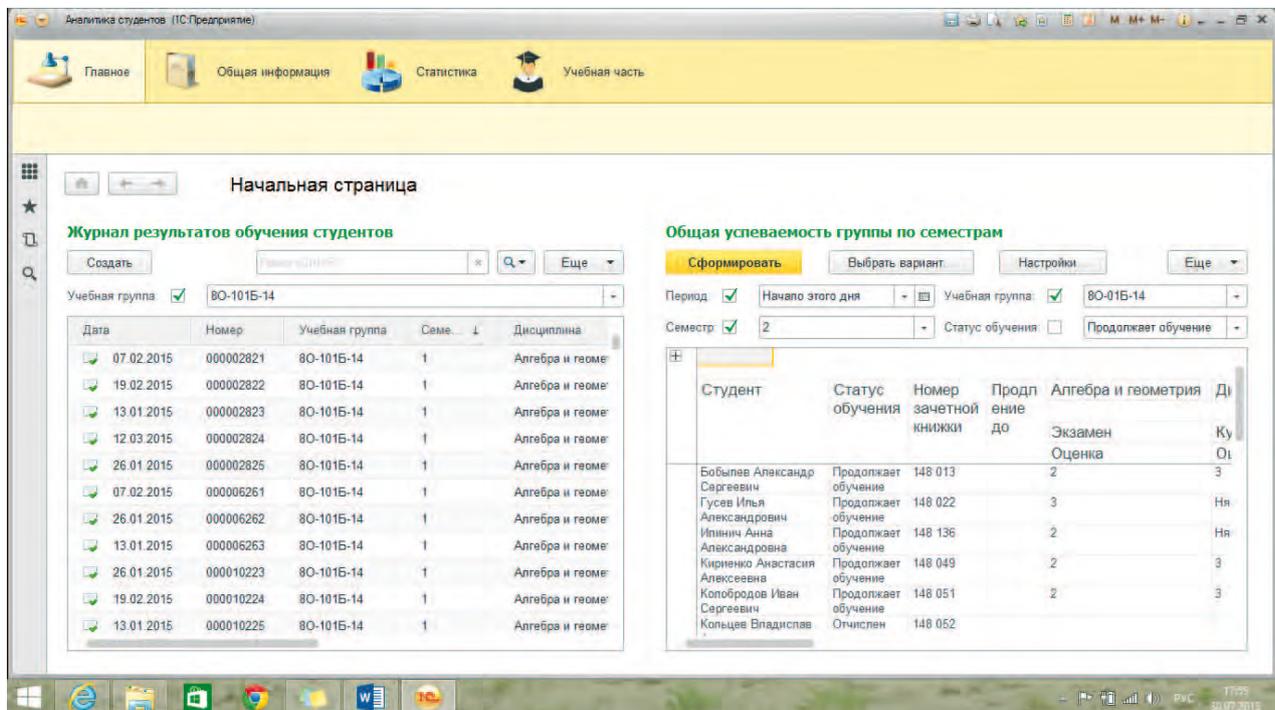


Рис. 11. Стартовая страница роли преподаватель

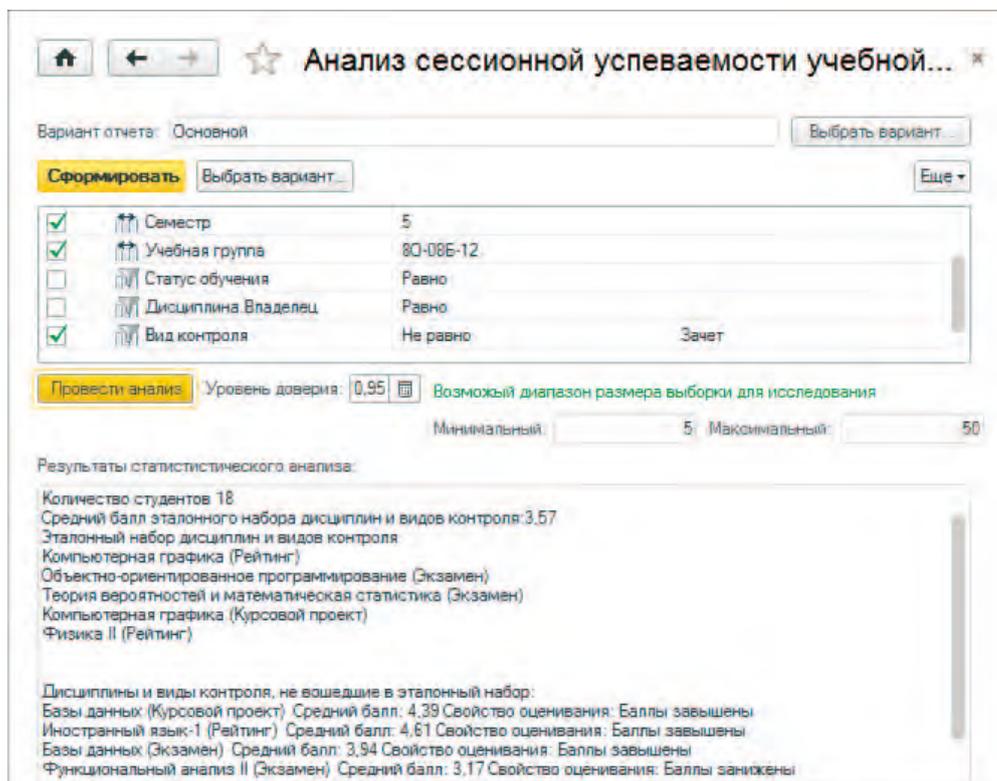


Рис. 12. Анализ качества оценивания знаний студентов в группе

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

Семестр	Дисциплина	Вид контроля	Семестр1	Дисциплина1	Вид контроля1	Ковариация	Корреляция	Размер выборки
1	Математический анализ	Курсовая работа	1	Математический анализ	Экзамен	0,454496	0,621789	613
1	Математический анализ	Экзамен	1	Математический анализ	Курсовая работа	0,454496	0,621789	613
1	Математический анализ	Курсовая работа	1	Философия	Рейтинг	0,633295	0,610821	613
1	Философия	Рейтинг	1	Математический анализ	Курсовая работа	0,633295	0,610821	613
1	Математический анализ	Экзамен	1	Философия	Рейтинг	0,352356	0,446424	613
1	Философия	Рейтинг	1	Математический анализ	Экзамен	0,352356	0,446424	613
1	Математический анализ	Экзамен	2	Математический анализ	Экзамен	0,346466	0,631796	562
2	Математический анализ	Экзамен	1	Математический анализ	Экзамен	0,346466	0,631796	562
2	История	Рейтинг	2	Математический анализ	Экзамен	0,341769	0,457736	562

Рис. 13. Ковариация и корреляция дисциплин траектории успеваемости

к общим правилам рейтинговой системы и локальным, связанным с конкретными семестровыми планами и рабочими программами дисциплин, представлены на *рисунке 9*.

Потоки данных, относящиеся к успеваемости студентов, приведены на *рисунке 10*. Они ассоциированы с документами: «Семестровыми журналами», фиксирующими текущую успеваемость в семестре; «Ведомостями», содержащими сессионную успеваемость; «Документами о перезачетах студентов». Документы, прошедшие верификацию данных, записываются в архив «История успеваемости студентов».

### Реализация системы

Система статистического рейтингового оценивания качества успеваемости студентов разработана на технологической платформе IC: Предприятие 8.3 [6] для тонкого клиента. Реализованная система имеет клиент-серверную трехуровневую архитектуру.

Задача интеграции данной системы с информационной средой вуза рассмотрена в [9]. Было решено использовать технологии интеграции, заложенные в технологическую платформу IC: Предприятие 8.3.

Приведем примеры скриншотов системы, реализующую представленную выше функциональную модель. Интерфейс роли *преподаватель* представлен на *рисунке 11*. Пользователь, соответствующий данной роли, имеет доступ к сле-

дующим разделам системы: «Общая информация», «Статистика», «Учебный процесс».

На стартовой странице отображаются часто используемые преподавателем объекты системы.

Пример отчета, анализирующего с помощью статистического критерия Т-Вилкоксона качество оценивание знаний студентов учебной группы, приведен на *рисунке 12*.

На *рисунке 12* представлен результат отчета для учебной группы 8О-08-12 3 курса факультета «Прикладная математика и физика» за сессию 5-го семестра без учета зачетов.

Пример отчета, вычисляющего ковариацию и корреляцию между дисциплинами траектории успеваемости, показан на *рисунке 13*.

Данный отчет позволяет определять функциональную зависимость между дисциплинами траектории успеваемости выбранного студента.

Пример отчета, строящего траекторию успеваемости и траекторию рейтинга студента, изображен на *рисунке 14*. Данный отчет показывает траекторию успеваемости и соответствующую ей траекторию рейтинга, выбранного студента, на всем протяжении обучения студента в вузе.

Система статистического рейтингового оценивания качества успеваемости студентов обладает следующими возможностями:

1. Поддержка различных шкал оценивания и их конвертация.
2. Комплексный учет успехов студента.
3. Поддержка индивидуальных учебных пла-

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

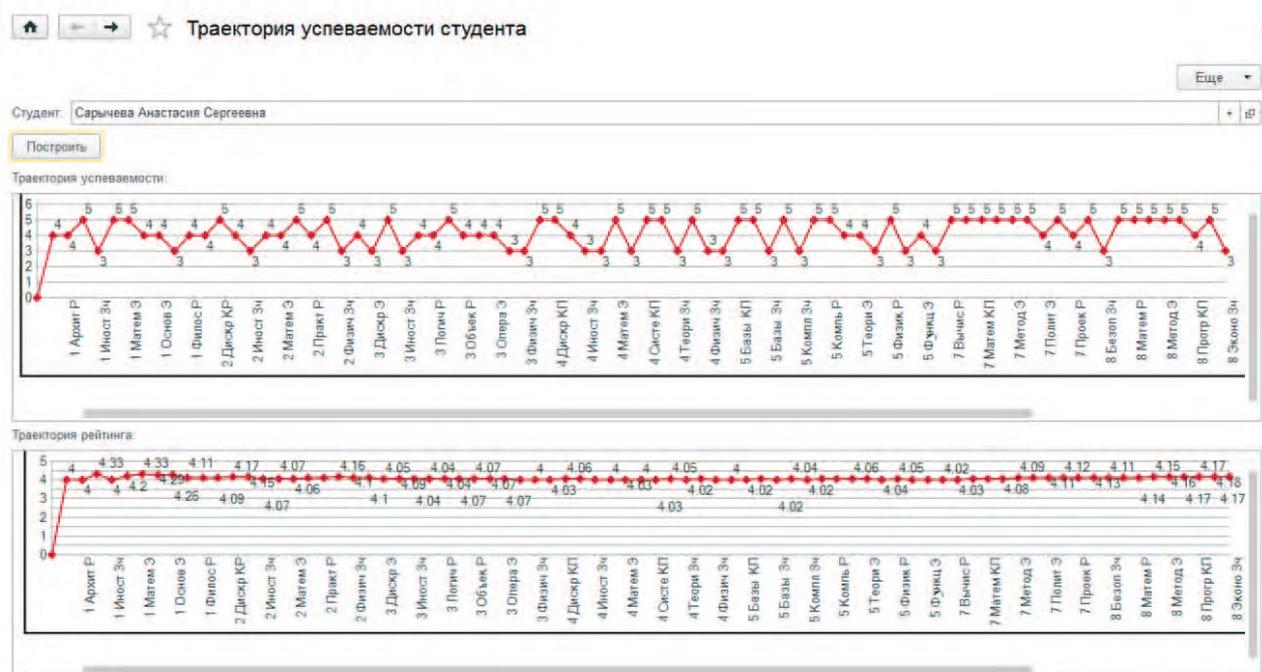


Рис. 14. Траектории успеваемости и рейтинга студента

нов, построение траектории успеваемости и траектории рейтинга студента.

4. Анализ среднего сессионного рейтинга студентов по вариативным параметрам.

5. Квантильный анализ сессионного рейтинга для определения студентов, заслуживающих поощрения/отчисления.

6. Проверка качества оценивания знаний студентов в группе за сессионные виды контроля с помощью статистического критерия Т-Вилкоксона.

7. Вычисление статистических характеристик успеваемости по дисциплинам.

Результаты функционирования автоматизированной рейтинговой системы оценки сессионной успеваемости студентов успешно апробированы на реальных данных учащихся с 1-го по 4-й курс факультета «Прикладная математика и физика» в МАИ за 4 года (2011-2015).

## Заключение

В данной работе была рассмотрена функциональная модель автоматизированной системы статистического рейтингового оценивания качества успеваемости студентов. Приведен пример представленной функциональной модели. Описаны возможности разработанной си-

стемы. Результаты функционирования системы успешно апробированы на реальных данных учащихся факультета «Прикладная математика и физика» в МАИ за 4 года (2011–2015).

## Литература

1. Министерство образования и науки Российской Федерации: Федеральные государственные образовательные стандарты [Электронный ресурс]: сайт. URL: <http://old.mon.gov.ru/pro/fgos/> (дата обращения: 14.08.2015)
2. Гресс Е.С., Крылов С.С. Методические аспекты комплексного оценивания компетенций студентов // Качество. Инновации. Образование. «Европейский центр по качеству», 2014. №4(107). С. 14-19.
3. Босов А.В., Гресс Е.С., Наумов А.В. Об одном подходе к автоматизации оценивания успеваемости студентов // Системы и средства информатики. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, 2015. Том 25. № 2. С. 123-139.
4. IC:Предприятие 8 [Электронный ресурс]: сайт. URL: <http://v8.1c.ru> (дата обращения 14.08.2015)
5. Гресс Е.С., Крылов С.С. Проект интеграции модульно-рейтинговой системы // Новые информационные технологии в образовании: Сборник научных трудов 14-й международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии в образовании» (Применение технологий «IC» для повышения эффективности деятельности организаций образования) 28-29 января 2014 г. Ч.2. М.: ООО «IC-Публишинг», 2014. С. 65-67.

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.395

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛИНИИ ОНЧ–НЧ ДИАПАЗОНОВ

### OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF A RADIO FREQUENCY SPECTRAL LINE WITH VLF–LF BAND

**Владимир Владимирович Зеленецкий**

доктор технических наук, профессор

профессор кафедры  
ВА РВСН им. Петра Великого  
(филиал в г. Серпухове)  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7(4967)35-12-31

**Анатолий Владимирович Зеленецкий**

кандидат технических наук

ведущий специалист  
ЗАО «Фирма НТЦ КАМИ» (г. Москва)  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
ул. Полянка, д. 14, кв. 34  
Тел.: +7(4967)35-12-31

**Акоп Юрьевич Джелаухян**

адъюнкт

ВА РВСН им. Петра Великого  
(филиал в г. Серпухове)  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7(4967)35-12-31

#### Аннотация

В статье решена задача определения оптимальной длины волны для радиолинии ОНЧ–НЧ диапазонов и исследовано ее влияние на отношение сигнал/шум на входе радиоприемника.

**Ключевые слова:** напряженность электрического поля, действующая длина антенны, оптимальная длина волны, дальность радиосвязи, отношение сигнал/шум.

#### Summary

The problem of determining the optimal wavelength for radio line with Very low frequencies – Low frequencies (VLF-LF) band and its effect on the signal/noise ratio at the input of the radio receiver are considered in the article.

**Keywords:** the electric field strength, the current length of the antenna, optimum wavelength, range of a radio service, the signal/noise ratio.

В ряде известных научных работ [1, 2, 3] решаются задачи оценки эффективности сетей и систем связи. Однако в указанных работах не исследуются вопросы энергетической эффективности радиолиний и отсутствуют предложения по ее повышению. В работах [4, 5] не нашло место исследование параметров радиолиний и радиоканалов на оптимальность.

Известно [4, 5], что основным выражением для определения напряженности электрического поля  $E$  в точке приема для диапазонов очень низких и низких частот (ОНЧ–НЧ) на расстояниях  $r \geq 1000$  км является формула Остина:

$$E = \frac{245\sqrt{PD}}{r} \sqrt{\frac{\theta}{\sin\theta}} \cdot e^{-\frac{0.0014r}{\lambda^{0.6}}}, \frac{мВ}{м}, \quad (1)$$

где  $P$  – мощность радиопередатчика, кВт;  
 $D$  – коэффициент направленного действия передающей антенны;

$r$  – дальность радиосвязи, км;

$\theta$  – центральный угол, зависящий от дальности радиосвязи  $r$ :  $\theta = \frac{r}{R}$ , рад;

$R$  – радиус земли ( $R=6370$  км);

$\lambda$  – длина волны, на которой работает радиопередатчик, км.

Анализ выражения (1) показывает, что увеличение длины волны  $\lambda$  способствует повышению значения напряженности  $E$  при фиксированных параметрах  $P$ ,  $D$ ,  $r$ .

Так как напряженность поля  $E$  определяет напряжение сигнала на входе радиоприемника [5], равное

$$U_{\text{ex}} = E \cdot h_{\text{д}}, \quad (2)$$

где  $h_{\text{д}}$  – действующая длина приемной антенны, м, то целесообразно использовать радиоволны с большим значением  $\lambda$ .

В то же время значение  $h_{\text{д}}$  для магнитных приемных антенн также зависит от длины волны  $\lambda$  [5]:

$$h_{\text{д}} = \frac{2\pi}{\lambda} nS\mu, \quad (3)$$

где  $n$  – число витков антенны;

$S$  – площадь витка антенны;

$\mu$  – магнитная проницаемость ферромагнетика, используемого в конструкции антенны.

Очевидно, увеличивая длину волны  $\lambda$ , при заданной конструкции антенны ( $n = \text{const}$ ,  $S = \text{const}$ ,  $\mu = \text{const}$ ) приходится констатировать уменьшение  $h_{\text{д}}$ .

Противоречие: с одной стороны, увеличение длины волны  $\lambda$  способствует увеличению значения  $E$ , что положительно для качества радиосвязи, а с другой стороны, увеличение  $\lambda$  приводит к уменьшению  $h_{\text{д}}$ . Соответственно уменьшается значение  $U_{\text{ex}}$ , что оказывает отрицательное воздействие на качество приема радиосигнала.

Так как качество приема радиосигнала определяется отношением мощности полезного сигнала  $P_c$  к мощности аддитивного гауссовского шума  $P_w$ , равного

$$h_0^2 = \frac{U_{\text{ex}}^2}{P_w \cdot R_{\text{ex}}}, \quad (4)$$

то требуется получить наибольшее значение  $h_0^2$  при  $P = \text{const}$ ,  $D = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$ ,  $S = \text{const}$ ,  $\mu = \text{const}$  на заданной дальности радиосвязи  $r$ .

**Утверждение.** Для фиксированных параметров радиолинии ОНЧ-НЧ диапазонов  $P = \text{const}$ ,  $D = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$ ,  $S = \text{const}$ ,  $\mu = \text{const}$  всегда существует оптимальное значение длины волны  $\lambda_{\text{opt}}$ , при котором значение  $h_0^2$  будет максимальным на заданном значении дальности радиосвязи  $r$ , т.е.

$$\max_{\lambda} h_0^2 \text{ при } \left\{ \begin{array}{l} r = r_{\text{зад}} = \text{var}; \\ P = \text{const}; D = \text{const}; \\ n = \text{const}; S = \text{const}; \mu = \text{const}. \end{array} \right. \quad (5)$$

**Доказательство утверждения.** Запишем выражение для  $h_0^2$  в виде:

$$h_0^2 = \frac{K}{r \cdot \sin\left(\frac{r}{6370}\right) e^{\frac{0.0028r}{\lambda^{0.6}}} \cdot \lambda^2}, \quad (6)$$

где  $K = \frac{9,424 \cdot 10^{-12} PD\pi^2 S^2 n^2 \mu^2}{(N_w - 1) K_0 T_{\Delta} FR_{\text{ex}}}$ .

Для определения значения  $\lambda_{\text{opt}}$  возьмем производную

$$\frac{dh_0^2}{d\lambda} = e^{-\frac{0.0028r}{\lambda^{0.6}}} \cdot 0,00168r\lambda^{-3.6} - 2\lambda^{-3} e^{-\frac{0.0028r}{\lambda^{0.6}}}. \quad (7)$$

Решив уравнение (7), при условии,

что  $\frac{dh_0^2}{d\lambda} = 0$ , получим  $0,00168r\lambda_{\text{opt}}^{-3.6} = 2\lambda_{\text{opt}}^{-3}$ .

Окончательно запишем  $0,0084r = \lambda_{\text{opt}}^{0.6}$ , а для определения  $\lambda_{\text{opt}}$  удобно пользоваться выражением

$$\lambda_{\text{opt}} = (0,00084r)^{\frac{10}{6}}. \quad (8)$$

Тогда максимальное значение  $h_{0\text{max}}^2$  будет равно:

$$h_{0\text{max}}^2 = K \frac{e^{\frac{10}{3}}}{r \cdot \sin\left(\frac{r}{6370}\right) \cdot (0,00084r)^{\frac{10}{3}}}. \quad (9)$$

Анализ выражений (8) и (9) показывает:

– значение оптимальной длины волны зависит от дальности радиосвязи;

– максимально достижимое значение  $h_{0\text{max}}^2$  при  $K = \text{const}$  зависит не только от дальности радиосвязи, но и от правильно установленной частоты радиопередатчика, то есть от значения  $\lambda_{\text{opt}} = f(r)$ .

Таким образом, утверждение доказано.

**Предложение.** Для заданной дальности радиосвязи  $r$  в радиопередатчике необходимо установить значение оптимальной рабочей частоты

$$f_{\text{opt}} = \frac{c}{\lambda_{\text{opt}}}, \text{ где } c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

В этом случае на входе радиоприемника, настроенного на частоту  $f_{\text{opt}}$ , будет максимальное отношение сигнал/шум.

Покажем энергетический выигрыш, который можно получить за счет адаптации по рабочей частоте системы радиосвязи.

Пусть радиопередатчик и радиоприемник настроены на волну с  $\lambda_{\text{opt}} = 7,6913$  км, которая соответствует, согласно выражению (8), значению  $r = 4000$  км и позволяет получить  $h_{0\text{max}}^2 = 2,6713 \cdot 10^{-7} K$ . В тоже время волна с  $\lambda = 7,6913$  км на дальности  $r = 1000$  км позволяет получить значение  $h_0^2 = 4,62 \cdot 10^{-5} K$ .

С другой стороны, если частота настройки радиопередатчика и радиоприемника является адаптивной, то есть подчиняется выражению (8), то на дальности  $r = 1000$  км можно получить значение  $h_0^2 = 3,88 \cdot 10^{-4} K$ .

Таким образом, энергетический выигрыш в этом случае для  $r = 1000$  км,  $K = \text{const}$  за счет адаптивной настройки по частоте радиопередатчика и радиоприемника составляет величину

$$\Delta = \frac{3,88 \cdot 10^{-4} K}{4,62 \cdot 10^{-5} K} = 8,4 \approx 9,24 \text{ дБ}.$$

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Для дальности  $r=2000$  км значение  $\Delta=2,97$  дБ, а для дальности  $r=4000$  км значение  $\Delta=0,14$  дБ.

**Вывод:** работа радиосистемы передачи данных на оптимальной волне  $\lambda_{opt}=f(r)$  позволяет получить энергетический выигрыш, то есть снизить требуемую мощность радиопередатчика.

### Литература

1. Кулешов И.А., Рябченко С.В., Цыбизов А.А. Показатель оценки эффективности сетей связи // Известия Института инженерной физики, 2010. №2(16). С. 58-62.
2. Цимбал В.А., Ваганов И.Н., Апонасенко А.А. Марковская модель функционирования запросно-вызывного канала системы связи с ретрансляцией сигналов и предоставлением каналов по требованию // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С. 60-64.
3. Зеленецкий В.В., Зеленецкий Ю.В., Шмырин Е.В. Эффективность преобразования не двоичных кодов Рида-Маллера // Известия Института инженерной физики, 2013. №3(29). С. 41-43.
4. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн. М.: Высшая школа, 1975. 280 с.
5. Зеленецкий Ю.В. Энергетические характеристики радиолиний и радиоканалов // Учебник «Системы и средства связи». М.: МО РФ, 2008. С. 147-190.

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 004.72

### КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНО- КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

### THE CONCEPT OF THE USE OF SOFTWARE- CONFIGURABLE NETWORK MANAGEMENT FOR MOBILE OBJECTS

#### Владимир Анатольевич Цимбал

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

#### Василий Евгеньевич Тоискин

кандидат технических наук  
преподаватель  
ВА РВСН им. Петра Великого  
(филиал в г. Серпухове)  
Адрес: 142210, г. Серпухов Московской обл.,  
ул. Бригадная, 17  
Тел. +7(4967)72-19-11

#### Сергей Евгеньевич Потапов

кандидат технических наук  
старший преподаватель  
ВА РВСН им. Петра Великого  
(филиал в г. Серпухове)  
Адрес: 142210, г. Серпухов Московской обл.,  
ул. Бригадная, 17  
Тел. +7(909)164-71-60

#### Евгений Александрович Шуточкин

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

#### Игорь Дмитриевич Бонкин

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

#### Аннотация

В связи с возросшей в последнее время потребностью частных и корпоративных пользователей к увеличению пропускной способности каналов связи и качеству обслуживания цифровых потоков информации, ведущие производители сетевой инфраструктуры начали разработку технологии программно управляемых сетей (SDN). Учитывая, что в последнее время ускоряется процесс перехода всех ведомственных систем и сетей связи на новые стандарты, неразрывно связанные с международными, отечественным производителям коммуникационного оборудования для потребностей силовых структур необходимо уделить особое внимание созданию собственного оборудования и программных средств для сетей SDN. В данной статье раскрывается сущность технологии SDN и производится анализ применимости ее в сетях мобильной связи.

**Ключевые слова:** программно-конфигурируемые сети, моделирование, информационный обмен.

#### Summary

Due to the increased demand in recent years of private and corporate users to increase network bandwidth and quality of service of digital information flows, the leading manufacturers of network infrastructure began developing technology and software-driven network (SDN). Considering that in recent years accelerated the transition of all departmental communications systems and networks to new standards, is inextricably linked with international, domestic manufacturers of communications equipment to the needs of law enforcement agencies need to pay special attention to the creation of their own equipment and software for networks SDN. This article reveals the essence of technology SDN and analyzed the applicability of its mobile networks.

**Keywords:** software-configurable network modeling, information exchange.

Современный этап развития информационных систем характеризуется постоянно возрастающими объемами циркулирующей по сетям передачи данных разнородной информации. Кроме того, возрастает и потребность обычных пользователей «домашнего интернета» в больших скоростях обмена информацией как с удаленными серверами и хранилищами файлов, так и с другими пользователями сети. При всем этом, можно наблюдать, что основными трендами развития корпоративных сетей и сетей центров обработки данных являются [1]:

- стремительный рост объемов трафика и изменение его структуры в сторону передачи видео и унифицированных коммуникаций (UC-C);
- необходимость поддержки мобильных пользователей (BYOD) и социальных сетей;
- высокопроизводительные кластеры для обработки Больших Данных (BIG DATA);
- виртуализация для предоставления облачных сервисов (Cloud Bursting).

При этом сеть в классическом ее виде (управление через командную строку и конфигурационные файлы) становится ограничивающим фактором развития вычислительной инфраструктуры. Классические подходы к решению проблем, к примеру, на основе виртуализации сетей (VLAN, VRF), не соответствует уровню развития виртуализации серверов и систем хранения данных. Традиционные сети, прежде всего, статичны, и не соответствуют быстрой динамике развития современной IT инфраструктуры. Возможности масштабирования традиционных сетей не соответствуют требованиям крупного бизнеса и сервис провайдеров (Deutsche Telekom, Facebook, Google, Microsoft, Verizon и Yahoo), а распределенное управление устройствами традиционных сетей слишком сложное и неэффективное. Привязка же к выбранному сетевому производителю не гарантирует поддержку будущих приложений и сервисов [2]. Все это в достаточной мере ограничивает развитие мультисервисных сетей для поддержки мобильных абонентов. Какие же решения предлагают нам современные IT технологии?

Информационные сети, организованные по топологии Mesh, получили за последние три года большое признание [3]. Действительно, Mesh-сети представляют наиболее интересные решения, интегрирующие различные сетевые и радиотехнологии, и потому в полной мере отвечают все более растущим требованиям абонентов (мобильность, QoS, безопасность). Возможность организации с помощью Mesh-топологии локальных (LAN) и городских (MAN) сетей, легко интегрируемых в глобальные сети

(WAN), является привлекательным фактором для муниципальных и персональных пользователей. Существующие в настоящее время Mesh-сети построены с использованием наиболее распространенного беспроводного стандарта Wi-Fi. Преимущества такого решения очевидны [3]:

- создание зон сплошного информационного покрытия большой площади;
- масштабируемость сети (увеличение площади зоны покрытия и плотности информационного обеспечения) в режиме самоорганизации;
- использование беспроводных транспортных каналов (backhaul) для связи точек доступа в режиме «каждый с каждым»;
- устойчивость сети к потере отдельных элементов.

Кроме того, широкий спектр дешевых стандартных абонентских устройств определяет коммерческую успешность проектов mesh-сетей.

Однако увеличение коммуникационного ресурса таких сетей заключается в установке дополнительных базовых станций (макросот), которое после достижения определенного порога плотности их размещения уже не дает существенного прироста пропускной способности и емкости сетей радиодоступа (RAN). Поэтому следующим этапом становится использование малых сот (пико- и фемтосот) [4]. В результате конфигурирование крупномасштабных сетей превращается в сложную задачу и требует серьезных изменений принципов построения, эксплуатации и управления сетями.

Необходима новая технология или подход к построению информационных сетей, позволяющая решить перечисленные выше проблемы. Такая технология есть, и она носит название – Software Defined Networking или сокращенно SDN.

SDN – сеть передачи данных, в которой уровень управления сетью отделен от устройств передачи данных и реализуется программно, (т.е. такая система управления есть одна из форм виртуализации вычислительных ресурсов) [5]. Современное сетевое устройство (роутер или коммутатор) на логическом уровне рассмотрения состоит из трех компонентов (*рисунок 1*) [6]:

1. Уровень управления устройством – это интерфейс командной строки (консоль), встроенный веб-сервер или интерфейс программирования приложений и протоколы управления сетевыми устройствами. Задача этого уровня обеспечить управляемость устройством.

2. Уровень управления трафиком – это различные алгоритмы и процедуры маршрутизации сообщений и распределения информационных потоков, а также адаптации к изменению



Рис. 1. Типовая архитектура сетевого оборудования

условий функционирования сети. Таким образом, здесь заключен «интеллект» устройства.

3. Передача трафика – функционал, обеспечивающий физическую передачу данных между сетевыми интерфейсами, контроль состояния канала, доступа к среде и другие задачи канального уровня.

При этом стоимость такого устройства напрямую зависит от его возможностей по обработке информационных потоков, которые, в свою очередь, определяются быстродействием используемых микропроцессорных плат и сложностью сетевого программного обеспечения.

Основная же суть SDN (рисунок 2) состоит в физическом отделении уровня управления трафиком от уровня его передачи. При этом наиболее ресурсоемкие операции мониторинга сети и маршрутизации сообщений выполняются на отдельном сервере (контроллере), соединенном с коммутационным оборудованием шифрованным каналом связи [5].

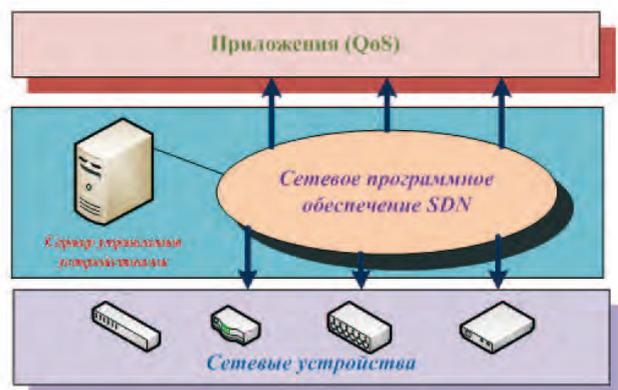


Рис. 2. Концепция SDN

Как следует из анализа такой архитектуры, кроме классического управления сетью прямыми командами системного администратора к контроллеру SDN контроллер поддерживает запуск на себе приложений управления сетью. Управление устройством осуществляется по протоколу OpenFlow, представляющем собой

открытый стандарт, разработанный специально для таких экспериментальных систем [5].

Openflow – стандартный протокол, который является основным элементом концепции SDN, он обеспечивает взаимодействие контроллера с сетевыми устройствами [5]. Контроллер используется для управления таблицами потоков коммутаторов, на основании которых принимается решение о передаче принятого пакета на конкретный порт коммутатора. Именно вследствие этого в сети формируются прямые сетевые соединения, что обеспечивает минимальные задержки передачи данных с необходимыми параметрами.

Соответственно, коммутатор OpenFlow, который является основным элементом программно-управляемой архитектуры сети, состоит, как минимум, из двух компонент [5]:

- таблицы потоков (flow table);
- безопасного канала (secure channel).

Коммутаторы с поддержкой OpenFlow уже доступны на рынке. К примеру, у компании Hewlett-Packard уже более 40 моделей коммутаторов поддерживают OpenFlow версии 1.3. Считается, что SDN изменит сети так же, как это сделали в свое время виртуальные частные сети (VPN) на рынке корпоративных серверных систем. Создание крупнейшими производителями сетевой инфраструктуры открытой инновационной отраслевой экосистемы SDN, несомненно, поможет операторам повысить доходность от сетей SDN.

Отечественные специалисты уже ищут возможности использования технологии SDN для создания собственных решений в области коммутации, позволяющих преодолеть зависимость от зарубежных поставщиков. В 2012 году было создано первое подразделение в области SDN в рамках Центра прикладных исследований компьютерных сетей (ЦПИКС) и на его базе построена первая SDN-сеть в России [1]. SDN – хороший вариант для реализации в России собственных разработок и решений. SDN приведет к появлению нового емкого сегмента рынка ПО – программного обеспечения для сетевых приложений. У РФ есть хорошая возможность проявить себя в этой перспективной области. В связи с тем, что на долю сетевого оборудования зарубежного производства в России приходится, по некоторым оценкам, более 90%, и в связи с ухудшением отношений с Западом, задача замещения импорта стоит достаточно остро. В таких условиях реализация успешных проектов в области SDN дает стране шансы стать весомым партнером лидеров данного сегмента IT-рынка.

Уже создан консорциум 10 российских университетов, работающих над тематикой SDN, и

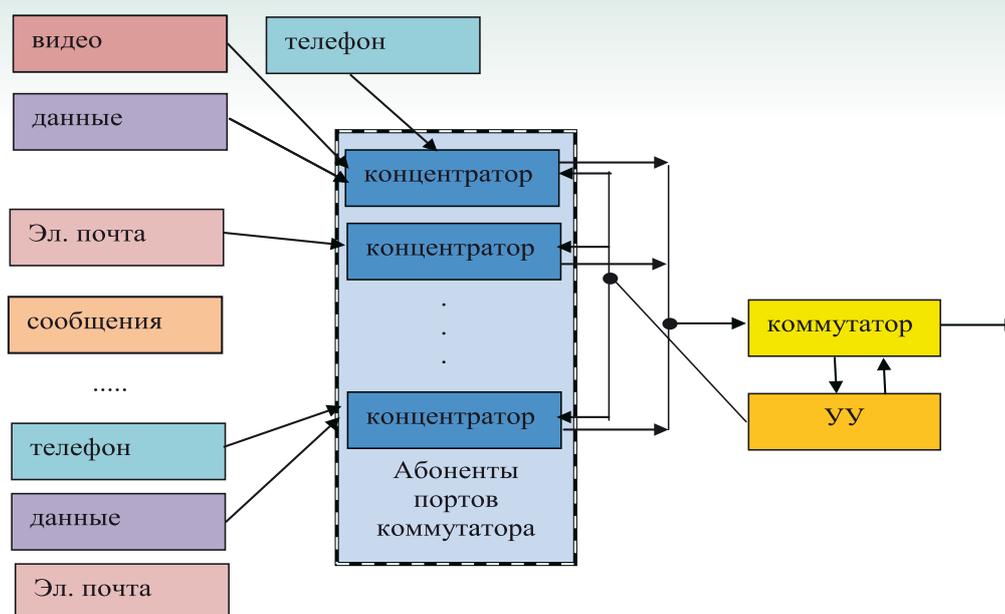


Рис. 3. Сегмент сети с управляемым коммутатором

Министерство образования и науки объявило о начале финансирования соответствующих проектов. Налаживается международное сотрудничество России в области SDN. Так, в 2013 году по инициативе ЦПИКС в РФ был создан консорциум российских университетов по развитию SDN-технологий, в который вошли 14 вузов из Москвы, Санкт-Петербурга, Оренбурга, Нижнего Новгорода, Ярославля, Томска, Белгорода и Волгограда. В 2014-м создан первый российский SDN-контроллер RUNOS (Russian Network Operation System). Успешное тестирование решений ЦПИКС прошло в компаниях Huawei, «Ростелеком», «Воентелеком», «Ростех» и других [1].

Учитывая, что в последнее время ускоряется процесс перехода всех ведомственных систем и сетей связи на новые стандарты, разработанные по рекомендациям международных организаций, отечественным производителям коммуникационного оборудования для потребностей министерств и ведомств необходимо уделить особое внимание созданию собственного оборудования и программных средств для сетей SDN.

Преимущества использования подобных технологий неоспоримы.

Во-первых, это приводит к существенному удешевлению коммутационного оборудования за счет использования менее производительных процессоров и памяти, так как не будет необходимости расчета оптимальных маршрутов в каждом устройстве.

Во-вторых, повышается надежность функционирования сети. Любая неисправность опе-

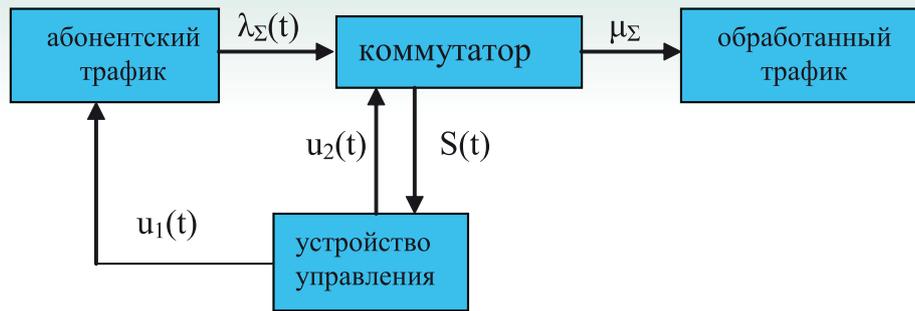
ративно локализуется, и высокопроизводительный сервер контроллера сети перераспределяет потоки информации.

В-третьих, виртуализация управления дает дополнительные возможности защиты конфиденциальной информации, потому, что различным абонентам сети будут доступны только определенные участки сетевой архитектуры.

Кроме того, известен положительный опыт использования централизованного управления информационно-расчетными сетями специального назначения.

Конечно, централизация управления предъявляет дополнительные требования к защищенности, надежности и масштабируемости центральных органов управления сетью. Однако данные вопросы решаемы как с технической, так и с организационной точек зрения. Рассмотрим модель сетевого устройства (коммутатора третьего уровня OSI) с внешним управлением (в частности по технологии SDN) [7].

Для эффективной обработки трафика, создаваемого приложениями реального времени такими как IP-телефония или видеоконференцсвязь, необходима аппаратная обработка пакетов приложения. Обычно под эти цели выделяются отдельные порты устройства. При этом в случае угрозы блокировки коммутатора из-за информационной перегрузки можно ограничивать интенсивность поступающих пакетов за счет частичного их сброса (просеивания). Качество аудио или видеосигнала при этом несколько снизится, но в целом информационный обмен не прервется, а по прошествии какого-то



**Рис. 4.** Модель управления коммутатором

времени сеть выйдет из состояния перегрузки в номинальный режим работы.

Для обеспечения нормального функционирования таких систем организуются каналы двух типов: рабочие (каналы трафика) и каналы управления (КУ). По КУ коммутатор извещает абонентские устройства о назначении канала, отклонении запроса, или о постановке в очередь. В системах с выделенным частотным КУ для разрешения конфликтов используются протоколы типа АЛОНА. Обобщенная модель функционирования подобного устройства представлена на *рисунке 3*.

Модель обслуживания абонентов в такой системе в рамках теории автоматического управления будет выглядеть следующим образом (*рисунк 4*).

Его функционирование заключается в следующем. Через него циркулирует абонентский трафик, под которым понимается суммарный поток пакетов  $\lambda_{\Sigma}(t)$ , формируемый совокупностью абонентских станций и сетевым оборудованием. Устройство управления интенсивностью трафика и коммутатором в качестве входных данных использует информацию о загруженности коммутатора  $S(t)$ , а в качестве выходных формирует управляющие воздействия на сетевое оборудование, непосредственно подключенное к коммутатору (абонентов портов коммутатора)  $u_1(t)$ , и приоритетность обслуживания пакетов в очереди  $u_2(t)$ . Коммутатор обслуживает поток пакетов (при этом интенсивность выходного потока  $\mu_{\Sigma}$ ) и информирует устройство управления о своей занятости ( $S(t)$ ).

Цель управления потоком состоит в поддержке максимально возможной скорости обработки пакетов при гарантии отсутствия потерь из-за переполнения входного буфера коммутатора.

Процесс функционирования коммутатора описывается известной моделью Эрланга [7], при этом в качестве исходных данных выступают количество его рабочих каналов (линий об-

работки поступающих пакетов) и объем его буфера. Такой подход позволяет с помощью первой формулы Эрланга оценить вероятность отказа при заданных значениях  $\lambda_{\Sigma}(t)$  и  $\mu_{\Sigma}$  [7]. Таким образом, задаваясь пороговым значением вероятности отказа можно достичь цели управления путем оптимизации управления потоком заявок, которое обеспечивается за счет оперативного увеличения или уменьшения величины  $\lambda_{\Sigma}(t)$ . Для этого необходимо выполнение следующего условия: время формирования и передачи управляющего воздействия  $u_1(t_0)$ , запрещающего передачу заявок абонентскому устройству, не должно превышать периода  $T_0$  поступления заявок на момент времени  $t_0$ .

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}(t_0)}. \quad (1)$$

Вследствие неоднородности парциальных интенсивностей поступления заявок от различных абонентских станций (реализуются различные виды услуг, такие как телефон, данные, видеоинформация и др.) суммарная интенсивность поступления заявок от абонентов коммутатора является нестационарной, но при достаточно длительном времени функционирования сети будет подчиняться закону распределения, близкому к экспоненциальному. Пусть известно математическое ожидание  $M[\lambda_{\Sigma}(t)]$  случайной величины  $\lambda_{\Sigma}(t)$ . Тогда, зная производительность рабочих каналов, выраженную через  $\mu_{\Sigma}$ , можно подобрать оптимальный по критерию цена – производительность коммутатор. При этом математическая интерпретация такой задачи будет иметь вид:

$$C = f(m, n) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $C$  – целевая функция минимизации стоимости коммутатора от объема буфера ( $m$ ) и количества каналов обработки пакетов ( $n$ ).

При этом имеют место ограничения по вероятности отказа

$$P_{\text{отк}} = P_{\text{отк}}^{\text{mp}}$$

среднему числу заявок в очереди  $\bar{k}_{\text{очер}} = \bar{k}_{\text{очер}}^{\text{mp}}$  и

среднему времени пребывания пакета в очереди  $\tau_{очер} = \tau_{очер}^{mp}$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{отк}^{mp} \leq \frac{\rho^{m+n}}{n^m \cdot n!} \cdot P_0 \\ \tau_{очер}^{mp} \leq \frac{k_{очер}}{\lambda_{\Sigma}(t)} \\ \bar{k}_{очер}^{mp} \leq \frac{\rho^{n+1} \left( 1 - \binom{\rho}{n} \left( m+1 - \frac{m \cdot \rho}{n} \right) \right)}{n \cdot n! \left( 1 - \frac{\rho}{n} \right)^2} \cdot P_0 \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где  $P_0 = \left( \sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^{n+1} \left( 1 - \binom{\rho}{n} \right)}{n!(n-\rho)} \right)^{-1}$ , (4)

находимые по известным из теории телетрафика соотношениям [8];

$\rho$  – отношение параметра потока поступающих пакетов к интенсивности их обработки:

$$\rho = \frac{\lambda_{\Sigma}(t)}{\mu_{\Sigma}}. \quad (5)$$

Решив данную задачу нелинейного программирования, получим оптимальные значения количества каналов обработки пакетов –  $n$  и объема буфера –  $m$ . При достаточно большом времени функционирования сети вырастет вероятность пребывания коммутатора в одном из устойчивых состояний. При этом будет обеспечиваться требование по вероятности отказа, а применение внешнего программного контроля коммутатора позволит избежать всплесков информационной нагрузки и тем самым повысить устойчивость работы сети.

С помощью программной конфигурации сетей передачи данных возможно решение и других задач повышения эффективности функционирования сетевого оборудования [9], таких как оптимальное распределение информационных

потоков [10], обнаружение и локализация неисправностей сетевой инфраструктуры, вопросы безопасности информационного обмена и другие.

В заключение стоит отметить следующее. Сети передачи данных в классическом исполнении не способны удовлетворять постоянно возрастающие запросы мобильных абонентов. На выручку приходят самоорганизующиеся сети по технологии mesh, которые обладают рядом своих недостатков, препятствующих их дальнейшему развитию. Активно развивающаяся технология программно-конфигурируемых сетей способна вдохнуть новую жизнь в известные сетевые решения, в том числе и для мобильных объектов. Таким образом, промышленным предприятиям и научно-исследовательским организациям силовых структур совместно с другими отечественными производителями необходимо в приоритетном порядке разработать стратегию внедрения отечественных технологий SDN в коммуникационную составляющую функционирования мобильных объектов управления.

### Литература

1. Чачин П. Программно-конфигурируемые сети становятся мэйнстримом. <http://www.pcweek.ru> 14.07.2015 г.
2. Апрышкина Г. Мониторинг в корпоративных сетях // КомпьютерПресс, №7. 2001.
3. Осипов И.Е. Mesh-сети: технологии, приложения, оборудование // Технологии и средства связи, 2006. №4. С. 38-45.
4. Рынку SDN обещают двузначный рост. <http://www.iksmedia.ru/news>. 24.07. 2014.
5. OpenFlow Specification 1.3. Open Networking Foundation. 2011.
6. Орлов С. и др. // Журнал сетевых решений/LAN, 2014. №6.
7. Потапов С.Е., Исаева Т.А. Оптимизация параметров узла коммутации сети передачи данных с интеграцией служб // Труды LXIII научной сессии РНТОРЭС им. Попова. М.: РНТОРЭС им. Попова, 2012. С. 243.
8. Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика. М.: Связь, 1979. 224 с.
9. Потапов С.Е. Проектирование коммутационного оборудования для сетей SDN [Текст] / С.Е. Потапов, В.Е. Тонкин, С.С. Чайков, В.Д. Рублев // Междун. науч.-исследов. журн. Екатеринбург, 2015. №10(41). Ч. 2. С. 103-106.
10. Цимбал В.А. Информационный обмен в сетях передачи данных. Марковский подход. Монография. М.: Вузовская книга, 2014. 114 с.

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.396

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ АНТЕННЫХ СИСТЕМ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КОСМОДРОМА «ПЛЕСЕЦК» MATHEMATICAL MODEL OF ACHIEVEMENT OF A LIMIT CONDITION OF ANTENNA SYSTEMS OF GROUND STATIONS OF A MEASURING COMPLEX OF THE PLESETSK SPACEPORT

**Андрей Николаевич Миронов**

доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры Ракет-носителей  
и ракетных двигателей  
Военно-космическая академия  
им. А.Ф. Можайского  
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,  
ул. Ждановская, д. 13  
Телефон: +7(911)275-08-00  
E-mail: mironov-anik@yandex.ru

**Владимир Юрьевич Пальгунов**

заместитель начальника  
учебно-методического отдела  
Военно-космическая академия  
им. А.Ф. Можайского  
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,  
ул. Ждановская, д. 13  
Телефон: +7(981)255-68-05  
E-mail: palgunov\_vl\_yur@mail.ru

**Александр Александрович Ковальский**

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

#### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы разработки математической модели достижения предельного состояния антенных систем (АС) наземных станций (НС) измерительного комплекса космодрома (ИКК), которая может быть применена для прогнозирования остаточного ресурса (срока службы) АС НС ИКК.

**Ключевые слова:** оценка технического состояния, прогнозирование остаточного ресурса, антенная система.

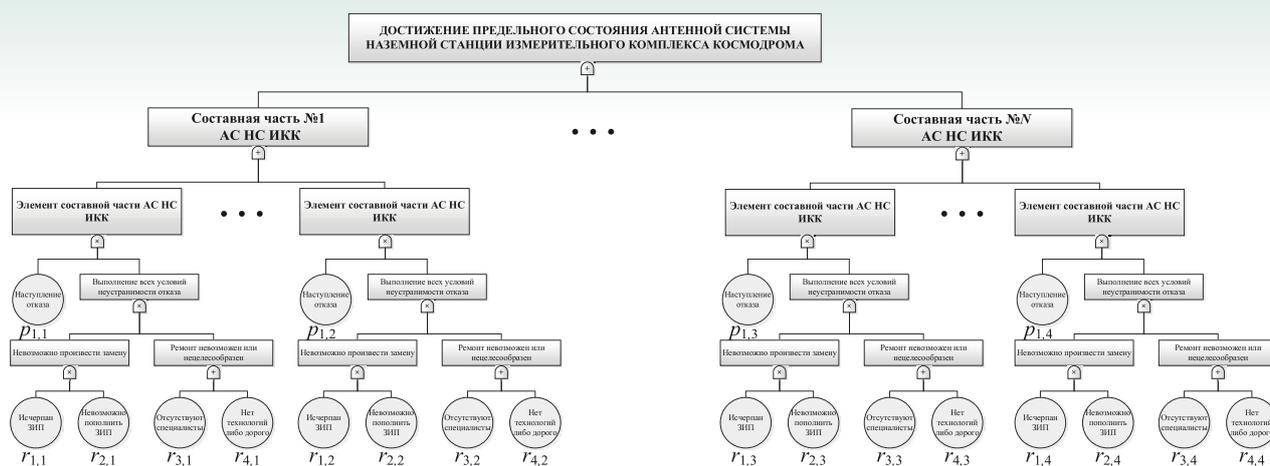
#### Summary

In the article the questions of development of mathematical model of achievement of a limit condition of the antenna systems (AS) of the ground stations (GS) of the measuring complex of the spaceport (MCS) which can be applied to forecasting of a residual resource (service life) AS of MCS are considered.

**Keywords:** assessment of technical condition, forecasting of a residual resource, antenna system.

В настоящее время в Вооруженных силах Российской Федерации важную роль играют Космические войска. Успешное решение возложенных на них задач невозможно без развертывания, восполнения и управления функционированием орбитальных группировок космических аппаратов. При этом важная роль отводится операциям: контроля всех этапов подго-

товки пуска и пуска ракет космического назначения; контроля выведения полезной нагрузки на заданную орбиту; последующего управления космических аппаратов в орбитальном полете. Выполнение данных задач возложено на измерительный комплекс космодрома (ИКК) «Плесецк». Типовым средством ИКК является наземная станция (НС), содержащая антенную



**Рис. 1.** Дерево достижения предельного состояния АС НС ИКК с вероятностными функциями элементов

систему (АС), которая, в свою очередь включает в себя опорно-поворотное устройство (ОПУ), зеркальную систему (решетку) и комплект радиочастотного оборудования.

Эксплуатация АС НС на космодроме «Плесецк» характеризуется следующими особенностями:

- надежность оборудования АС НС снижается вследствие ухудшения параметров технического состояния в процессе длительной эксплуатации. Большинство НС ИКК «Плесецк» изготовлены в 70-х – 80-х годах и введены в эксплуатацию в период с 1970 по 1985 год. Средний срок эксплуатации составляет более 27 лет, при гарантийном сроке – 10 лет;

- узлы и механизмы ОПУ АС НС (металлоконструкции, приводы наведения, электрооборудование приводов наведения) эксплуатируются на открытом воздухе в условиях существенной сезонной разности температур, от  $-45^{\circ}\text{C}$  зимой до  $+35^{\circ}\text{C}$  летом, и влажности от 45% до 95% соответственно. Эти причины вызывают повышенный износ ряда механических, электромеханических элементов ОПУ АС НС, контрольных кабелей, которые необходимо восстанавливать или заменять;

- в условиях недостаточного финансирования модернизации и обновления существующего парка АС НС возрастает актуальность задачи продления назначенных показателей срока службы АС НС ИКК с выборочным восстановлением запаса остаточного срока службы наиболее критичных элементов оборудования.

В то же время практика эксплуатации показывает, что возможности восстановления работоспособного состояния оборудования АС НС ограничиваются из-за исчерпания запасных ча-

стей, инструментов, принадлежностей (ЗИП) и снятия с производства отдельных комплектующих, а также ограниченного финансирования ремонтных работ.

Кроме того, ограниченность исходных данных о надежности элементной базы АС НС и о возможностях восстановления работоспособного состояния оборудования затрудняет получение достоверных прогнозов остаточного срока службы элементов оборудования и соответственно – обоснование сроков и объемов работ по продлению назначенных показателей срока службы.

Приведенные доводы свидетельствуют о необходимости разработки научно-методического аппарата по оценке технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса АС НС ИКК. В основу данного научно-методического аппарата необходимо положить математическую модель достижения предельного состояния АС НС ИКК и соответствующей ей вероятностной функции, полученной на основе формализации «дерева» достижения предельного состояния, пример которого изображен на *рисунке 1*.

Предельное состояние системы – это состояние, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Дерево предельного состояния представляет собой графическое отображение причинно-следственных связей между наступлением предельного состояния объекта с отказами (переходами в предельное состояние его элементов) и другими событиями. В качестве других событий

могут, в частности, рассматриваться события, заключающиеся в снижении возможностей системы восстановления технического ресурса (исчерпанием ЗИП, невозможностью восполнения ЗИП, отсутствием условий для проведения ремонта и т.п.) [1].

Вероятности событий, являющиеся компонентами вероятностной функции достижения предельного состояния (ДПС), определяются исходя из физической природы процессов, приводящих к наступлению каждого из них. Численные значения вероятностей наступления каждого события рассчитываются на основе физических, физико-статистических или статистических моделей, в зависимости от возможности получения исходных данных и характера описываемых процессов. Исходными данными для расчетов на основе физических и физико-статистических моделей являются параметры технического состояния, полученные в ходе визуального и измерительного контроля, в том числе с использованием приборов неразрушающего контроля [2].

Критериями предельного состояния объекта является установленные в стандартах и конструкторских документах признаки состояния объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация невозможна, нецелесообразна или опасна. В основу формирования критериев предельного состояния АС НС ИКК целесообразно положить признаки, характеризующие невозможность восстановления работоспособного состояния [3].

Критерием достижения предельного состояния (ПС) АС НС ИКК является выполнение условия:

$$G: P_{\text{НДПС}}^{\text{АС}} \leq \frac{\gamma}{100\%}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{НДПС}}^{\text{АС}}$  – вероятность недостижения предельного состояния (ВНПС) АС НС ИКК;  
 $\gamma$  – условный приемлемый уровень вероятности недостижения предельного состояния (гамма), принимается для АС НС ИКК на основе таблицы 1.

**Таблица 1**

Рекомендации для выбора значения параметра  $\gamma$  (в процентах)

Характеристика объекта и условий эксплуатации	Значение параметра $\gamma$ (%)
Общепромышленный объект с невысокой ценой отказа, функционирующий в стабильных условиях	90

Характеристика объекта и условий эксплуатации	Значение параметра $\gamma$ (%)
Общепромышленный объект с высокой ценой отказа, функционирующий в стабильных условиях	95
Уникальный объект с высокой ценой отказа, функционирующий в нестабильных (изменяющихся) условиях эксплуатации	99

Для более подробного представления математической модели достижения предельного состояния системой необходимо получить логическую функцию достижения предельного состояния системы, которая может быть получена путем формализации «дерева» достижения предельного состояния:

$$Y_{\text{АС}} = Z_{\text{СЧ}1} \vee Z_{\text{СЧ}2} \vee \dots \vee Z_{\text{СЧ}N}, \quad (2)$$

где  $Y$  – логическая функция первого уровня;

$Z$  – логическая функция второго уровня;

$Y_{\text{АС}}$  – достижение предельного состояния АС НС ИКК;

$Z_{\text{СЧ}}$  – достижение предельного состояния СЧ АС НС ИКК;

Вероятностная функция недостижения предельного состояния (ВНПС) АС НС ИКК имеет вид:

$$P_{\text{НДПС}}^{\text{АС}}(t) = \prod_{i=1}^m \left\{ 1 - [1 - p_{1i}(t)] \times [1 - r_{1i}(t)] \times \right. \\ \left. \times [1 - r_{2i}(t)] \times [1 - r_{3i}(t)] \times r_{4i}(t) \right\}, \quad (3)$$

где  $p_{1i}(t)$  – вероятностей безотказной работы элементов СЧ АС НС ИКК;

$r_{1i}(t)$  – вероятностей исчерпания ЗИП элементов СЧ АС НС ИКК;

$r_{2i}(t)$  – вероятностей пополнения ЗИП элементов СЧ АС НС ИКК;

$r_{3i}(t)$  – вероятностей наличия специалистов по ремонту элементов СЧ АС НС ИКК;

$r_{4i}(t)$  – вероятностей наличия доступных технологий ремонта элементов СЧ АС НС ИКК;

$m$  – количество элементов СЧ АС НС ИКК.

Значения  $p_{1i}(t)$  – вероятностей безотказной работы элементов СЧ АС НС ИКК рассчитаны на основе выражения:

$$p_{1i}(t) = e^{-\lambda_i \times t}, \quad (4)$$

где  $\lambda_i$  – значение интенсивности отказа  $i$ -го элемента СЧ АС НС ИКК, рассчитываемое по формуле:

$$\lambda_i = \frac{1}{T_i}, \quad (5)$$

где  $\bar{T}_i$  – средняя наработка на отказ  $i$ -го элемента СЧ АС НС ИКК. Оценки параметров  $\lambda_i$  и  $\bar{T}_i$  могут быть либо взяты из справочников по надежности, либо получены методом экспертного оценивания, либо рассчитаны по результатам мониторинга технического состояния.

Значения  $r_{1i}(t)$  – вероятностей исчерпания ЗИП элемента СЧ АС НС ИКК рассчитываются следующим образом. В результате мониторинга определяются значения текущих запасов для каждого элемента СЧ в виде числа запасных элементов  $M_i$ .

ЗИП из  $M_i$  элементов не будет исчерпан, если число отказов  $N(t)$  за время  $(0, t)$  не превысит  $M_i - 1$ , т.е.:

$$\eta_{1i}(t) = P\{N(t) \leq M_i - 1\} = \sum_{m=1}^{M_i-1} P\{N(t) = m\}, \quad (6)$$

где вероятность  $P\{N(t) = m\}$  рассчитывается в предположении о том, что поток отказов (восстановлений) – простейший, по формуле:

$$P\{N(t) = m\} = \frac{(ht)^m}{m!} \times e^{-ht}, \quad (7)$$

где  $h = \frac{N(t)}{t}$  – параметр потока отказов;

$N(t)$  – число отказов за интервал времени  $(0, t)$ .

Значение  $N(t)$  может быть получено в ходе мониторинга технического состояния. Тогда можно записать:

$$\eta_{1i}(t) = \sum_{m=1}^{M_i-1} \frac{(ht)^m}{m!} \times e^{-ht}. \quad (8)$$

Значения вероятностей  $r_{2i}(t)$  пополнения ЗИП элемента СЧ АС НС ИКК для фиксированного временного интервала  $(0, t)$  предлагается оценивать экспертно с помощью лингвистической шкалы, представленной в *таблице 2*.

**Таблица 2**

Шкала для оценивания вероятности пополнения ЗИП

Градации лингвистической оценки фактических вероятностей пополнения ЗИП	Значение вероятности $r_{2i}(t)$
Пополнение ЗИП невозможно (комплектующие сняты с производства, возобновление производства невозможно по техническим, либо экономическим критериям)	0
Пополнение ЗИП возможно, но с существенными затратами финансовых, материальных и временных ресурсов	0,5

Градации лингвистической оценки фактических вероятностей пополнения ЗИП	Значение вероятности $r_{2i}(t)$
Пополнение ЗИП возможно (комплектующие производятся промышленностью, либо имеется достаточный их запас на складах, затраты на поставку ЗИП приемлемы с учетом экономических возможностей эксплуатирующей организации)	1

Значения вероятностей  $r_{3i}(t)$  наличия специалистов по ремонту элементов СЧ АС НС ИКК для фиксированного временного интервала  $(0, t)$  предлагается оценивать экспертно с помощью лингвистической шкалы, представленной в *таблице 3*.

**Таблица 3**

Шкала для оценивания вероятности наличия специалистов по ремонту элементов СЧ АС НС ИКК

Градации лингвистической оценки вероятности наличия специалистов по ремонту элементов СЧ АС НС ИКК	Значение вероятности $r_{3i}(t)$
Специалистов нет (в наличии нет подготовленных специалистов, подготовка и переподготовка не производится, восстановление процесса подготовки невозможно по методическим, экономическим или другим критериям)	0
Привлечение специалистов возможно, но с существенными затратами финансовых, материальных и временных ресурсов	0,5
Специалисты по ремонту в наличии, либо существует сервисное обслуживание	1

Значения вероятностей  $r_{4i}(t)$  наличия доступных технологий ремонта элементов СЧ АС НС ИКК для фиксированного временного интервала  $(0, t)$  предлагается оценивать экспертно с помощью лингвистической шкалы, представленной в *таблице 4*.

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

**Таблица 4**

Шкала для оценивания вероятностей наличия доступных технологий ремонта элементов СЧ АС НС ИКК

Градации лингвистической оценки фактических возможностей выполнения ремонтных работ	Значение вероятности $r_{4i}(t)$
Ремонт невозможен (технология ремонта утрачена, восстановление технологии ремонта невозможно по техническим, либо экономическим критериям)	0
Ремонт возможен, но с существенными затратами финансовых, материальных и временных ресурсов	0,5
Ремонт возможен (технология ремонта имеется, затраты на ремонт приемлемы с учетом экономических возможностей эксплуатирующей организации)	1

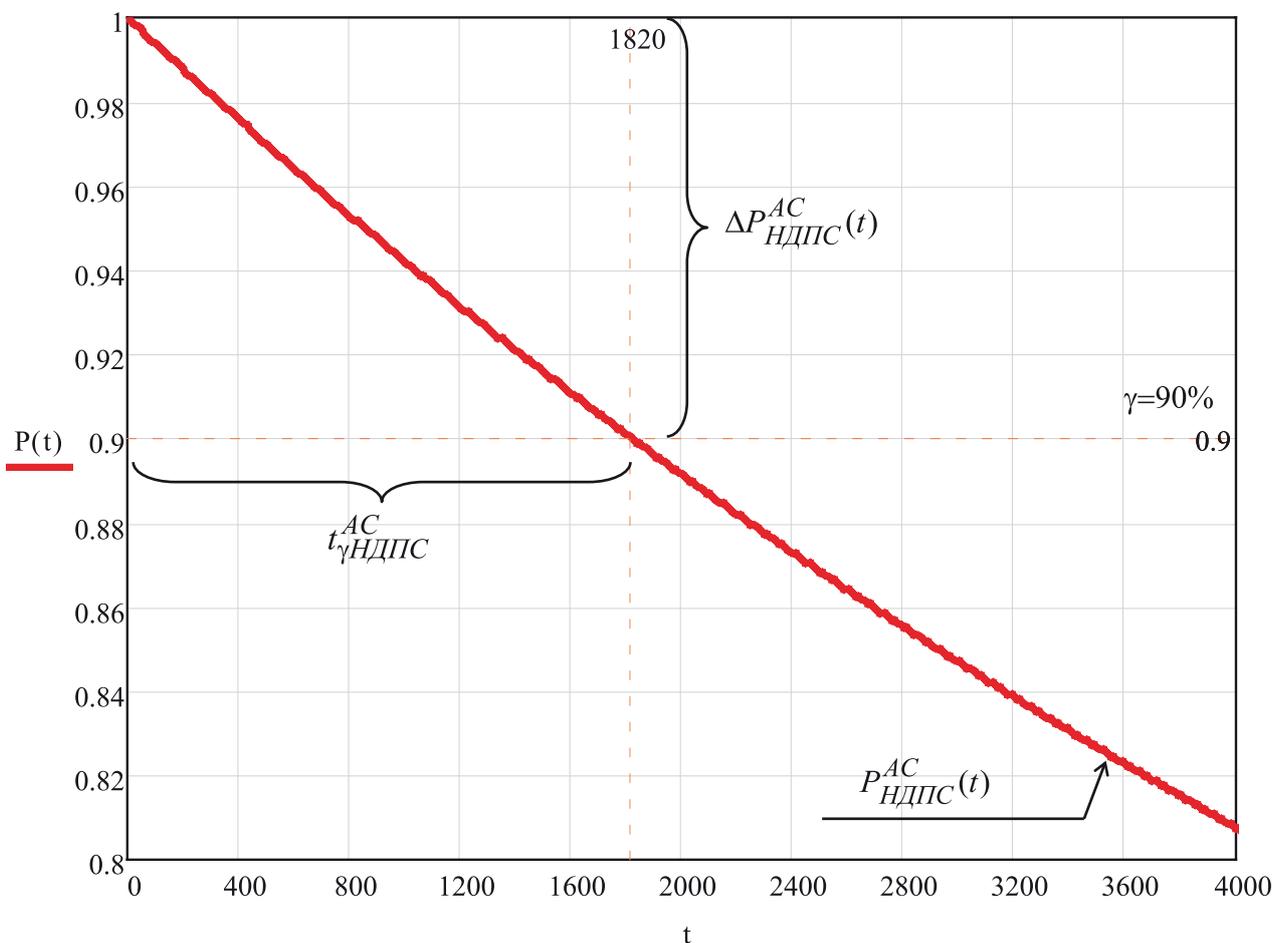
Обобщенные данные для расчета вероятности недостижения предельного состояния АС НС ИКК заносятся в *таблицу 5*.

**Таблица 5**

Обобщенные данные для расчета ВНПС АС НС ИКК

	$p_{1i}(t)$	$r_{1i}(t)$	$r_{2i}(t)$	$r_{3i}(t)$	$r_{4i}(t)$
$i=1$					
$i=2$					
...					
$i=m$					

Значения функции ВНПС АС НС ИКК от времени, с использованием исходных данных взятых из *таблицы 5*, рассчитываются по формуле (3). Совокупность полученных значений функции образует график, приведенный на *рисунке 2*. При выбранном уровне  $\gamma$ , например равным 90%, находим величину остаточного гамма-процентного ресурса для АС НС ИКК. Вычислив среднегодовую суммарную наработку АС НС ИКК, рассчитываем значение остаточного гамма-процентного срока службы.



**Рис. 2.** Пример графика ВНПС для АС НС ИКК при выбранном уровне  $\gamma=90\%$

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Таким образом, применение разработанной математической модели достижения предельного состояния антенных систем наземных станций измерительного комплекса позволяет рассчитать остаточный срок службы объектов космодрома «Плесецк».

### Литература

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Т. 6: Экспериментальная

отработка и испытания / Под общ. ред. Р.С. Судакова, О.Н. Тескина. М.: Машиностроение, 1986. 376 с.

2. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Т. 1. Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.Н Рембезы. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.

3. РД 50-202-80. Методические указания. Надежность в технике. Критерии отказов и предельных состояний. Правила установления в стандартах и конструкторских документах. М.: Изд. Стандартов, 1980.



## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.396

### МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ РЕСУРСА СЕТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ РАЗНОРОДНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ТРАФИКА

### MODEL AND ALGORITHM OF MANAGEMENT OF PROCESS OF RESERVATION OF A RESOURCE OF A NETWORK OF SATELLITE COMMUNICATION AT SERVICE OF THE DIVERSE NON-STATIONARY TRAFFIC

#### Игорь Святославович Топорков

заместитель командующего  
Космическими войсками по вооружению  
Адрес: 117485, Москва,  
ул. Профсоюзная, д. 84/32  
Тел.: +7(499)794-81-40  
E-mail: toporcov.ig@gmail.com

#### Александр Александрович Ковальский

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

#### Салават Халилович Зиннуров

адъюнкт кафедры  
Сетей и систем связи космических комплексов  
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского  
Адрес: 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13  
Тел.: +7(981)781-71-29 E-mail: : zinnurov\_salavat.89@mail.ru

#### Аннотация

В статье рассматривается организация статистического уплотнения разнородного трафика в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи (ЗССС). Разработаны модели статистического уплотнения и алгоритмы диспетчеризации разнородного трафика с учетом приоритетов в обслуживании и нестационарности входящих информационных потоков. Проведено исследование зависимостей увеличения пропускной способности ЗССС от применения технологии статистического уплотнения и изменения параметров качества обслуживания разнородного трафика.

**Ключевые слова:** статистическое уплотнение, диспетчеризация трафика, земная станция спутниковой связи.

#### Summary

In article the organization of statistical consolidation of a diverse traffic in channeling equipment of the terrestrial stations of satellite communication (TSSC) is considered. Models of statistical consolidation and algorithms of scheduling of a diverse traffic taking into account priorities in service and not stationarity of the entering information flows are developed. Research of dependences of increase in throughput of TSSC on application of technology of statistical consolidation and change of parameters of quality of service of a diverse traffic is conducted.

**Keywords:** statistical consolidation, scheduling of a traffic, terrestrial station of satellite communication.

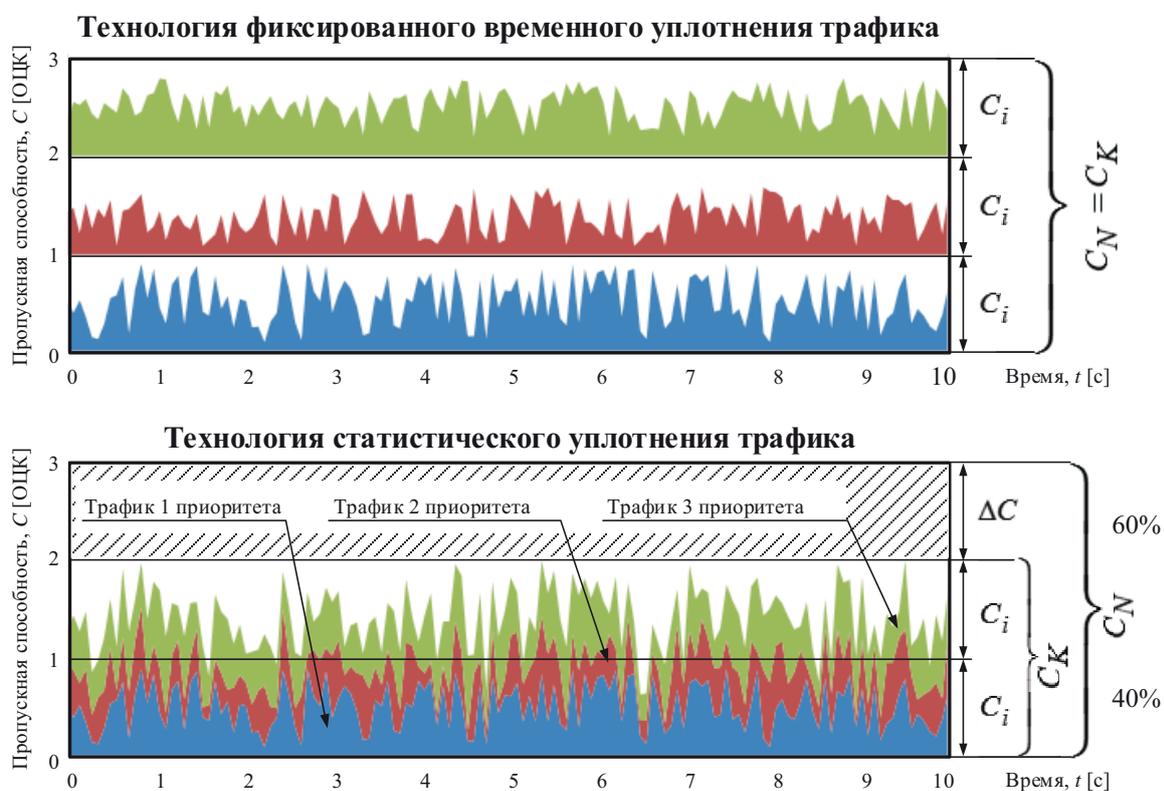
## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Важное место в телекоммуникационной инфраструктуре государства и Вооруженных сил Российской Федерации занимают системы спутниковой связи (ССС). Широкое распространение спутниковой связи обусловлено такими уникальными ее свойствами, как высокая гибкость реконфигурации сетей, возможность оперативной организации связи на обширных пространствах и пересеченной местности, независимость стоимости и качества спутниковых каналов от их протяженности. Возросшая динамика ведения вооруженной борьбы в современных условиях предъявляет повышенные требования к оперативности управления войсками и оружием. Единственным средством обеспечения заданных требований в сложных условиях, особенно, на необорудованных театрах военных действий является применение военных сетей спутниковой связи (ВССС). При этом возрастающий уровень автоматизации управления войсками и оружием приводит к значительному росту объемов передаваемых информационных потоков, а также качественному изменению их структуры. Структура трафика современных мультисервисных сетей включает одновременно передаваемые потоки речевой и видеoinформации, изображения, а также команды (сигналы) боевого управления и т.п. Такие информационные пото-

ки предъявляют существенно различающиеся и все более жесткие требования к качеству обслуживания. Однако ограниченность частотно-временного энергетического ресурса (далее – радиоресурса) космических аппаратов связи (КАС), необходимость учета различных режимов эксплуатации земных станций спутниковой связи (ЗССС) не позволяют достигать необходимого качества только за счет экстенсивного наращивания орбитального ресурса и требуют принятия специальных мер для обеспечения заданной пропускной способности ВССС в любых условиях обстановки.

Возрастающие объемы передаваемой информации при высоких требованиях к оперативности ее доставки в системах управления войсками и оружием, с одной стороны, и ограниченность радиоресурса КАС, с другой стороны, определяют наличие противоречия, заключающегося в невозможности удовлетворить перспективные требования по объемам информации и качеству обслуживания абонентов ВССС при передаче мультисервисного трафика в условиях динамично изменяющейся обстановки.

При существующей технологии уплотнения трафика в ЗССС выделение радиоресурса происходит под пиковые значения интенсивности информационного потока без учета статистиче-



**Рис. 1.** Сравнение пропускной способности ЗССС при различных технологиях уплотнения трафика

ских характеристик мультисервисного трафика, что выражается в недоиспользовании радиоресурса при общем его дефиците. Поэтому особую актуальность приобретает задача обеспечения высокой пропускной способности военных сетей спутниковой связи при передаче мультисервисного трафика за счет учета его статистических характеристик и дифференциации качества обслуживания разнородных абонентов при уплотнении спутниковых радиолиний.

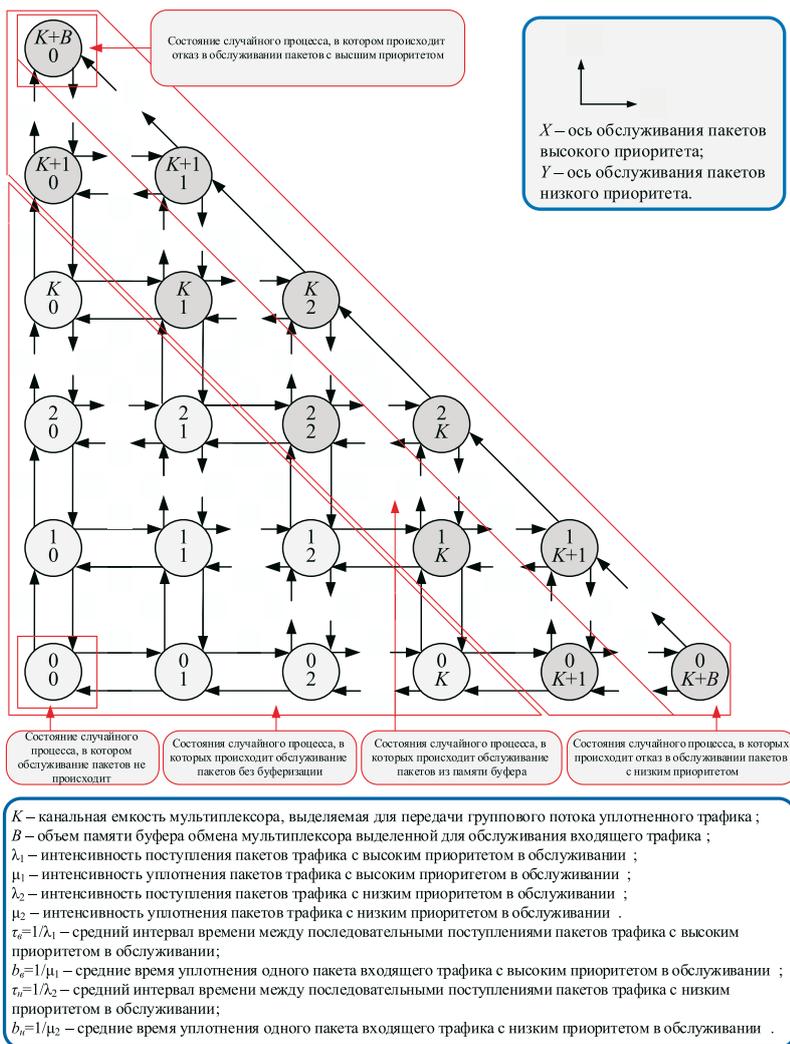
В состав каналообразующей аппаратуры ЗССС входит модемное оборудование с адаптивными режимами модуляции и помехоустойчивого кодирования, а также мультиплексор с технологией временного уплотнения каналов. Режимы работы модемного оборудования могут выбираться адаптивно или назначаться директивно в зависимости от условий оперативно-тактической обстановки. К мультиплексору подключены сети доступа, состоящие из конечных

устройств-источников мультисервисного трафика. Мультиплексор формирует стандартные каналы связи, обеспечивая транспорт для передачи мультисервисного трафика, при этом конкретное число каналов зависит от режима работы модемного оборудования ЗССС.

Анализ статистических свойств разнородного трафика ВССС позволил сделать вывод, что фактическая загрузка каналов спутниковой связи с учетом временных пауз не превышает в среднем 40%. Данный факт, в первую очередь, связан со спецификой работы телекоммуникационных служб (клиент-серверных приложений, IP-телефонии и других видов диалогового трафика). Наличие длительных временных пауз при работе различных приложений позволяет организовать дополнительные каналы (*рисунк 1*), однако при этом качество передачи информации не должно опускаться ниже нормированных показателей, особенно для приоритетных абонентов ВССС. Таким образом, возникает противоречие, заключающееся в наличии временных пауз, которые можно использовать как резерв для организации дополнительных каналов связи путем статистического уплотнения и необходимостью поддержания качества обслуживания приоритетных абонентов и прочих приложений.

Разрешение данного противоречия требует построения особого класса моделей, которые, с одной стороны, способны учитывать статистические свойства трафика, его разнородность и нестационарность, а с другой стороны, обеспечить требуемое качество обслуживания приоритетных источников.

Для оценки эффективности применения технологии статистического уплотнения трафика введен показатель качества коэффициент уплотнения спутниковой радиолинии, который показывает отношение числа виртуальных (логических) каналов связи к числу стандартных физических каналов, формируемых типовым мультиплексором ЗССС. Тогда задача исследования, формально, состоит в максимизации показателя путем разработки моделей статистического уплотнения и алгоритмов диспетчеризации разнородного



**Рис. 2.** Модель статистического уплотнения разнородного трафика с учетом приоритетов в обслуживании

трафика при ограничениях на качество обслуживания:

$$\rho = \frac{C_N}{C_K} = \frac{N}{K} \rightarrow \max_{\{M_{CV}, A_{ДП}\}} \left\{ \begin{array}{l} P_{\Pi} \leq P_{\text{доп}}; \\ T_3 \leq T_{\text{доп}}. \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $\rho$  – коэффициент уплотнения спутниковой радиолинии;

$C_N$  – суммарная скорость группы виртуальных каналов связи;

$C_K$  – суммарная скорость группы физических каналов связи типового мультиплексора ЗССС;

$\Delta C$  – выигрыш в пропускной способности ЗССС при применении статистического уплотнения спутниковой радиолинии;

$N$  – число виртуальных каналов связи мультиплексора ЗССС;

$K$  – число стандартных физических каналов мультиплексора ЗССС;

$M_{CV}$  – модели статистического уплотнения разнородного трафика;

$A_{ДП}$  – алгоритмы диспетчеризации разнородного трафика;

$P_{\Pi}$  – вероятность потери пакета при статистическом уплотнении;

$P_{\text{доп}}$  – допустимая вероятность потери пакета согласно классу обслуживания;

$T_3$  – среднее время задержки пакета при статистическом уплотнении;

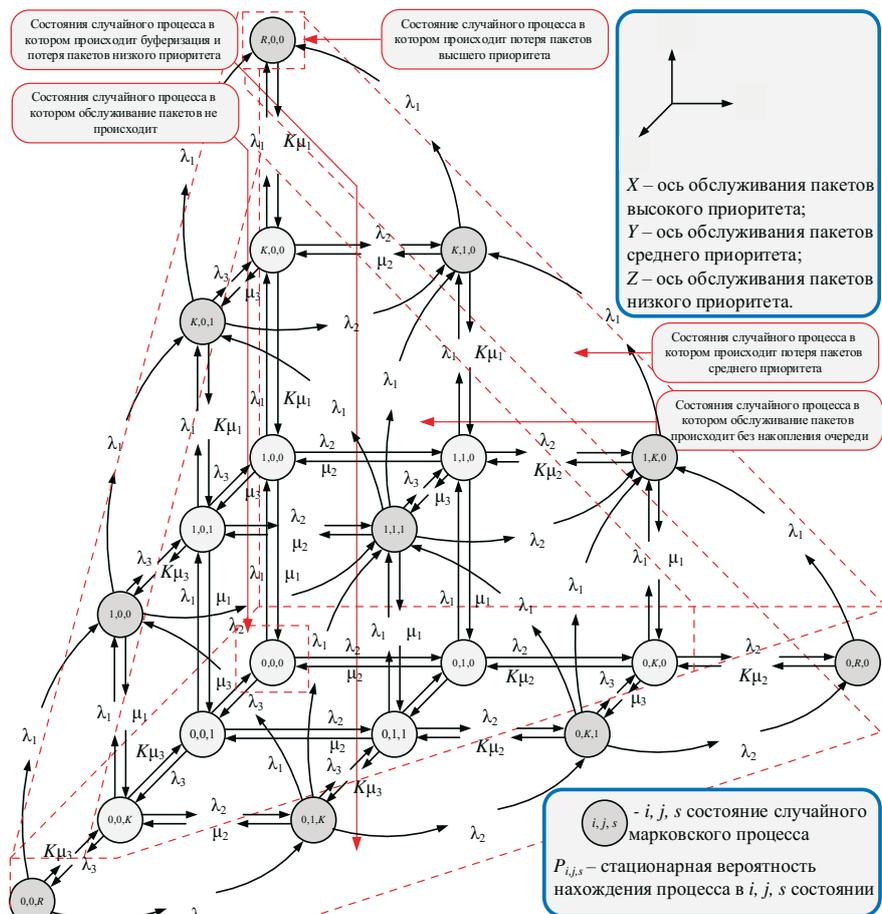
$T_{\text{доп}}$  – допустимое время задержки пакета согласно классу обслуживания.

Для исследования параметров трафика при его уплотнении разработана модель статистического уплотнения разнородного трафика, которая учитывает приоритеты в обслуживании. Данная модель представляет случайный марковский процесс, граф состояний которого представлен на рисунке 2. В качестве примера представлен процесс обслуживания двух потоков пакетов: с высшим (ось  $x$ ) и низшим (ось  $y$ ) приоритетами. Каждое состояние процесса характеризуется двумя индексами по числу пакетов соответствующего приоритета, находящихся на об-

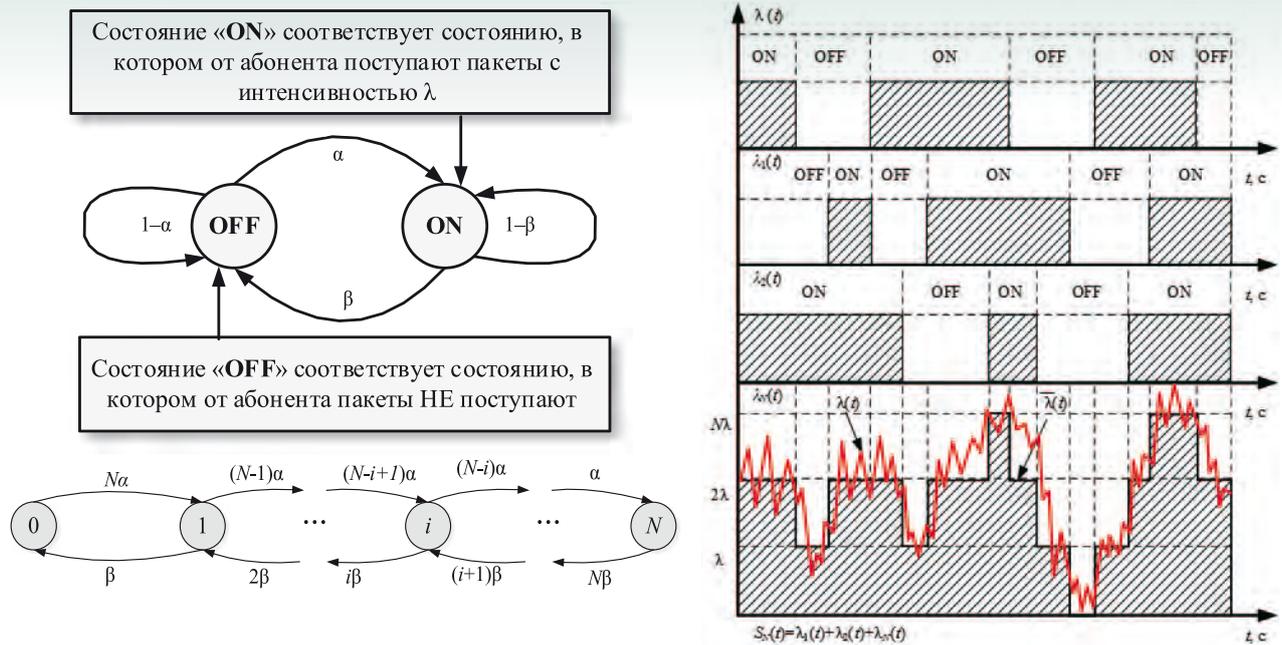
служивании в мультиплексоре, а переходы между состояниями – поступлением нового пакета, либо завершением его обслуживания. Для обслуживания пакетов мультиплексор распределяет каналный ресурс, максимальная емкость которого  $K$  каналов, в случае его недостатка поступающие пакеты вытесняют пакеты низшего приоритета либо помещаются в буфер емкостью  $B$ . При переполнении буфера пакеты высшего приоритета вытесняют из буфера пакеты с низким приоритетом.

Данный подход позволяет конструировать графы случайного марковского процесса различной сложности, путем введения дополнительных размерностей в пространстве состояний, что соответствует учету дополнительных приоритетов в обслуживании. На рисунке 3 представлен граф с учетом трех приоритетов в обслуживании – высшего, среднего и низшего, принцип работы модели остается тот же.

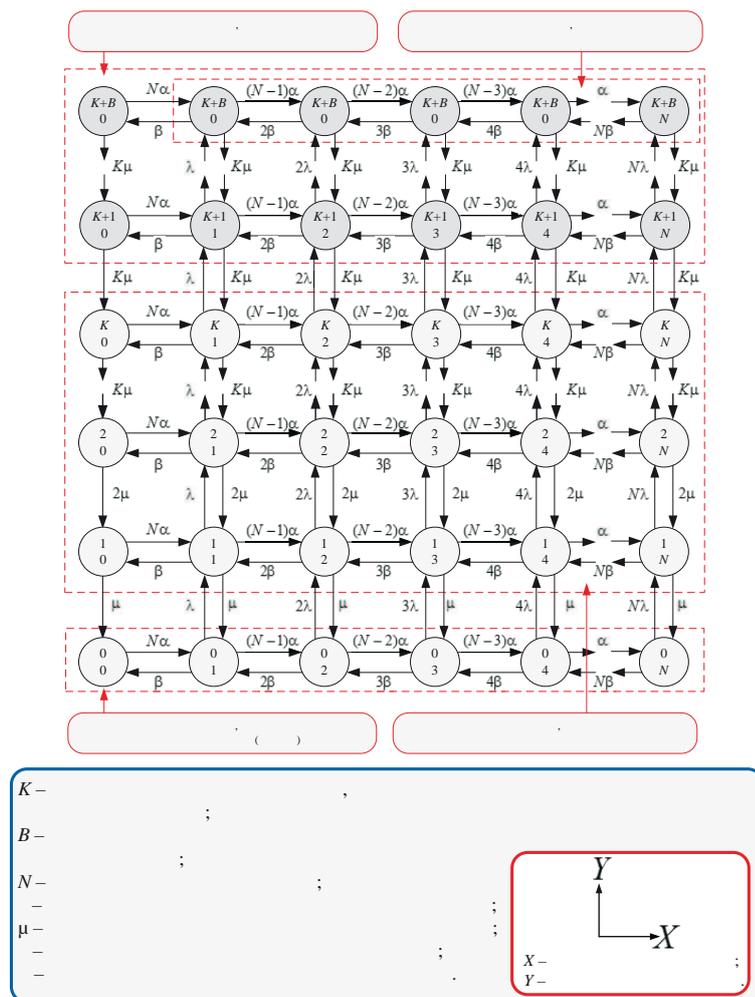
Существенным ограничением данного класса моделей является наличие допущения о том, что потоки пакетов на входе мультиплексора



**Рис. 3.** Развитие модели статистического уплотнения разнородного трафика с учетом приоритетов в обслуживании



**Рис. 4.** Подход к моделированию нестационарного трафика



**Рис. 5.** Модель статистического уплотнения однородного нестационарного трафика от группы источников

являются стационарными пуассоновскими потоками.

Как показывают исследования реального мультисервисного трафика в работах ряда отечественных и зарубежных ученых, его структура существенно отличается от простейшего пуассоновского потока и характеризуется нестационарностью, а также долговременной корреляционной зависимостью (самоподобностью). Одним из конструктивных направлений моделирования таких потоков, в рамках которого имеется возможность получения аналитического решения, является применение моделей ММПП. Частным случаем таких моделей являются модели прерываемых пуассоновских процессов (ON-OFF модели). Каждый источник при этом имеет следующую структуру. В период активности (ON-периоды) источник генерирует пуассоновский поток пакетов. После периода активности следует пауза (OFF-период), когда источник не генерирует пакеты. Длительности периодов активности и пауз являются случайными величинами, распределенными по экспоненциальному закону. Комбинация нескольких таких ON-OFF источников образует ММПП, интенсивность которого изменяется во времени, что позволяет

учесть нестационарность реальных входных потоков. Данный подход к моделированию нестационарного трафика представлен на *рисунке 4*. В качестве примера на *рисунке 4* изображен граф марковской цепи, моделирующей процесс передачи трафика от группы абонентов, который описывается системой дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена:

$$\begin{cases} \dot{p}_0(t) = -N\alpha p_0(t) + \beta p_1(t); \\ \dot{p}_i(t) = (N-i)\alpha p_{i-1}(t) - ((N-i)\alpha + \\ + (N-i+1)\beta) p_i(t) + (N-i)\beta p_{i+1}(t); \\ \dot{p}_N(t) = \alpha p_{N-1}(t) - N\beta p_N(t). \end{cases} \quad (2)$$

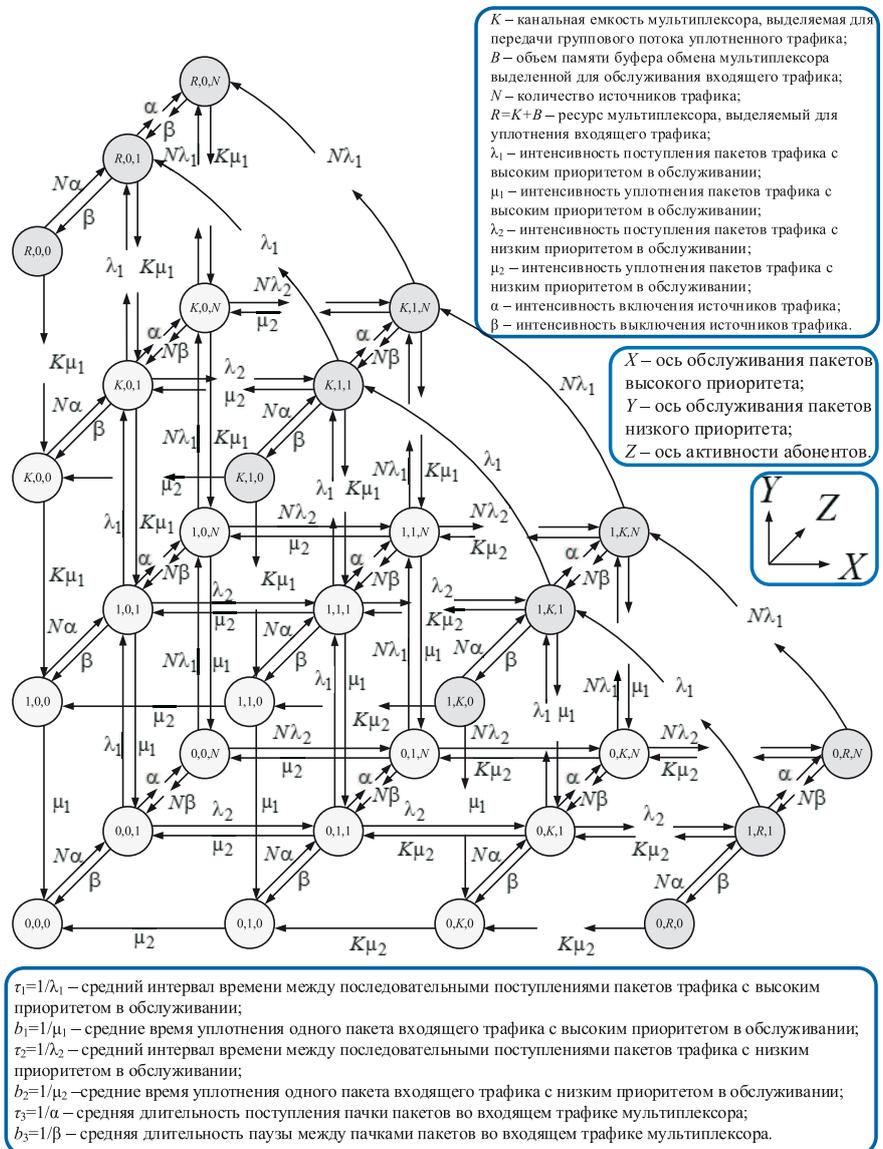
где  $P_i$  – стационарная вероятность нахождения процесса в  $i$ -м состоянии;  
 $\alpha = 1/\bar{t}_a$ ,  $\bar{t}_a$  – среднее время нахождения источника трафика в активном состоянии;  
 $\beta = 1/\bar{t}_п$ ,  $\bar{t}_п$  – среднее время нахождения источника трафика в пассивном состоянии.

Данный подход позволил разработать модель статистического уплотнения однородного нестационарного трафика в виде случайного марковского процесса, граф состояний которого изображен на *рисунке 5*. Модель описывает процесс обслуживания пакетов в мультиплексоре (ось  $y$ ), которые поступают с изменяющейся интенсивностью от группового источника состоящего из  $N$  абонентов (ось  $x$ ). Состояние процесса характеризуется двумя индексами: количеством пакетов, находящихся на обслуживании и числом активных источников.

Сочетание моделей приоритетного обслуживания и ММПП позволяет построить обобщенную модель уплотнения разнородного трафика, приведенную на *рисунке 6*, которая отличается от известных учетом нестационарности входящих информационных потоков и приоритетов в обслуживании. Приоритеты и разнород-

ность трафика учитываются по осям  $x$  и  $y$ , а изменение интенсивности трафика (нестационарность) – по оси  $z$ .

Использование разработанной методики позволяет рассчитать вероятности стационарных состояний случайного марковского процесса, моделирующего работу статистического мультиплексора и оценить вероятностно-временные характеристики качества обслуживания разнородного трафика. Методика расчета указанных характеристик включает 4 этапа. На 1 этапе составляется система уравнений баланса переходов, которая на 2 этапе приводится к системе линейных алгебраических уравнений, решение которой позволяет оценить значения вероятности



**Рис. 6.** Обобщенная модель статистического уплотнения разнородного трафика с учетом нестационарности информационных потоков и приоритетов в обслуживании

стей стационарных состояний. Один из методов решения данной системы уравнений в матричном виде представлен на 3 этапе. 4 этап предполагает непосредственно расчет ВВХ трафика.

Методика расчета ВВХ разнородного трафика:

Этап 1. Для расчета стационарных вероятностей состояний  $p_{i,j,k}$  рассматриваемой модели составляется система на основе уравнений баланса переходов:

$$\begin{cases} (\lambda_1 + \lambda_2)p_{i,j,k} = \mu_2 p_{i,j,k+1} + \mu_1 p_{i+1,j,k}, \\ i = 0, j = 0, k = 0; \\ (\lambda_1 + \lambda_2 + j\mu_2)p_{i,j,k} = j\lambda_2 p_{i,j,k-1} + \mu_1 p_{i+1,j,k} + j\mu_2 p_{i+1,j,k}, \\ i = 1, 1 \leq j < R, k = 0; \\ \dots \\ \sum_{k=0}^N \sum_{i=0}^R \sum_{j=0}^{R-i} p_{i,j,k} = 1 \end{cases} \quad (3)$$

Этап 2. Приведение к системе линейных алгебраических уравнений, описывающих граф модели:

$$\begin{cases} (\lambda_1 + \lambda_2)p_{000} = \mu_2 p_{010} + \mu_1 p_{100}; \\ (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)p_{010} = \lambda_2 p_{000} + \mu_1 p_{110} + 2\mu_2 p_{200}; \\ \dots \\ p_{000} + p_{100} + p_{200} + \dots + p_{R,R,N} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

Этап 3. Решение системы линейных алгебраических уравнений:

Вводится вектор:

$$P = [p_z = p_{ij}, z = \overline{1, Z}]^T \Rightarrow A \times P = B$$

где  $A$  –  $(Z+1)Z$ -мерная матрица интенсивностей переходов;

$P$  –  $Z$ -мерный вектор ненулевых состояний СМО;

$B$  –  $(Z+1)$ -мерный вектор правых частей.

Решение матричного уравнения:  $P = A' \times B$ , где  $A'$  – матрица, псевдообратная матрице  $A$ , определяемая как

$$A' = [A^T A]^{-1} A^T.$$

Этап 4. Расчет вероятности потери (переполнения буфера мультиплексора) пакетов с высоким и низким приоритетом:

$$P_{\Pi 1} = \sum_{k=1}^N p_{ijk}, i = R, j = 0; P_{\Pi 2} = \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^R p_{ijk}, j = R - i. \quad (5)$$

Расчет среднего времени задержки пакетов с высоким и низким приоритетом в памяти буфера мультиплексора до начала передачи:

$$\bar{q}_1 = \sum_{k=0}^N \sum_{i=K+1}^R (i-K) \sum_{j=0}^{R-i} p_{ijk}; \bar{q}_2 = \sum_{k=0}^N \sum_{l=1}^B \sum_{i=0}^{i=K+j} \sum_{j=K+l-i} p_{ijk}. \quad (6)$$

Расчет среднего времени задержки пакетов с высоким и низким приоритетом в памяти буфера мультиплексора до начала передачи:

$$\bar{\omega}_1 = \bar{q}_1 / [\lambda_1(1 - P_{\Pi 1})]; \bar{\omega}_2 = \bar{q}_2 / [\lambda_2(1 - P_{\Pi 2})]. \quad (7)$$

Расчет среднего времени задержки с высоким и низким приоритетом при обслуживании в мультиплексоре:

$$\bar{\tau}_1 = 1 / \mu_1; \quad \bar{\tau}_2 = 1 / \mu_2. \quad (8)$$

Расчет среднего времени задержки в мультиплексоре с высоким и низким приоритетом:

$$\begin{aligned} T_{31} &= \bar{\omega}_1 + \bar{\tau}_1 = \bar{q}_1 / [\lambda_1(1 - P_{\Pi 1})] + 1 / \mu_1; \\ T_{32} &= \bar{\omega}_2 + \bar{\tau}_2 = \bar{q}_2 / [\lambda_2(1 - P_{\Pi 2})] + 1 / \mu_2. \end{aligned} \quad (9)$$

Вычисление ВВХ трафика на основе разработанных моделей статистического уплотнения позволяет организовать итерационный процесс по расчету максимальных значений коэффициента уплотнений спутниковой радиолинии при заданных ограничениях, который производится численным методом:

$$\rho = \frac{N}{K} \rightarrow \max \begin{cases} P_{\Pi 1} \leq P_{\text{доп}1}, P_{\Pi 2} \leq P_{\text{доп}2}; \\ T_{31} \leq T_{\text{доп}1}, T_{32} \leq T_{\text{доп}2}. \end{cases} \quad (10)$$

Расчет ВВХ трафика при его уплотнении позволяет обоснованно управлять назначением приоритетов в обслуживании в зависимости от статистических характеристик входных потоков и пропускной способности каналов связи.

Для управления параметрами качества обслуживания разнородного трафика предложен алгоритм диспетчеризации потоков разнородного трафика при статистическом уплотнении (рисунки 7), который отличается от известных наличием механизма динамического назначения приоритетов при обслуживании разнородного трафика. Особенностью работы данного алгоритма является учет приоритетности пакетов трафика при поступлении в буфер мультиплексора. Если в буфере мультиплексора имеются пакеты трафика низкого приоритета, то при его переполнении происходит сброс пакета и помещение в буфер пакетов с более высоким приоритетом. При отказе в обслуживании пакетов высшего приоритета происходит коррекция показателей качества обслуживания, пересчет параметров модели и перераспределение приоритетов в обслуживании до тех пор, пока необходимое качество обслуживания не будет достигнуто.

В дополнение к первому алгоритму в работе предложен алгоритм диспетчеризации потоков разнородного трафика при статистическом уплотнении, представленный на рисунке 8, кото-

# РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

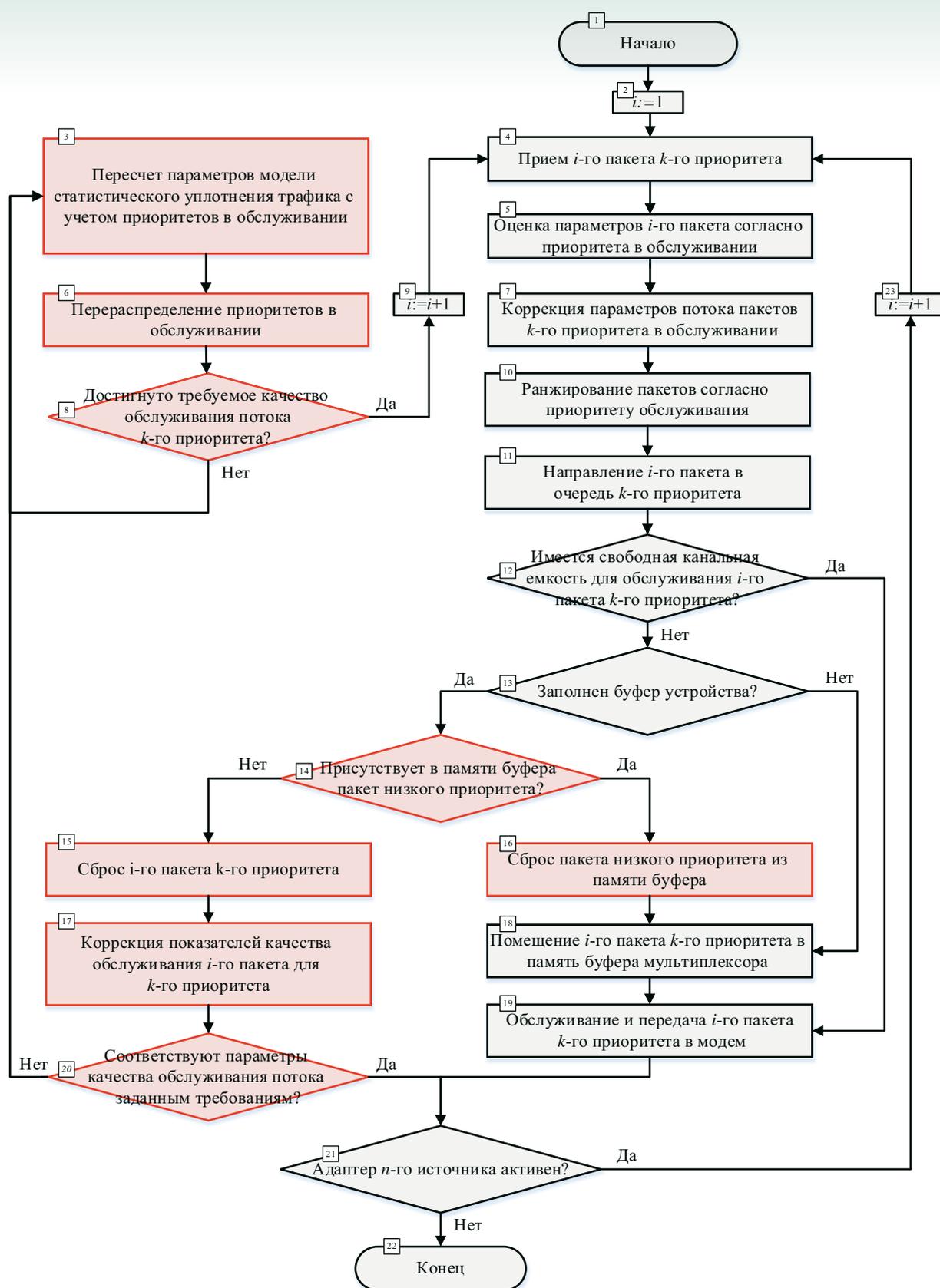


Рис. 7. Алгоритм диспетчеризации потоков разнородного трафика при статистическом уплотнении с учетом приоритетов в обслуживании

# РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

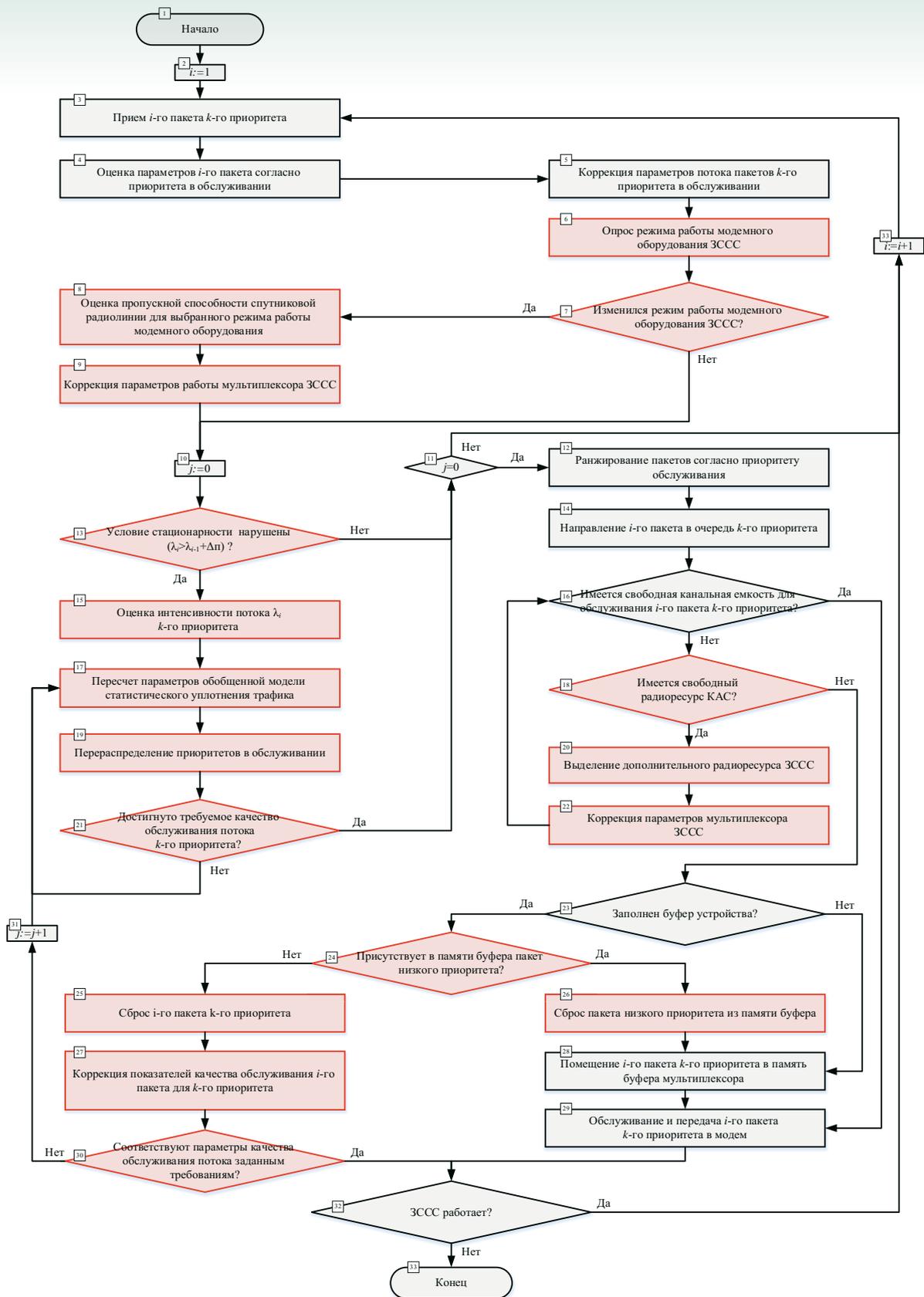
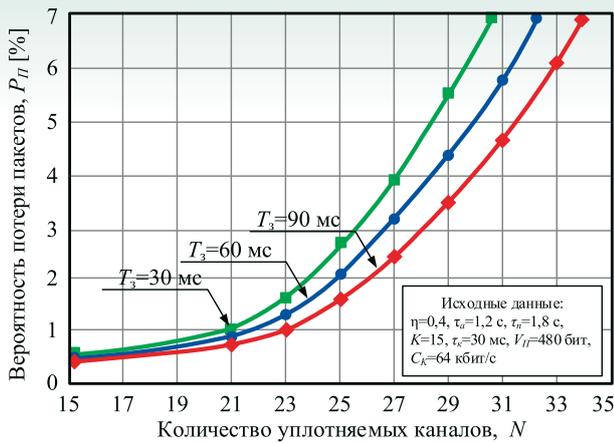
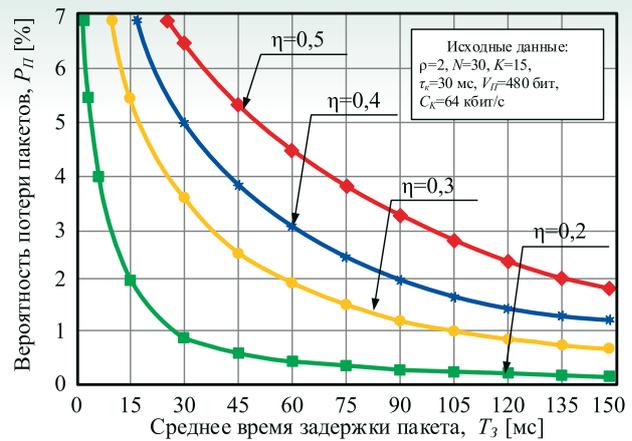


Рис. 8. Алгоритм диспетчеризации потоков разнородного нестационарного трафика с учетом приоритетов в обслуживании при изменении пропускной способности каналов спутниковой связи



**Рис. 9.** Зависимость вероятности потери пакетов от количества источников трафика для различных значений допустимой задержки при обслуживании

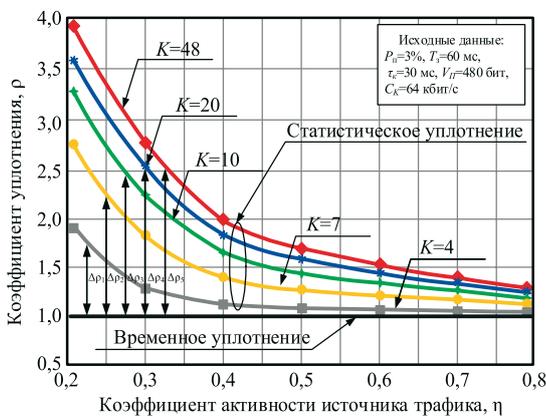


**Рис. 10.** Зависимость вероятности потери пакетов от задержки при различной активности ( $\eta$ ) источников трафика

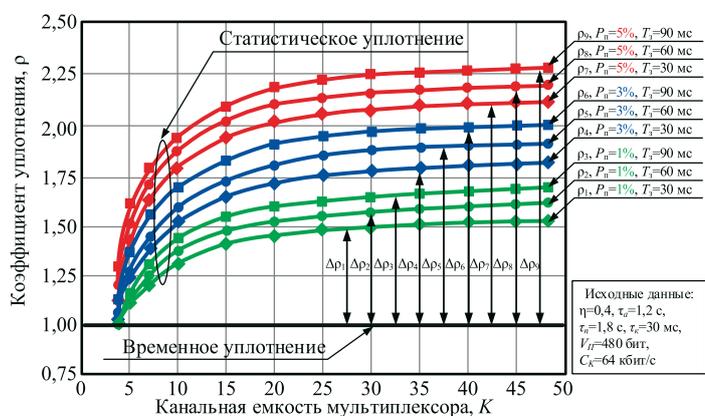
рый отличается от известных учетом, не только приоритетов в обслуживании, но и нестационарности входящего потока для различных режимов работы спутниковой радиолинии. Схема работы данного алгоритма предполагает статистическую оценку параметров потока трафика, включая проверку на нестационарность. В случае изменения интенсивности потока и выхода за пределы допустимого, происходит коррекция показателей качества обслуживания трафика, пересчет параметров модели, коррекция плана распределения потоков осуществляется до тех пор, пока необходимое качество обслуживания потока высшего приоритета не будет достигнуто. Изменение режимов работы спутниковой радиолинии учитывается путем опроса текущей конфигурации модемного оборудования с последующей коррекцией режима работы мультиплексора и запросом о выделении дополнительного радиоресурса ЗССС, если таковой имеется.

Для оценки изменения параметров трафика при статистическом уплотнении проведено исследование зависимостей изменения вероятностно-временных характеристик, которые изображены на рисунках 9-10. В качестве исходных использовались 3 вида трафика: IP-телефонии, видеопотока, передачи данных.

Анализ графика на рисунке 9 показал, что вероятность потери пакетов при статистическом уплотнении разнородного трафика возрастает при увеличении количества организованных виртуальных каналов связи и уменьшается при увеличении времени задержки при обслуживании пакетов. Вероятность потери пакетов и задержка сообщений увеличиваются при повышении коэффициента активности источника трафика. Данный факт связан с уменьшением длительности пауз, в течение которых возможно передавать дополнительный трафик (рисунки 10).



**Рис. 11.** Зависимость коэффициента уплотнения от активности источников трафика при изменении канальной емкости мультиплексора



**Рис. 12.** Зависимость коэффициента уплотнения от канальной емкости мультиплексора при различных требованиях к качеству обслуживания

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Для оценки эффективности применения разработанных моделей и алгоритмов, а также степени достижения показателя качества проведения исследования зависимостей изменения коэффициента уплотнения от различных параметров мультиплексирования и свойств источников трафика. Результаты исследования представлены на *рисунках 11-12*. Коэффициент уплотнения спутниковой радиолинии ЗССС повышается с ростом его емкости канальной группы и понижением активности источников трафика. Его предельное значение ограничено требованиями к качеству обслуживания, при этом необходимо отметить, что чем выше требования к качеству обслуживания, тем меньше коэффициент уплотнения спутниковой радиолинии.

Обобщая полученные зависимости, можно оценить достигаемый выигрыш в числе каналов, организуемых ЗССС на основе предложенной технологии статистического уплотнения по сравнению с традиционной технологией уплотнения в различных условиях обстановки.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование технологии статистического уплотнения в сочетании с механизмом динамического назначения приоритетов в обслуживании разнородного трафика позволяет заметно увеличить число каналов связи по сравне-

нию с традиционной технологией уплотнения, что соответствует повышению пропускной способности ЗССС. При этом стоит отметить, что повышение пропускной способности будет зависеть от требований, предъявляемых к качеству обслуживания, структуры передаваемого трафика, а также выбора режима модемного оборудования. Так, при наиболее жестких требованиях к качеству обслуживания выигрыш составит до 40%, при менее жестких (неограниченная допустимая задержка) до 120%, что в среднем составляет до 80%.

### Литература

1. Камнев В.Е. Спутниковые сети связи: учеб. пособие / Г.В. Чечин, В.В. Черкасов, В.Е. Камнев. М.: «Альбина Паблшер», 2004. 536 с.
2. Зыков А.А. Основы теории графов. М.: Вузовская книга, 2004. 664 с.
3. Корнышев Ю.Н. Теория телетрафика / Ю.Н. Корнышев и др. М.: Радио и связь, 1996. 272 с.
4. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: учебник / Пер. И.И. Грушко; ред. В.И. Нейман. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
5. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями: учебник / Пер. под ред. Б.С. Цыбакова. М.: Издательство «Мир», 1979. 600 с.
6. Шелухин О.И. Цифровая обработка речи: учебник для вузов / О.И. Шелухин, Н.Ф. Лукьянцев; под ред. О.И. Шелухина. М.: Радио и связь, 2000. 256с.

УДК 621.391

### ВЕРХНЯЯ АДДИТИВНАЯ ГРАНИЦА ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ НА БИТ ДЛЯ ДВОИЧНЫХ КОДОВ В НЕКОГЕРЕНТНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ С МЕТРИКОЙ С «ОБЪЕДИНЕНИЕМ ПРОИЗВЕДЕНИЕМ» В ПРИСУТСТВИИ СЛУЧАЙНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ПОМЕХИ И ТЕПЛООВОГО ШУМА

### THE UPPER LIMIT OF THE ADDITIVE BIT ERROR PROBABILITY FOR BINARY CODES IN INCOHERENT COMMUNICATION CHANNELS WITH THE METRIC WITH THE «UNION OF THE PRODUCT» IN THE PRESENCE OF A RANDOM IMPULSE NOISE AND THERMAL NOISE

Вячеслав Анатольевич Шевченко

кандидат технических наук

МО РФ, Москва

Тел.: +7(916)138-87-96

E-mail: shevv67@mail.ru

#### Аннотация

Исследованы характеристики двоичных кодов в «некогерентных» каналах связи с метрикой с «объединением произведением» в условиях воздействия теплового шума и различных типов помех – импульсной шумовой и импульсной многочастотной. Получена верхняя аддитивная граница вероятности ошибки на бит для таких каналов. Проведено сравнение эффективности воздействия импульсной полигармонической и импульсной шумовой помех на канал связи.

**Ключевые слова:** помехоустойчивость, пакет ошибок, импульсная помеха, некогерентный канал связи, метрика с «объединением произведением», кодирование.

#### Summary

The performance of binary codes in noncoherent channels with the metric «with product combining» in the conditions of influence of thermal noise and various types of interference – pulse noise and pulse multitone are investigated. The upper bound on the bit error probability for such channels is received. Comparison of the effect of pulse multitone and pulse noise interference on the performance of noncoherent channels is spent.

**Keywords:** immunity, packet errors, impulse noise, coherent communication channel metric to the «product of the union of» coding.

Одним из эффективных методов борьбы с помехой в части полосы в условиях «некогерентного» приема сигналов и отсутствия «сторонней» информации о состоянии канала связи является использование для декодирования метрики с «объединением произведением» [1].

При выборе глубины перемежения, обеспечивающем независимость ошибок в канале связи, эффект от воздействия помех в части полосы аналогичен эффекту от воздействия импульсных помех [2].

В случае воздействия импульсной помехи на канал связи с кодированием возможно также появление ошибок, группирующихся в пакеты, когда одиночный импульс помехи перекрывает несколько символов одной кодовой комбинации.

Известен общий подход к оценке вероятности ошибки на бит для каналов с произвольной решающей аддитивной метрикой в условиях воздействия случайной импульсной помехи, вызывающей группирование ошибок [3].

Метрика с «объединением произведением» является мультипликативной. Ей идентична аддитивная метрика с логарифмическим преобразованием отсчетов с выходов квадратичных детекторов демодулятора (метрика с «логарифмическим ограничением») [4].

Исходя из этого, конкретизируем подход [3] для метрики с «логарифмическим ограничением», имея в виду, что найденная верхняя граница вероятности ошибки на бит будет справедлива и для случая использования метрики с «объединением произведением».

Пусть в канале связи для передачи информации со скоростью  $R$  используется блочный  $(n, k)$  код, имеющий скорость  $r=k/n$  и минимальное расстояние  $d_{min}$ . Дистанционные свойства кода характеризуются коэффициентами  $A_{w,d}$ , которые представляют собой количество кодовых комбинаций весом  $d$ , порожденных входными информационными последовательностями весом  $w$ .

Обозначим переданную кодовую комбинацию через  $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Символы кода  $x_i=0$  и  $x_i=1$ , где  $i=\overline{1, n}$ , передаются соответственно сигналами  $S_0(t)$  и  $S_1(t)$ , которые являются взаимно ортогональными в усиленном смысле. Примем без потери общности, что  $x_i=0$ .

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

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

В качестве импульсной помехи, имеющей среднюю мощность  $P_j$ , рассмотрим как шумовую, так и многочастотную. Последняя в каждой позиции, отведенной для перестройки частоты

полезного сигнала, совпадает по форме с одним из сигналов  $S_0(t)$ ,  $S_1(t)$ , отличаясь от них начальной фазой  $\varphi$ .

В демодуляторе, структурная схема которого представлена на **рисунке 1**, принятое колебание, состоящее из смеси сигнала, теплового шума и импульсной помехи, обрабатывается в квадратичных детекторах, соответствующих сигналам  $S_0(t)$  и  $S_1(t)$ .

На выходе этих детекторов сигналов по окончании приема  $i$ -го символа кода формируются величины  $Y_{0,i}$  и  $Y_{1,i}$ .

Далее из отсчетов  $Y_{0,i}$  и  $Y_{1,i}$  извлекается корень  $m$ -ой степени. Декодирование производится с использованием метрики

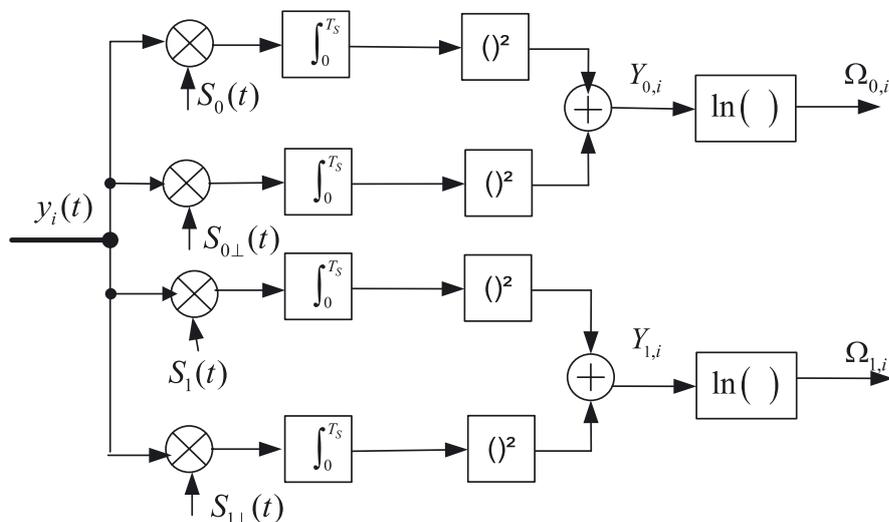
$$m(y_i, x_i) = \Omega_{x_i, i} = \ln Y_{x_i, i}, \quad (1)$$

которая основана на «нелинейном» преобразовании «мягких» решений демодулятора  $Y_{0,i}$  и  $Y_{1,i}$ .

Под воздействием помехи и (или) теплового шума возможна трансформация переданной кодовой последовательности  $x$  в последовательность  $\hat{x}=(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n)$ , отличающуюся от переданной  $d$  символами кода.

Положим, что одиночный импульс помехи перекрывает  $b$  символов одной кодовой комбинации. Совокупность этих символов определим как «пакет ошибок». На интервале передачи одной кодовой комбинации возможно возникновение  $L=\lfloor n/b \rfloor$  пакетов длиной  $b$ . При этом  $i$ -ый символ кода будет соответствовать пакету с номером  $j=\lceil i/b \rceil$ .

Учитывая, что импульсная помеха является случайной, канал связи на интервале передачи символов кода, соответствующих  $j$ -му пакету, где  $j=\overline{1, L}$ , может находиться в одном из двух состояний  $z_j$ : в «плохом» ( $z_j=1$  с вероятностью  $\rho$ ), когда на вход приемника воздействует



**Рис. 1.** Структурная схема демодулятора с «логарифмическим ограничением»

случайная импульсная помеха в сочетании с тепловым шумом, или в «хорошем» ( $z_j=0$  с вероятностью  $1-\rho$ ), когда на входе приемника присутствует только тепловой шум.

В случае воздействия шумовой импульсной помехи отношение энергии сигнала, приходящегося на символ кода, к суммарной спектральной плотности шума и помехи в состоянии  $z_j$  определяется величиной [5]

$$\gamma^2(z_j) = (\gamma_{sn}^{-2} + z_j \gamma_{sj}^{-2})^{-1}, \quad (2)$$

где

$$\frac{\gamma_{sn}^2}{2} = \frac{P_s r}{N_0 R}, \quad (3)$$

$$\frac{\gamma_{sj}^2}{2} = \frac{P_s W r}{P_j R} \rho. \quad (4)$$

При этом величина  $Y_{0,i}$  имеет следующую условную нормированную плотность распределения:

$$p_{Y_{0,i}}(y_{0,i}|z_j) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{y_{0,i} + \gamma^2(z_j)}{2}\right) I_0\left(\sqrt{y_{0,i} \gamma^2(z_j)}\right), \quad (5)$$

а величина  $Y_{1,i}$  – следующую:

$$p_{Y_{1,i}}(y_{1,i}|z_j) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{y_{1,i}}{2}\right). \quad (6)$$

Отношение энергии многочастотной помехи к спектральной плотности шума определяется величиной [5]

$$\frac{\gamma_{Jn}^2}{2} = \frac{2\gamma_{sn}^2}{\gamma_{sJ}^2}. \quad (7)$$

В случае воздействия многочастотной импульсной помехи в состоянии канала  $z_j=0$  случайные величины  $Y_{0,i}$  и  $Y_{1,i}$  определяются выражениями (5) и (6) соответственно.

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

$$p_{Y_{0,i}}(y_{0,i}|z_j=1, J=S_0) = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{y_{0,i} + \gamma^2(\cos \varphi)}{2}\right) \times I_0\left(\sqrt{y_{0,i} \gamma^2(\cos \varphi)}\right) d\varphi, \quad (8)$$

где  $\varphi$  – разность начальных фаз полезного сигнала и узкополосной помехи;  $\gamma^2(\cos \varphi)$  – величина, которая определяется следующим выражением:

$$\gamma^2(\cos \varphi) = \gamma_{sn}^2 + \gamma_{Jn}^2 + 2\gamma_{sn} \gamma_{Jn} \cos \varphi, \quad (9)$$

а величина  $Y_{1,i}$  – следующую:

$$p_{Y_{1,i}}(y_{1,i}|z_j=1, J=S_0) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{y_{1,i}}{2}\right), \quad (10)$$

Для случая, когда  $z_j=1$ , а помеха  $J(t, \varphi)$  совпадает по форме с сигналом  $S_1(t)$ , плотности распределения случайных величин  $Y_{0,i}$ ,  $Y_{1,i}$  определяются следующими выражениями:

$$p_{Y_{0,i}}(y_{0,i}|z_j=1, J=S_1) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{y_{0,i} + \gamma_{sn}^2}{2}\right) I_0\left(\sqrt{y_{0,i} \gamma_{sn}^2}\right) \quad (11)$$

и

$$p_{Y_{1,i}}(y_{1,i}|z_j=1, J=S_1) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{y_{1,i} + \gamma_{Jn}^2}{2}\right) I_0\left(\sqrt{y_{1,i} \gamma_{Jn}^2}\right). \quad (12)$$

Количество символов в пакете  $v$ , отличающихся в переданной последовательности от ошибочно принятой, определяет его вес.

Максимальное число таких «ненулевых» пакетов, в которых есть «отличающиеся» символы, ограничено величиной  $F = \min(d, L)$ , минимальное – величиной  $\lceil d/b \rceil$ . Если  $b \leq d$  максимальный вес пакета  $m=b$ , в противном случае –  $m=d-l+1$ .

Верхняя аддитивная граница вероятности ошибки на бит, учитывающая вероятности появления возможных комбинаций распределения  $d$  «отличающихся» символов по  $l$  «ненулевым» пакетам различной длины, имеет следующий вид [3, 5]:

$$P_b \leq \sum_{d=d_{\min}}^n A_d \left[ \min_{s \geq 1} \frac{(mF-d)! F!}{(mF)!} \sum_{l=\lceil d/b \rceil}^F \frac{A(d, l; g)}{(F-l)!} \right], \quad (13)$$

где  $A_d = \sum_{w=1}^k w/k A_{w,d}$ ;  $A(d, l; g)$  – однородные полиномы Белла;  $g = (g_1, g_2, \dots, g_m)$  – формальные переменные, которые определяются из выражения

$$g_v = D(s, v) \frac{m!}{(m-v)!}. \quad (14)$$

В выражении (14)  $s$  – некоторое положительное число,  $D(s, v)$  – параметр, для определения которого необходимо найти плотность распределения случайной величины

$$\Omega_1 = m(y_i, \hat{x}_i) - m(y_i, x) = \Omega_{\hat{x}_i} - \Omega_{x_i}. \quad (15)$$

Пусть величина  $\Omega_1$  лежит в пределах от  $\omega_1^{\min}$  до  $\omega_1^{\max}$ . Примем, что в случае воздействия шумовой импульсной помехи случайная величина  $\Omega_1$  имеет условную плотность распределения  $p_{\Omega_1}(\omega_1|z_j)$ , а в случае воздействия многочастотной помехи –  $p_{\Omega_1}(\omega_1|z_j=0)$  в состоянии канала  $z_j=0$  и  $p_{\Omega_{k,i}}(\omega_{k,i}|z_j=1, J=S_k)$  в состоянии канала  $z_j=1$ , когда помеха  $J(t, \varphi)$  совпадает с сигналом  $S_k(t)$ , где  $k = \overline{0, 1}$ .

С учетом введенных обозначений параметр  $D(s, v)$  для случая воздействия шумовой им-

пульсной помехи определится следующим образом [5]:

$$D(s, \nu) = (1 - \rho) (M_0(\exp(s\Omega_1)))^\nu + \rho (M_1(\exp(s\Omega_1)))^\nu, \quad (16)$$

где

$$M_{z_j}(\exp(s\Omega_1)) = \int_{\omega_1^{\min}}^{\omega_1^{\max}} \exp(s\omega_1) p_{\Omega_1}(\omega_1 | z_j) d\omega_1, \quad (17)$$

для случая воздействия многочастотной помехи – следующим [4]:

$$D(s, \nu) = (1 - \rho) (M_0(\exp(s\Omega_1)))^\nu + \rho \left( \frac{1}{2} \sum_{k=0}^1 M_{1,k}(\exp(s\Omega_1)) \right)^\nu, \quad (18)$$

где  $M_0(\exp(s\Omega_1))$  определяется выражением (17) при  $z_j = 0$ ;

$$M_{1,k}(\exp(s\Omega_1)) = \int_{\omega_1^{\min}}^{\omega_1^{\max}} \exp(s\omega_1) p_{\Omega_1}(\omega_1 | z_j = 1, J = S_k) d\omega_1. \quad (19)$$

Конкретизируем теперь выражения (17) и (19) для метрики «с логарифмическим ограничением».

Как следует из выражения (1), случайная величина  $\Omega_{x_i}$ , которая связана с величиной  $Y_{x_i}$  функциональной зависимостью  $y_{x_i} = \exp(\omega_{x_i})$ , может изменяться в пределах от  $-\infty$  до  $\infty$ .

Условную плотность распределения величины  $\Omega_{x_i}$  в зависимости от наступления некоторого события  $E - p_{\Omega_{x_i}}(\omega_{x_i} | E)$  – можно выразить для указанной функциональной зависимости через условную плотность распределения величины  $Y_{x_i}$  следующим образом:

$$p_{\Omega_{x_i}}(\omega_{x_i} | E) = p_{Y_{x_i}}(y_{x_i} = \exp(\omega_{x_i}) | E) \exp(\omega_{x_i}). \quad (20)$$

Для случая воздействия шумовой импульсной помехи, когда величина  $W_1$  определяется выражением (15), выражение (17) можно представить следующим образом:

$$M_{z_j}(\exp(s\Omega_1)) = M_{z_j}(\exp(s\Omega_{1,i})) M_{z_j}(\exp(-s\Omega_{0,i})), \quad (21)$$

где

$$M_{z_j}(\exp(s\Omega_{1,i})) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(s\omega_{1,i}) p_{\Omega_{k,i}}(\omega_{1,i} | z_j) d\omega_{1,i}, \quad (22)$$

$$M_{z_j}(\exp(-s\Omega_{0,i})) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-s\omega_{0,i}) p_{\Omega_{k,i}}(\omega_{0,i} | z_j) d\omega_{0,i}. \quad (23)$$

Подставив выражение (20) соответственно в выражения (22) и (23) и учитывая, что плотность распределения случайной величины  $Y_{1,i}$  определяется выражением (6), а случайной величины

$Y_{0,i}$  – выражением (5), получим

$$M_{z_j}(\exp(s\Omega_{1,i})) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \exp((1+s)\omega_{1,i}) \exp\left(-\frac{\exp(\omega_{1,i})}{2}\right) d\omega_{1,i} \quad (24)$$

и

$$M_{z_j}(\exp(-s\Omega_{0,i})) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \exp((1-s)\omega_{0,i}) \exp\left(-\frac{\exp(\omega_{0,i}) + \gamma^2(z_j)}{2}\right) \times \\ \times I_0\left(\sqrt{\exp(\omega_{0,i})\gamma^2(z_j)}\right) d\omega_{0,i}, \quad (25)$$

Сделав в выражениях (24) и (25) замену переменной  $u = \exp(\omega_{1,i})/2$  и  $u = \exp(\omega_{0,i})/2$  соответственно, получим после некоторых математических преобразований

$$M_{z_j}(\exp(s\Omega_{1,i})) = \int_0^{\infty} (2u)^s \exp(-u) du \quad (26)$$

и

$$M_{z_j}(\exp(-s\Omega_{0,i})) = \exp\left(-\frac{\gamma^2(z_j)}{2}\right) 2^{-s} \int_0^{\infty} u^{-s} \times \\ \times \exp(-u) I_0\left(2\sqrt{u\frac{\gamma^2(z_j)}{2}}\right) du. \quad (27)$$

Вычислим интеграл в правой части выражения (26) как интегральное преобразование Лапласа  $L$  функции  $u^s$  [6]

$$L(u^s) = \Gamma(s+1) p^{-s-1}, \quad (28)$$

где  $\Gamma(s+1)$  – гамма-функция;  
 $p=1$ .

Тогда

$$M_{z_j}(\exp(s\Omega_{1,i})) = \Gamma(s+1) 2^s. \quad (29)$$

Используя разложение модифицированной функции Бесселя нулевого порядка в ряд [7]

$$I_0(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{z}{2}\right)^{2k}}{(k!)^2}, \quad (30)$$

где  $z = 2\sqrt{u\gamma^2(z_j)}/2$ , и преобразование Лапласа (28), где  $v=k-s+1/2$ ,  $p=1$ , приведем выражение (27) к следующему:

$$M_{z_j}(\exp(-s\Omega_{0,i})) = \exp\left(-\frac{\gamma^2(z_j)}{2}\right) 2^{-s} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Gamma(k-s+1)}{(k!)^2} \left(\frac{\gamma^2(z_j)}{2}\right)^k = \\ = \exp\left(-\frac{\gamma^2(z_j)}{2}\right) 2^{-s} \Gamma(1-s) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Gamma(1-s+k)}{\Gamma(1-s)} \frac{1}{\Gamma(k+1)} \frac{(\gamma^2(z_j)/2)^k}{k!}. \quad (31)$$

Сумма в правой части выражения (31) совпадает с разложением в ряд вырожден-

ной гипергеометрической функцией Куммера  ${}_1F_1(1-s, 1; \gamma^2(z_j)/2)$  в виде ряда [7], так что

$$M_{z_j}(\exp(-s\Omega_{0,i})) = \exp\left(-\frac{\gamma^2(z_j)}{2}\right) 2^{-s} \Gamma(1-s) {}_1F_1\left(1-s, 1; \frac{\gamma^2(z_j)}{2}\right). \quad (32)$$

Подставив полученные выражения (29) и (32) в выражение (21), используя тождество [7]

$$\Gamma(s+1) = s\Gamma(s) \quad (33)$$

и формулу дополнения Эйлера [7]

$$\Gamma(s)\Gamma(1-s) = \frac{\pi}{\sin(\pi s)}, \quad (34)$$

после некоторых математических преобразований получим

$$M_{z_j}(\exp(s\Omega_1)) = \frac{\pi s}{\sin(\pi s)} \exp\left(-\frac{\gamma^2(z_j)}{2}\right) {}_1F_1\left(1-s, 1; \frac{\gamma^2(z_j)}{2}\right). \quad (35)$$

Рассмотрим теперь случай воздействия многочастотной импульсной помехи.

Выражение для  $M_0(\exp(s\Omega_1))$  определяется выражением (35) при  $z_j=0$ .

Примем, что в состоянии канала  $z_j=1$  случайная величина  $W_{k,i}$  при совпадении помехи  $J(t, \varphi)$  с сигналом  $S_0(t)$  имеет условную плотность распределения  $p_{\Omega_{k,i}}(\omega_{k,i} | z_j=1, J=S_0)$ , при совпадении с сигналом  $S_1(t)$  –  $p_{\Omega_{k,i}}(\omega_{k,i} | z_j=1, J=S_1)$ .

С учетом введенных обозначений выражение для  $M_{1,k}(\exp(s\Omega_1))$  примет следующий вид:

$$M_{1,k}(\exp(s\Omega_1)) = M_{1,k}(\exp(s\Omega_{1,i})) M_{1,k}(\exp(-s\Omega_{0,i})), \quad (36)$$

где

$$M_{1,k}(\exp(s\Omega_{1,i})) = \int_0^\infty \exp(s\omega_{1,i}) p_{\Omega_{1,i}}(\omega_{1,i} | z_j=1, J=S_k) d\omega_{1,i}, \quad (37)$$

$$M_{1,k}(\exp(-s\Omega_{0,i})) = \int_0^\infty \exp(-s\omega_{0,i}) p_{\Omega_{0,i}}(\omega_{0,i} | z_j=1, J=S_k) d\omega_{0,i}. \quad (38)$$

Когда  $z_j=1, J=S_0$ , плотности распределения величин случайных величин  $Y_{0,i}, Y_{1,i}$  определяются выражениями (8) и (10) соответственно.

Поскольку правая часть выражения (6) совпадает с правой частью выражения (10), а правая часть выражения (5) – с подынтегральной частью правой части выражения (8) в случае замены в выражении (5) величины  $\gamma^2(z_j)$  на величину  $\gamma^2(\cos\varphi)$ , то по аналогии с выражением (35) запишем

$$M_{1,0}(\exp(s\Omega_1)) = \frac{\pi s}{\sin(\pi s)} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{\gamma^2(\cos\varphi)}{2}\right) {}_1F_1\left(1-s, 1; \frac{\gamma^2(\cos\varphi)}{2}\right) d\varphi. \quad (39)$$

В выражениях (37) и (38) плотности распределения  $p_{\Omega_{k,i}}(\omega_{k,i} | E)$  определяются выражением (20) в предположении, что событию  $E$  соответствует случай, когда  $z_j=1, J=S_j$  с учетом того, что плотности распределения случайных величин  $Y_{0,i}, Y_{1,i}$  заданы выражениями (11) и (12). Тогда

$$M_{1,1}(\exp(-s\Omega_{0,i})) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^\infty \exp((1-s)\omega_{0,i}) \exp\left(-\frac{\exp(\omega_{0,i}) + \gamma_{sn}^2}{2}\right) \times \\ \times I_0\left(\sqrt{\exp(\omega_{0,i}) \gamma_{sn}^2}\right) d\omega_{0,i} \quad (40)$$

и

$$M_{1,1}(\exp(s\Omega_{1,i})) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^\infty \exp((1+s)\omega_{1,i}) \exp\left(-\frac{\exp(\omega_{1,i}) + \gamma_{sn}^2}{2}\right) \times \\ \times I_0\left(\sqrt{\exp(\omega_{1,i}) \gamma_{sn}^2}\right) d\omega_{1,i}. \quad (41)$$

Используя замену переменной  $u = \exp(\omega_{0,i})/2$ , после некоторых математических преобразований вместо выражения (40) получим

$$M_{1,1}(\exp(-s\Omega_{0,i})) = \exp\left(-\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\right) 2^{-s} \int_0^\infty u^{-s} \exp(-u) \times \\ \times I_0\left(2\sqrt{u \frac{\gamma_{sn}^2}{2}}\right) du. \quad (42)$$

Правая часть выражения (42) совпадает с правой частью выражения (27) при условии замены величины  $\gamma_{sn}^2$  на  $\gamma^2(z_j)$ . С учетом того, что  $M_{z_j}(\exp(-s\Omega_{0,i}))$  определяется также выражением (32),

$$M_{1,1}(\exp(-s\Omega_{0,i})) = 2^{-s} \Gamma(1-s) {}_1F_1\left(s, 1; -\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\right). \quad (43)$$

Сделав в выражении (41) замену переменной  $u = \exp(\omega_{1,i})/2$ , получим после некоторых математических преобразований

$$M_{1,1}(\exp(s\Omega_{1,i})) = \int_{-\infty}^\infty (2u)^s \exp\left(-u - \frac{\gamma_{sn}^2}{2}\right) I_0\left(2\sqrt{u \frac{\gamma_{sn}^2}{2}}\right) du. \quad (44)$$

Последовательно используя разложение модифицированной функции Бесселя нулевого порядка в ряд (30), табличный интеграл (28), а также представление вырожденной гипергеометрической функции Куммера в виде ряда, выполним с выражением (44) следующие преобразования:

$$M_{1,1}(\exp(s\Omega_{1,i})) = \exp\left(-\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\right) 2^s \sum_{k=0}^\infty \frac{\Gamma(1+s+k)}{(k!)^2} \left(\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\right)^k \times \\ \times \int_0^\infty u^{k+s} \exp(-u) du = \\ = \exp\left(-\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\right) 2^s \Gamma(1+s) \sum_{k=0}^\infty \frac{\Gamma(1+s+k)}{\Gamma(1+s)} \frac{\Gamma(1)}{\Gamma(k+1)} \frac{1}{k!} \left(\frac{\gamma_{sn}^2}{2}\right)^k =$$

$$= \exp\left(-\frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\right) 2^s \Gamma(1+s) {}_1F_1\left(1+s, 1; \frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\right). \quad (45)$$

Подстановка выражений (43), (45) в выражение (36) и учет выражений (33) и (34) позволяет после некоторых математических преобразований получить следующее выражение:

$$M_{1,1}(\exp(s\Omega_1)) = \frac{\pi s}{\sin(\pi s)} \exp\left(-\frac{\gamma_{sn}^2 + \gamma_{Jn}^2}{2}\right) \times \\ \times F_1\left(1-s, 1; \frac{\gamma_{sn}^2}{2}\right) {}_1F_1\left(1+s, 1; \frac{\gamma_{Jn}^2}{2}\right). \quad (46)$$

Вспользуемся полученными соотношениями для сравнительной оценки воздействия многочастотной и шумовой «наихудших» импульсных помех на каналы связи с двоичными сверточными кодами. Под «наихудшей» будем понимать помеху, вероятность появления отдельного импульса  $r$  которой выбрана таким образом, чтобы максимизировать верхнюю границу вероятности ошибки на бит (13).

В качестве кода рассмотрим сверточный с длиной кодового ограничения  $v=7$ , скоростью  $r=1/4$  и порождающими полиномами в восьмеричной форме (231,273,327,37). Выбор скорости кода обусловлен тем, что при группировании ошибок сверточный код с такой скоростью начинает показывать лучшие характеристики по сравнению с кодами, имеющими скорости  $r=1/2$

и  $r=1/3$ , за счет большего значения минимального кодового расстояния.

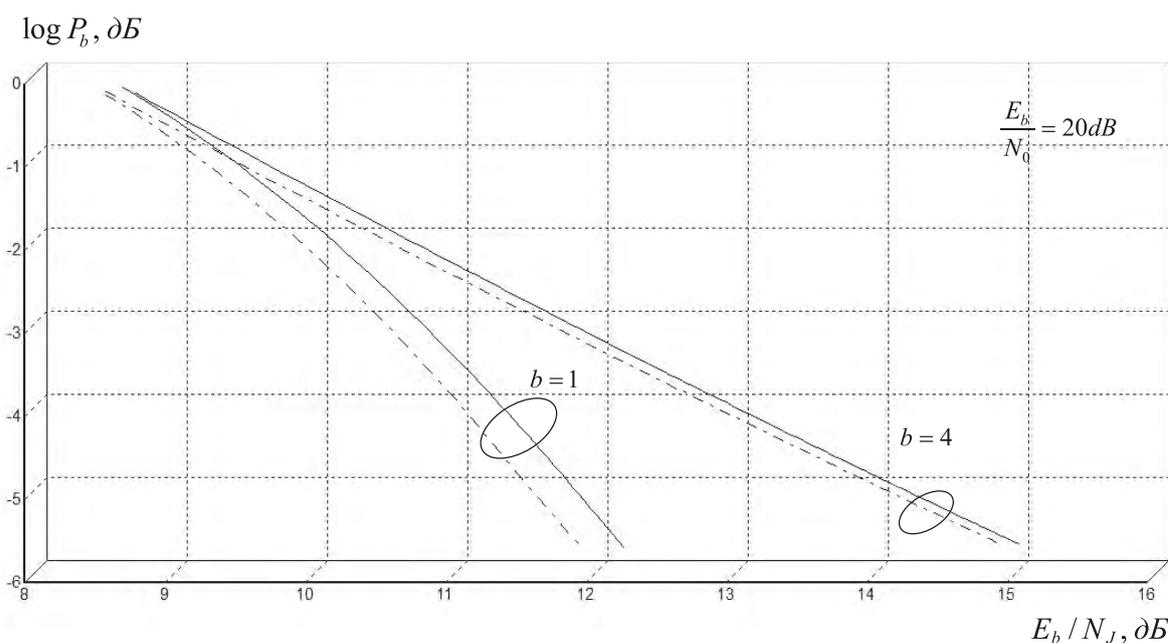
На рисунках 2 и 3 представлены зависимости вероятности ошибки на бит  $P_b$  от отношения  $E_b/N_J$  в условиях воздействия импульсной шумовой и многочастотной помех соответственно при различных значениях максимальной длины пакетов ошибок.

Для сравнения на рисунках 2 и 3 штрихпунктирными линиями нанесены зависимости вероятности ошибки на бит  $P_b$  от отношения  $E_b/N_J$  для случая, когда декодирование осуществляется с использованием «обобщенной самонормализующейся» метрики с  $m=2$  [5].

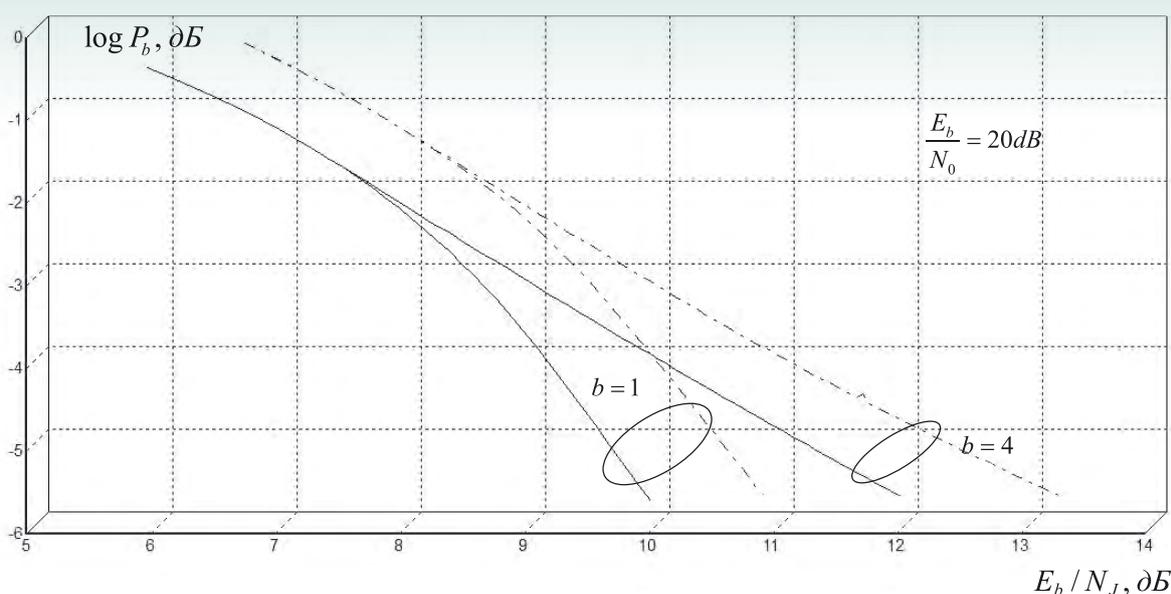
Из анализа графиков, представленных на рисунках 2 и 3, следует, что «обобщенная самонормализующаяся» метрика оказывается более эффективной в условиях воздействия шумовой импульсной помехи, тогда как метрика с «логарифмическим ограничением» – в условиях воздействия многочастотной помехи.

Это объясняется тем, что многочастотная помеха, являясь более детерминированной, чем шумовая, подвергается большему подавлению относительно полезного сигнала при «логарифмическом ограничении», чем при «обобщенной самонормировке».

Таким образом, получены аналитические соотношения, которые позволяют конкретизировать верхнюю аддитивную границу вероятности ошибки на бит применительно к «некогерентно-



**Рис. 2.** Зависимость вероятности ошибки  $P_b$  от отношения  $E_b/N_J$  для сверточного кода с  $v=7$  и  $r=1/4$  в условиях воздействия шумовой импульсной помехи, вызывающей пакеты ошибок длиной  $b$



**Рис. 3.** Зависимость вероятности ошибки  $P_b$  от отношения  $E_b/N_0$  для сверточного кода с  $v=7$  и  $r=1/4$  в условиях воздействия многочастотной импульсной помехи, вызывающей пакеты ошибок длиной  $b$

му» каналу связи, в котором для декодирования используется метрика с «логарифмическим ограничением» или с «объединением произведений».

Найденные соотношения позволяют определить степень уязвимости канала связи перед различными типами помех, обосновать выбор параметров кода для условий воздействия «наихудшей» импульсной помехи.

## Литература

1. Viswanathan R., Taghizadeh K. Diversity combining in FH/BFSK systems to combat partial band jamming.//IEEE Transactions on Communications. Vol. 36, Issue 9, September 1988. – P. 1062–1069.
2. Simon M.K., Omura J.K., Scholtz R.A., Levitt B.K. Spread Spectrum Communications, vol.I-III, Rockville, MD: Computer Science, Maryland, 1985.

3. Шевченко В.А. Верхняя аддитивная граница вероятности ошибки на бит в канале с «жесткими» решениями в условиях воздействия случайной импульсной помехи // Известия института инженерной физики, 2010. №3(17). С. 43-47.

4. Shen Y.S., Su S.L. Performance Analysis of an FFH/BFSK Receiver With Product-Combining in a Fading Channel Under Multitone Interference//IEEE Transactions on Wireless Communications. Vol. 3, №6, November 2004. P.1867-1872.

5. Шевченко В.А. Верхняя граница вероятности ошибки для двоичных кодов в некогерентных каналах связи с обобщенной «самонормализующейся» метрикой в присутствии импульсной помехи и теплового шума // Двойные технологии, 2013. №2(63), С. 37-44.

6. Бейтмен Г., Эрдейи А. Таблицы интегральных преобразований. Преобразования Фурье, Лапласа, Меллина. М.:Наука, 1969. 344 с.

7. Грандштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 1232 с.

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.3.06 (004.056.5)

## ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

## FEATURES OF ENGINEERING ANALYSIS PROGRAMMABLE PRODUCTS

**Алексей Владимирович Панкратов**

кандидат технических наук

докторант  
Военно-космическая академия  
им. А.Ф. Можайского  
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,  
ул. Ждановская, д. 13  
Тел.: +7(911)738-65-59  
E-mail: pankratov-av@rambler.ru

**Александр Игоревич Фомин**

преподаватель  
Военно-космическая академия  
им. А.Ф. Можайского  
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,  
ул. Ждановская, д. 13  
Тел.: +7(911)988-80-83  
E-mail: fomin1979@mail.ru

### Аннотация

Рассмотрены подходы инженерного анализа программируемых цифровых блоков высокотехнологичного оборудования для систем вооружения и связи. Показана необходимость развития методов инженерного анализа исполняемого кода и конфигурационных последовательностей, учитывающих обфусцированность. Вводится понятие структурной избыточности обфусцированных алгоритмов, как фактор применения специализированных методов инженерного анализа.

**Ключевые слова:** инженерный анализ, программируемые изделия, обфускация кода.

### Summary

Considered approaches engineering analysis programmable digital blocks high-tech equipment for weapons systems and communications. The necessity of development methods of engineering analysis executable code and configuration sequences, sensitive obfuscated. Introduces the concept of structural redundancy obfuscated algorithms, as a factor in the application of specialized methods of engineering analysis.

**Keywords:** engineering analysis, programmable products, code obfuscation.

### Введение

В процессе проектирования высокотехнологичных вооружений и средств связи широко используются программируемые изделия, что обусловлено их высокой гибкостью. Разработка математического обеспечения для таких изделий осуществляется сторонними организациями. Большинство разработчиков находятся за пределами Российской Федерации и не предоставляют исходных текстов программного обеспечения, поставляемого вместе с изделием. Для исследования таких изделий видится актуальным развитие новых методов инженерного анализа.

Программируемые изделия повышают технологичность комплексов за счет унификации. Функциональность узлов задается не различными техническими решениями, а различными управляющими программами. Модернизация и даже изменение целевого назначения становится возможным без дорогостоящих технологических операций путем замены программного обеспечения. Кроме этого, повышается гибкость управления и обслуживания техники. Все это привело к широкому использованию программируемых изделий в различных системах военного и гражданского назначения. Проектирование программируемых изделий осуществ-

вляется с помощью различных систем автоматизированного проектирования (САПР), наиболее известные из которых, такие как, SystemVue, ADS компаний Agilent Technologies и Keysight Technologies [1]. САПР SystemVue применяется в аэрокосмических и оборонных приложениях для систем спутниковой связи, радиолокации и радионавигации. Advanced Design System (ADS) это САПР для разработки спутниковых коммуникационных систем и высокоскоростных цифровых наземных линий связи. Обилие и бурное развитие САПР является свидетельством того, что технологии производства программируемых изделий продолжают постоянно совершенствоваться. Чаще всего, структура вычислителя является универсальной, а функционал изделия содержится в программном обеспечении. Поэтому целесообразно исследовать программную составляющую таких изделий.

### Подходы к инженерному анализу программируемых изделий

Инженерный анализ проводится в целях диагностики технических изделий на стадии проектирования и ввода в эксплуатацию на основе методов разрушающего и неразрушающего технического контроля. Для анализа программного кода применяются неразрушающие методы контроля.

Основой программируемых изделий являются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Они нашли широкое применение в современной цифровой аппаратуре благодаря тому, что наиболее эффективно реализуют алгоритмы, требующие высокой производительности. ПЛИС позволяют более надежно (по сравнению с микропроцессорами) реализовать системы управления ответственного применения [2, 3].

Инженерный анализ программируемых изделий можно разделить на программный и аппаратный уровень. Программный уровень включает в себя следующие подходы к анализу кода [4].

1. Метод экспериментов с «черным ящиком» сводится к проведению по определенной методике многократных экспериментов. Согласно теории автоматов, подавая на вход программы определенный набор данных

$$X(t_i) = (x_1(t_i), x_2(t_i), \dots, x_k(t_i), \dots, x_n(t_i)),$$

получаем соответствующий выход для каждого шага работы

$$Y(t_i) = (y_1(t_i), y_2(t_i), \dots, y_k(t_i), \dots, y_n(t_i)).$$

$$X = \bigcup_{i=1}^m X(t_i) = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{k=1}^n x_k(t_i), \quad (1)$$

$$Y = \bigcup_{i=1}^m Y(t_i) = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{k=1}^n y_k(t_i), \quad (2)$$

$$g: X \rightarrow Y \mid X, Y \subset \Sigma^*, \quad (3)$$

где  $X$  – множество входных воздействий,  
 $Y$  – множество откликов исследуемой системы,  
 $m$  – число шагов алгоритма,  
 $n$  – число экспериментов на каждом шаге алгоритма,  
 $\Sigma^*$  – множество допустимых двоичных слов алфавита автомата,  
 $g$  – отображение, моделирующее «черный ящик».

Как правило, на практике применяется эвристический перебор входа, удовлетворяющий выбранной гипотезе. Результатом проводимого эксперимента является набор входных и выходных данных, который служит для построения автомата, эквивалентного моделируемому устройству на некотором конечном множестве входных данных. При этом, объем эксперимента должен быть согласован с энтропией «черного ящика» (4).

$$H(g) = \log_2 |Y|. \quad (4)$$

Данный метод применим для сравнительно простых алгоритмов защиты программного кода изделий.

2. Статический анализ кода. Проводится с целью получения лексем машинных команд для исполняемого кода посредством дизассемблера, анализа последовательности лексем на наличие управляющих логических структур кода с последующим их выделением. Далее проводится классификация логических структур по признакам. Примером может быть частота повторения группы команд в дизассемблированном коде до его обфускации и после. На основании этого признака аналитиком определяется «мертвый код», «мусорный код» и «полезный код».

3. Динамический анализ кода проводится с помощью программно реализуемых отладчиков кода. Отладчик загружает в память исследуемую программу и предоставляет возможность наблюдать за ходом выполнения этой программы, путем пошагового прохода строк (трассировка). Это дает возможность наблюдать за изменениями в регистре флагов и изменениями содержимого регистров процессора. Результатом этих наблюдений является построение графа потока управления программы наиболее приближенного к исходному коду.

Битовые потоки всех коммерческих ПЛИС используют закрытый формат файлов, т.е. отсутствует техническое описание того, как битовый поток формирует аппаратные элементы внутри ПЛИС и как отдельные биты влияют на аппаратную конфигурацию оборудования. Чтобы

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

выявить некоторые функции битового потока применяются средства инженерного анализа.

## Применение обфускации управляющих логических структур в программируемых изделиях

В тех случаях, когда исполняемый код программного обеспечения изделия доступен для анализа потенциальных злоумышленников, применяется механизм, затрудняющий модификацию и извлечение данных из памяти за счет «запутывания кода». Данный процесс называется обфускацией. Задача обфускации программ заключается в разработке таких преобразований, которые сохраняют функциональные характеристики программ, но при этом делают невозможным или очень трудным извлечение из текста программы ключевой информации о содержащихся в ней алгоритмах и структурах данных [3, 5].

На рисунке 1 показана схема обфускации управляющих логических структур и механизм появления структурной избыточности обфусцированного кода.

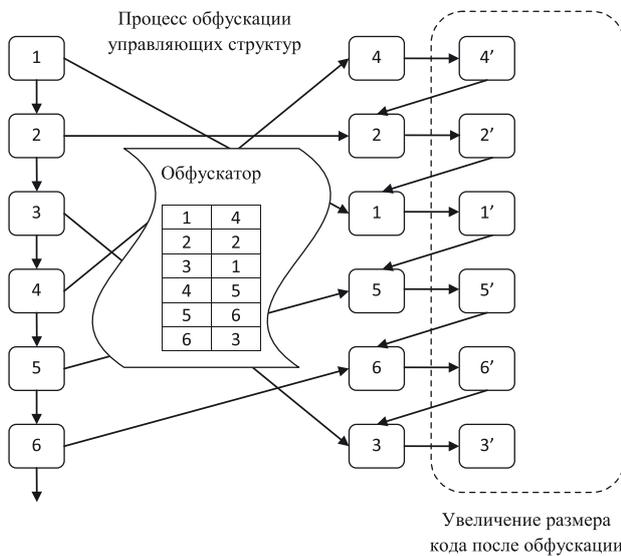


Рис. 1. Схема обфускации управляющих структур

Появление дополнительных элементов в управляющей последовательности неизбежно приводит к увеличению времени выполнения алгоритма. Оценить структурную избыточность обфусцированного кода можно через прирост времени выполнения алгоритма.

Математически можно записать это следующим образом:

$$\Delta\tau = \tau(A_{обф}(\varphi')) - \tau(A_{исх}(\varphi)), \quad (5)$$

$$\varphi' = \varphi \cup \sigma, \quad (6)$$

где  $\Delta\tau$  – общий прирост времени выполнения алгоритма,

$A_{исх}$  – исходный алгоритм,

$A_{обф}$  – обфусцированный алгоритм,

$\varphi$  – исходный код,

$\sigma$  – изменения, внесенные обфускатором.

Если рассмотреть отдельно время выполнения команд, внесенных обфускатором, получим значение меньшее, чем общий прирост времени

$$\Delta\tau_\sigma = \sum_{\sigma \in f_o} t(\sigma), \quad (7)$$

$$\Delta\tau_\sigma < \Delta\tau, \quad (8)$$

Таким образом, общий прирост времени состоит из времени, затрачиваемом на передачу управления избыточным конструкциям, на выполнение этих конструкций и на восстановление функциональности исходного кода:

$$\tau(A_{обф}(\varphi')) = \tau(A_{исх}(\varphi)) + \tau(A_{обф}(\varphi)) + \tau(A_{исх}(\varphi')), \quad (9)$$

где  $\tau(A_{обф}(\varphi'))$  – время выполнения обфусцированного алгоритма для исходного кода;

$\tau(A_{исх}(\varphi))$  – время выполнения исходного алгоритма для исходного кода;

$\tau(A_{исх}(\varphi'))$  – время выполнения исходного алгоритма для обфусцированного кода.

Пример увеличения времени выполнения программы при обфускации показан в таблице 1.

Таблица 1

Влияние обфускации на время выполнения программ

Программа	Время выполнения (секунды)		
	Исходная программа (T1)	Обфусцированная программа (T2)	Замедление (T1/T2)
Архивации Unix-программ	44,45	75,70	1,70
Оптимизирующий компилятор gcc-версии	26,08	37,61	1,44
Декомпрессии изображений формата .jpeg	44,15	52,27	1,18
Интерпретатор с языка Perl	30,46	68,46	2,24

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Процесс обфускации кода программируемых изделий и, в частности, управляющих логических структур осуществляется программно реализуемыми средствами запутывания – обфускаторами. Они способны эффективно противодействовать статическим методам инженерного анализа за счет маскировки переходов. Кроме того, для некоторых микропроцессорных систем машинное слово в зависимости от контекста может восприниматься как команда или как данные, обфускаторы перемешивают команды с данными и добавляют так называемые пустые команды. В результате более половины машинных команд восстанавливаются дизассемблерами неправильно.

Однако, использование динамического дизассемблирования, при котором ассемблерный код восстанавливается в процессе выполнения программы, существенно снижает эффективность обфускации. Поэтому, все чаще стали применяться специальные методы обфускации кода. Они представляют собой технологии видоизменения кода такие как, мутирование и виртуализация.

1. Мутирование – это метод обфускации кода, при котором исходный граф потока управления разбивается дополнительными вершинами, ветвлениями, дополняется мусорными инструкциями, циклами, не нарушая исходного алгоритма программы. Часто исходные инструкции мутируются в некоторое подмножество других инструкций выполняющих одну и ту же работу.

2. Виртуализация – это метод обфускации кода, при котором исходные инструкции алгоритма, транслируются в инструкции виртуальной машины, сгенерированной протектором. На место исходного алгоритма встраивается код, который во время выполнения передаёт промежуточные инструкции на вход в виртуальную машину, интерпретирующую их.

Наличие обфускации видоизменения кода для управляющих структур программируемых изделий обуславливает необходимость разработки специализированных методов инженерного анализа.

### Вывод

Рассмотренный в статье вопрос инженерного анализа исполняемого кода программируемых изделий является неотъемлемой составной частью инженерного анализа программируемых изделий. Проведенный анализ показал, что для программируемых изделий высокотехнологичных комплексов вооружения и систем связи возможно применение методов деобфускации, разработанных для программных продуктов коммерческого применения с необходимыми доработками. Для проведения инженерного анализа программируемых изделий необходимо разрабатывать комплексные методы исследования программного кода программируемых изделий, учитывая недостатки используемых на практике методов анализа программных продуктов.

### Литература

1. Панкратов А.В., Якимов В.Л., Маковский В.Н. Анализ избыточности битовой последовательности для проектов ПЛИС // Труды МАИ, 2015. №82.
2. Мальцев Г.Н., Панкратов А.В., Макунин А.А. Анализ структуры исходных файлов проекта // Информационно-управляющие системы. 2014. №6(73). С. 94-101.
3. Ферри Д., Эйкерс Л., Гринич Э. Электроника ультрабольших интегральных схем: Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 327 с.: ил.
4. Проскурин В.Г. Защита программ и данных: учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 208 с.
5. Linn C. Debray S. Obfuscation of executable code to improve resistance to static disassembly. In Proceedings of the 10th ACM conference on Computer and Communications Security (CCS '03). ACM, New York, NY, USA, 290-299.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.725

### ОБНАРУЖЕНИЕ ОШИБОК УСТРОЙСТВ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

### ERROR DETECTION DEVICES STORE AND TRANSFER INFORMATION

#### Сергей Сергеевич Неустроев

*доктор технических наук, профессор*

директор

ФГБНУ «Институт управления образованием РАО»

Минобрнауки РФ

Адрес: 105062, Москва, ул. Макаренко, д. 5/16

Тел.: +7(915)034-56-63

E-mail: uprstrateg@yandex.ru

#### Ирэна Веньяминовна Роберт

*академик Российской академии образования*

*доктор педагогических наук*

начальник центра научных исследований

ФГБНУ «Институт управления образованием РАО»

Минобрнауки РФ

Адрес: 105062, Москва, ул. Макаренко, д. 5/16

Тел.: +7(495)337-07-79 E-mail: rena\_robert@mail.ru

#### Сергей Николаевич Рягин

*доктор педагогических наук*

заместитель директора по науке

ФГБНУ «Институт управления образованием РАО»

Минобрнауки РФ

Адрес: 105062, Москва, ул. Макаренко, д. 5/16

Тел.: +7(916)866-14-76

E-mail: ryagin\_sn@mail.ru

#### Алексей Николаевич Царьков

*заслуженный деятель науки РФ*

*доктор технических наук, профессор*

Президент – Председатель Правления Института  
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская область, г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а

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

#### Денис Евгеньевич Сорокин

научный сотрудник

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская область, г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а

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

#### Александр Алексеевич Павлов

*доктор технических наук, профессор*

начальник лаборатории

ФГБНУ «Институт информатизации образования РАО»

Минобрнауки РФ

Адрес: 119117, Москва, ул. Погодинская, д. 8

Тел.: +7(916)356-31-89 E-mail: Pavlov\_iif@mail.ru

#### Алексей Андреевич Бурмистров

научный сотрудник

ВА РВСН им. Петра Великого

(филиал в г. Серпухове)

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

ул. Бригадная, д. 17

Тел.: +7(4967)72-19-11

#### Дмитрий Данилович Иванов

научный сотрудник

ВА РВСН им. Петра Великого

(филиал в г. Серпухове)

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

ул. Бригадная, д. 17

Тел.: +7(4967)72-19-11

#### Аннотация

Изложена регулярная процедура кодирования информации, для обнаружения одиночных и двойных ошибок устройств хранения и передачи информации при минимальной аппаратурной и информационной избыточности. Проводится сравнительная оценка обнаруживающей способности, аппаратурной и информационной избыточности предлагаемого метода с кодом Хэмминга (используемого для обнаружения ошибок) на примере 12-разрядного информационного слова. Установлено, что предлагаемый метод позволяет обнаруживать 100% одиночных ошибок и максимальное количество двойных ошибок (не обнаруживается 0,6% двойных ошибок) при использовании трех контрольных разрядов (на один контрольный разряд меньше, чем у кода Хэмминга) и на четверть меньше аппаратурных затрат на кодирование и декодирование информации (требуется соответственно 45 и 60 сумматоров по mod 2).

**Ключевые слова:** корректирующий линейный код, информационные разряды, контрольные разряды, синдром ошибки, одиночные и двойные ошибки, информационная избыточность, аппаратурная избыточность.

## Summary

Presented regular procedure coding information for the detection of single and double faults storage and transmission of information with minimal instrumental and data redundancy. Benchmark detecting ability, and instrumental information redundancy of the proposed method with Hamming code (used for error detection) on the example of 12-bit data word. It is found that the proposed method can detect 100% of single errors, and the maximum number of double error (0.6% not detected double errors) using three check bits (in one control bit smaller than a Hamming code), and a quarter less hardware costs for coding and decoding the information (required 45 and 60 mod 2 adders).

**Keywords:** correcting linear code, data bits, check bits, the syndrome error, single and double errors, information redundancy, instrumental redundancy.

## 1. Введение

С увеличением сложности современных систем управления и обработки информации (СУОИ), а также в экстремальных условиях работы (воздействий электромагнитных или радиационных излучений и т.п.), возрастает вероятность появления ошибок в обрабатываемой информации. От безошибочной работы ЗУ в большой степени зависит правильность работы всего вычислительного канала СУОИ [3-9].

Одним из перспективных направлений обеспечения достоверности функционирования СУОИ, является разработка контролируемых запоминающих устройств на основе алгебраических линейных кодов, обеспечивающих автоматическое обнаружение ошибок.

В связи с этим корректирующий код, используемый для защиты данных устройств, должен удовлетворять, как минимум, следующим требованиям [5]:

- обеспечить минимальное время на кодирование и декодирование информации;
- иметь минимальную информационную избыточность;
- использовать минимальные аппаратные затраты, связанные с кодированием и декодированием информации и хранением значений контрольных разрядов.

Для выполнения первого требования используются алгебраические линейные корректирующие коды с синдромным декодированием (циклическая процедура кодирования и декодирование информации требует больших временных затрат) [1, 2, 4].

При обнаружении ошибки кратности  $t$ , для кодового расстояния  $d$ , необходимо обеспечить выполнение условия:

$$d \geq t + 1.$$

В настоящее время для защиты устройств хранения информации широко используются коды, корректирующие одиночные и обнаруживающие двойные ошибки, в частности, совершенные систематические коды Хэмминга. В этом случае число контрольных разрядов  $r$  для кода, корректирующего одиночную ошибку, определяется выражением [1]:

$$r = \lceil \log_2(n+1) \rceil,$$

где  $n = k + r$ ,  $k$  – число информационных разрядов.

Так как для данного кода  $d = 3$ , то он может использоваться для обнаружения двойных ошибок при возникновении сбоев в устройствах хранения и передачи информации.

В то же время для обеспечения сбоеустойчивости устройств хранения информации существует необходимость разработки методов построения корректирующих линейных кодов с синдромным декодированием, обнаруживающих все одиночные (нечетные) ошибки и максимальное количество двойных (четных) ошибок при минимальной аппаратурной и информационной избыточности.

## 2. Правила построения корректирующих кодов, обнаруживающих одиночные и двойные ошибки при минимальной избыточности

Для формирования контрольных разрядов корректирующего кода, обладающего указанными свойствами, вначале используем известную процедуру построения двумерного итеративного кода, которая заключается в следующем.

**Правило 1.** Двоичное слово  $Y$ , содержащие  $k$  информационных символов, разбивается на  $m = k/b$  информационных блоков (под информационным блоком будем понимать число информационных разрядов, не превышающих значение  $b$ ). Пусть  $b$  кратно  $k$ .

Полученные информационные блоки представляют в виде информационной матрицы:

$$\begin{matrix} Y_{m1} & Y_{m2} & \dots & Y_{mb} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2b} \\ Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1b} \end{matrix} \quad (1)$$



# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**Таблица 1**  
Кодирование информации

№ п/п	$f_1$	$f_2$	...	$f_g$	...	$f_{g+1}$	...	$f_w$
	1	2	...	...	...	...	...	w
1	$s_1$	0	...	0	...	0	...	0
2	0	$s_2$	...	0	...	0	...	0
3	$s_3$	$s_3$	...	0	...	0	...	0
4	0	0	...	0	...	0	...	0
...	...	...	...	0	...	0	...	...
g	0	0	...	$s_g$	...	0	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
w+1	0	0	..	0	...	$s_{g+1}$	...	$s_{w+1}$
w+2	$s_{w+2}$	0	...	0	...	0	...	$s_{w+2}$
w+3	$s_{w+3}$	$s_{w+3}$	...	0	...	0	...	0
....	...	...	...	....	...	...	...	...
w+j	...	...	...	$s_{w+j}$	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
z	$s_z$	$s_z$	...	$s_z$	...	$s_z$	...	$s_z$

цы кодирования включают  $y_{ij}$ -информационные разряды с одинаковым номером.

**Свойство 3.** При возникновении ошибки в  $y_{ij}$ -информационном разряде она не проявляется на исходных предварительных проверках.

**Правило 4.** Для выявления ошибок в  $y_{ij}$ -разряде, добавим к каждой исходной предварительной проверке добавим дополнительную проверку (проверку на четность столбцов матрицы кодирования) с соответствующим номером.

В результате получим совокупность дополненных предварительных проверок  $F_d^e$ :

$$\begin{aligned}
 f_{1d}^e &= s_1 \oplus s_3 \oplus s_{w+2} \oplus s_{w+3} \dots \oplus s_z \oplus s_1 \\
 f_{2d}^e &= s_2 \oplus s_3 \oplus s_{w+3} \dots \oplus s_z \oplus s_2 \\
 &\dots \\
 f_{gd}^e &= s_g \oplus s_{w+j} \oplus \dots \oplus s_z \oplus s_g \\
 &\dots \\
 f_{wd}^e &= s_{w+1} \oplus s_{w+2} \oplus \dots \oplus s_z \oplus s_w \oplus s_b, \quad (8)
 \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}
 f_{1d}^e &= s_3 \oplus s_{w+2} \oplus s_{w+3} \dots \oplus s_z \\
 f_{2d}^e &= s_3 \oplus s_{w+3} \dots \oplus s_z \\
 &\dots \\
 f_{gd}^e &= s_{w+j} \oplus \dots \oplus s_z \\
 &\dots \\
 f_{wd}^e &= s_{w+1} \oplus s_{w+2} \oplus \dots \oplus s_z \oplus s_w \oplus s_b. \quad (9)
 \end{aligned}$$

Используя матрицу кодирования (2) получим значения проверок:

$$\begin{aligned}
 s_1 &= (y_{11} \oplus y_{21} \oplus \dots \oplus y_{m1}) \\
 s_2 &= (y_{12} \oplus y_{22} \oplus \dots \oplus y_{m2}) \\
 &\dots \\
 s_b &= (y_{1b} \oplus y_{2b} \oplus \dots \oplus y_{mb}) \\
 s_{b+1} &= (y_{11} \oplus y_{12} \oplus \dots \oplus y_{1b}) \\
 s_{b+2} &= (y_{21} \oplus y_{22} \oplus \dots \oplus y_{2b}) \\
 &\dots \\
 s_z &= (y_{m1} \oplus y_{m2} \oplus \dots \oplus y_{mb})
 \end{aligned} \quad (10)$$

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Подставляя полученные значения в выражения (9), получим логические выражения проверок для кодирования информации (формирования значений контрольных разрядов).

**Правило 5.** Если совокупности проверок  $S_{ij}$  и  $S_{ij}^e$ , входящие в  $q$ -ю дополненную предварительную проверку  $f_q^e$ , содержат четное число одинаковых символов (информационных разрядов с одинаковым номером  $y_q$ ), то оставляется один символ с этим номером (в противном случае данный ошибочный разряд не будет обнаруживаться).

В результате получим минимизированные дополненные проверки для формирования контрольных разрядов:  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_w\}$ .

Процедура декодирования включает следующие операции.

При получении кодовой комбинации относительно информационных разрядов повторно формируется значения контрольных разрядов  $R^p = \{r_1^p, r_2^p, \dots, r_w^p\}$ .

Разница между переданными значениями контрольных разрядов  $R$  и полученными после приема информации  $R^p$  образует синдром ошибки  $E$ .

$$\begin{aligned} R &= \{r_1, r_2, \dots, r_w\} \\ \oplus R^p &= \{r_1^p, r_2^p, \dots, r_w^p\} \\ E &= \{e_1, e_2, \dots, e_w\}. \end{aligned} \quad (11)$$

Если разряды синдрома ошибок имеют нулевые значения, то ошибок нет, и наличие ошибки в противном случае.

**Пример.** Допустим, имеем двенадцать информационных разрядов, для которых построим матрицу кодирования:

$$\begin{array}{ccc|c} Y_{10} & Y_{11} & Y_{12} & S_7 \\ Y_7 & Y_8 & Y_9 & S_6 \\ Y_4 & Y_5 & Y_6 & S_5 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 & S_4 \\ \hline s_1 & s_2 & s_3 & . \end{array}$$

Соответственно, проверки на четность строк и столбцов имеют вид:

$$\begin{aligned} s_1 &= (y_1 \oplus y_4 \oplus y_7 \oplus y_{10}), s_2 = (y_2 \oplus y_5 \oplus y_8 \oplus y_{11}), \\ s_3 &= (y_3 \oplus y_6 \oplus y_9 \oplus y_{12}), s_4 = (y_1 \oplus y_2 \oplus y_3), \\ s_5 &= (y_4 \oplus y_5 \oplus y_6), s_6 = (y_7 \oplus y_8 \oplus y_9), \\ s_7 &= (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}). \end{aligned}$$

Количество строк и столбцов матрицы кодирования равно семи.

Требуемое число контрольных разрядов:  $w = \log_2 7 = 3, g = \log_2 3 = 2$ .

Кодирование информации предлагаемым методом имеет вид (см. **таблицу 2**).

**Таблица 2**  
Кодирование информации для кода (12,3)

№ п/п	$f_1$	$f_2$	$f_3$
	$(2^0)$	$(2^1)$	$(2^2)$
1	$s_1$	<b>0</b>	0
2	<b>0</b>	$s_2$	0
3	$s_3$	$s_3$	0
4	0	0	$s_4$
5	$s_5$	0	$s_5$
6	0	$s_6$	$s_6$
7	$s_7$	$s_7$	$s_7$

Используя таблицу кодирования, получим исходные предварительные проверки:

$$\begin{aligned} f_1^e &= s_1 \oplus s_3 \oplus s_5 \oplus s_7 = \\ &= (y_1 \oplus y_4 \oplus y_7 \oplus y_{10}) \oplus (y_3 \oplus y_6 \oplus y_9 \oplus y_{12}) \oplus \\ &\oplus (y_4 \oplus y_5 \oplus y_6) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}). \\ f_2^e &= s_2 \oplus s_3 \oplus s_6 \oplus s_7 = (y_2 \oplus y_5 \oplus y_8 \oplus y_{11}) \oplus \\ &\oplus (y_3 \oplus y_6 \oplus y_9 \oplus y_{12}) \oplus \\ &\oplus (y_7 \oplus y_8 \oplus y_9) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}). \\ f_3^e &= s_4 \oplus s_5 \oplus s_6 \oplus s_7 = (y_1 \oplus y_2 \oplus y_3) \oplus \\ &\oplus (y_4 \oplus y_5 \oplus y_6) \oplus (y_7 \oplus y_8 \oplus y_9) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}). \end{aligned}$$

Используя правило 4 построим дополненные исходные предварительные проверки для кодирования информации  $F^e_d$ :

$$\begin{aligned} f_1^e &= s_1 \oplus s_3 \oplus s_5 \oplus s_7 \oplus s_1 = (y_1 \oplus y_4 \oplus y_7 \oplus y_{10}) \oplus \\ &\oplus (y_3 \oplus y_6 \oplus y_9 \oplus y_{12}) \oplus \\ &\oplus (y_4 \oplus y_5 \oplus y_6) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}) \oplus (y_1 \oplus y_4 \oplus y_7 \oplus y_{10}) = \\ &= (y_3 \oplus y_6 \oplus y_9 \oplus y_{12}) \oplus (y_4 \oplus y_5 \oplus y_6) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}). \\ f_2^e &= s_2 \oplus s_3 \oplus s_6 \oplus s_7 \oplus s_2 = (y_2 \oplus y_5 \oplus y_8 \oplus y_{11}) \oplus \\ &\oplus (y_3 \oplus y_6 \oplus y_9 \oplus y_{12}) \oplus \\ &\oplus (y_7 \oplus y_8 \oplus y_9) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}) \oplus (y_2 \oplus y_5 \oplus y_8 \oplus y_{11}) = \\ &= (y_3 \oplus y_6 \oplus y_9 \oplus y_{12}) \oplus (y_7 \oplus y_8 \oplus y_9) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}). \\ f_3^e &= s_4 \oplus s_5 \oplus s_6 \oplus s_7 \oplus s_3 = (y_1 \oplus y_2 \oplus y_3) \oplus (y_4 \oplus y_5 \oplus y_6) \oplus \\ &\oplus (y_7 \oplus y_8 \oplus y_9) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}) \oplus (y_3 \oplus y_6 \oplus y_9 \oplus y_{12}) = \\ &= (y_1 \oplus y_2) \oplus (y_4 \oplus y_5) \oplus (y_7 \oplus y_8) \oplus (y_{10} \oplus y_{11}). \end{aligned}$$

Используя правило 5 осуществим минимизацию дополненных предварительных проверок для кодирования (декодирования) информации:

$$\begin{aligned} r_1 &= (y_3 \oplus y_6 \oplus y_9 \oplus y_{12}) \oplus (y_4 \oplus y_5 \oplus y_6) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}) = \\ &= (y_3 \oplus y_9) \oplus (y_4 \oplus y_5 \oplus y_6) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}); \\ r_2 &= (y_3 \oplus y_6 \oplus y_9 \oplus y_{12}) \oplus (y_7 \oplus y_8 \oplus y_9) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}) = \\ &= (y_3 \oplus y_6) \oplus (y_7 \oplus y_8 \oplus y_9) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}); \\ r_3 &= (y_1 \oplus y_2) \oplus (y_4 \oplus y_5) \oplus (y_7 \oplus y_8) \oplus (y_{10} \oplus y_{11}). \end{aligned}$$

Допустим, есть двенадцатизрядное слово:  $U = y_1 y_2 \dots y_{12}$ , имеющие в своих разрядах следующие значения: 110 001 101 111.

Минимизированные дополненные предвари-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**Таблица 3**  
Значения синдромов при возникновении ошибок

№ п/п	Номер ош-го раз-да	Е	№ п/п	Номер ош-го раз-да	Е	№ п/п	Номер ош-го раз-да	Е
1	1	001	40	2 и 13	101	79	6 и 11	001
2	2	001	41	2 и 14	011	80	<b>6 и 12</b>	<b>000</b>
3	3	110	42	<b>2 и 15</b>	<b>000</b>	81	6 и 13	010
4	4	101	43	3 и 4	011	82	6 и 14	100
5	5	101	44	3 и 6	011	83	6 и 15	111
6	6	110	45	3 и 7	101	84	<b>7 и 8</b>	<b>000</b>
7	7	011	46	3 и 8	101	85	7 и 9	101
8	8	011	47	3 и 9	100	86	7 и 10	100
9	9	110	48	3 и 10	001	87	7 и 11	100
10	10	111	49	3 и 11	001	88	7 и 12	101
11	11	111	50	3 и 12	010	89	7 и 13	111
12	12	110	51	3 и 13	001	90	7 и 14	001
13	13	100	52	3 и 14	111	91	7 и 15	010
14	14	010	53	3 и 15	111	92	8 и 9	001
15	15	001	54	<b>4 и 5</b>	<b>000</b>	93	8 и 10	100
16	<b>1 и 2</b>	<b>000</b>	55	4 и 6	011	94	8 и 11	100
17	1 и 3	111	56	4 и 7	110	95	8 и 12	101
18	1 и 4	100	57	4 и 8	110	96	8 и 13	111
19	1 и 5	101	58	4 и 9	111	97	8 и 14	001
20	1 и 6	111	59	4 и 10	010	98	8 и 15	010
21	1 и 7	010	60	4 и 11	010	99	9 и 10	001
22	1 и 8	010	61	4 и 12	011	100	9 и 11	001
23	1 и 9	111	62	4 и 13	001	101	9 и 12	001
24	1 и 10	110	63	4 и 14	111	102	9 и 13	010
25	1 и 11	110	64	4 и 15	100	103	9 и 14	100
26	1 и 12	111	65	5 и 6	011	104	9 и 15	111
27	1 и 13	110	66	5 и 7	110	105	<b>10 и 11</b>	<b>000</b>
28	1 и 14	011	67	5 и 8	110	106	10 и 12	001
29	1 и 15	0 0 1	68	5 и 9	111	107	10 и 13	011
30	2 и 3	111	69	5 и 10	010	108	10 и 14	101
31	2 и 4	100	70	5 и 11	010	109	10 и 15	110
32	2 и 5	100	71	5 и 12	011	110	11 и 14	011
33	2 и 6	111	72	5 и 13	001	111	11 и 15	110
34	2 и 7	010	73	5 и 14	111	112	12 и 13	010
35	2 и 8	010	74	5 и 15	100	113	12 и 14	100
36	2 и 9	111	75	6 и 7	101	114	12 и 15	111
37	2 и 10	110	76	6 и 8	101	115	13 и 14	110
38	2 и 11	110	77	<b>6 и 9</b>	<b>000</b>	116	13 и 15	101
39	2 и 12	111	78	6 и 10	001	117	14 и 15	011

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

тельные проверки для формирования значений контрольных разрядов дают результат:

$$r_1 = (y_3 \oplus y_9) \oplus (y_4 \oplus y_5 \oplus y_6) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}) = 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1;$$

$$r_2 = (y_3 \oplus y_6) \oplus (y_7 \oplus y_8 \oplus y_9) \oplus (y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}) = 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 0;$$

$$r_3 = (y_1 \oplus y_2) \oplus (y_4 \oplus y_5) \oplus (y_7 \oplus y_8) \oplus (y_{10} \oplus y_{11}) = 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 = 1.$$

В результате имеем кодовое слово:

$$Y_{\kappa} = 110\ 001\ 101\ 111\ 101,$$

последние три разряда которого являются контрольными разрядами.

Если ошибок нет, то  $R=(101)$ ,  $R^p=(101)$ ,  $E=(000)$ .

Пусть произошла одиночная ошибка во первом информационном разряде:

$$0*10\ 001\ 1\ 01\ 111\ 101.$$

В этом случае имеем:

$$R=(101), R^p=(100), E=(001).$$

В таблице 3 представлены значения синдромов при возникновении одиночных и двойных ошибок в информационных и контрольных разрядах относительно кодового слова:

$$Y_{\kappa} = 000\ 000\ 000\ 000\ 000.$$

**Примечание.** Необнаруживаемые двойные ошибки выделены жирным шрифтом.

Из 117 одиночных и двойных ошибок не обнаруживаются 7 двойных ошибок, или 0,6% от возможного числа ошибок.

Таким образом, при кодировании двенадцати информационных разрядов предлагаемым методом, для обнаружения одиночных и двойных ошибок потребует три контрольных разряда. При использовании кода Хэмминга (код-11,4), потребуется четыре контрольных разряда [7].

При кодировании информации предлагаемым методом двоичного слова, содержащего 56 информационных разрядов (использовании матрицы кодирования  $7 \times 8$ ), потребуется четыре контрольных разряда.

При использовании кода Хэмминга (код-57,6) для этого потребуется шесть контрольных разрядов [5], т.е. на два разряда больше.

Заметим, что число контрольных разрядов при использовании предлагаемого метода кодирования зависит от размерности матрицы кодирования. Так, например, при кодировании пятидесяти четырех информационных символов и использовании матрицы кодирования размерности  $(3 \times 18)$  потребуется пять контрольных разрядов.

При использовании предлагаемого метода для построения кодирующего устройства потре-

буется 21 сумматор по mod 2. Для построения декодирующего устройства потребуется 21 сумматор по mod 2 и три сумматора по mod 2 для формирования синдрома ошибки, итого 45 сумматоров по mod 2.

При использовании кода Хэмминга (11,4) для кодирования информации потребуется 28 сумматоров по mod 2 (по 7 сумматоров по mod 2 для формирования каждого контрольного разряда). Для декодирования потребуется 32 сумматора по mod 2, итого 60 сумматоров по mod 2. Если учесть, что для хранения значений контрольных разрядов в устройстве памяти так же требуются аппаратные затраты, то выигрыш в аппаратных затратах от использования предлагаемого метода значительно выше.

Таким образом, использование предлагаемого метода кодирования информации по отношению к известным методам построения линейных кодов с синдромным декодированием позволяет сократить аппаратные затраты и число контрольных разрядов.

### Литература

1. Блюдов А.А., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Модифицированный код с суммированием для организации контроля комбинационных схем // *АиТ*, 2012. №1. С. 169-177.
2. Мехов В.Б., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Контроль комбинационных схем на основе модифицированных кодов с суммированием // *АиТ*, 2008. №8. С. 153-165.
3. Павлов А.А., Павлов П.А., Царьков А.Н., Хоруженко О.В. Функционально-кодовый контроль ошибок в автоматизированных системах измерительной техники // *Измерительная техника*, 2009. №9. С. 3-5.
4. Павлов А.А., Царьков А.Н., О.В. Хоруженко, Павлов П.А. Метод контроля ошибок в устройствах хранения и передачи информации автоматизированных систем измерительной техники // *Измерительная техника*, 2010. №11. С. 21-25.
5. Щербakov Н.С. Достоверность работы цифровых устройств. М.: Машиностроение, 1989. 224 с.
6. Piestrak S.J. Design of Self-Testing Checkers for Unidirectional Error Codes, Technical University, Wroclaw, 1995, 112 pp.
7. Das D., Touba N. Weight – Based Codes and their Application to concurrent error detection of multilevel circuits // *Proc. 17-th IEEE Test Simpos., California, USA*, 1999. Pp. 370-376.
8. Павлов А.А. Оценка эффективности методов повышения достоверности функционирования устройств хранения информации телекоммуникационных систем // *Известия Института инженерной физики*, 2011. №4(22). С.36-41.
9. Павлов А.А., Царьков А.Н., Роберт И.В., Павлов П.А., Сорокин Д.Е., Бурмистров А.А., Иванов Д.Д. Тестово-кодовая коррекция ошибок статических оперативных запоминающих устройств // *Известия Института инженерной физики*, 2015. №3(37). С. 31-37.

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.02:621.65.03

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РАЗЛОЖЕНИЯ РЕШЕНИЯ В ПОЛИНОМИАЛЬНЫЙ ХАОС ДЛЯ АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА\* POLYNOMIAL CHAOS EXPANSION FOR UNCERTAINTY QUANTIFICATION OF CENTRIFUGAL PUMP CHARACTERISTICS

**Виктор Евгеньевич Петров**

*кандидат технических наук*

научный сотрудник

МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,

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

Тел.: +7 (4967) 35-31-93

**Арнольдо Бадило**

*доктор философии*

научный сотрудник

Институт Пауля Шеррера

Адрес: 5232, Филлиген ПСИ, Швейцария

Тел.: +41 56 310 2707

E-mail: arnoldo.badillo@psi.ch

### Аннотация

В статье предложен подход к анализу влияния неопределенности геометрических размеров центробежного насоса на его рабочие характеристики, основанный на методе разложения решения в полиномиальный хаос. Представлены результаты численного расчета рабочих характеристик насоса радиального типа. С использованием предложенного подхода оценен вклад влияния таких размеров как: толщина лопатки рабочего колеса, ширина межлопаточного канала, величина выходного угла.

**Ключевые слова:** анализ неопределенности, полиномиальный хаос, центробежный насос, численные методы, CFD.

### Summary

In presented work author propose a new approach to assess an influence of centrifugal pump geometrical uncertainties on its characteristics by means of polynomial chaos expansion. Reported numerical analysis results of for the pump of a radial type. By employing proposed approach estimated effect of such geometrical dimensions as: impeller blade thickness, channel width and blade exit angle.

**Keywords:** uncertainties analysis, polynomial chaos, centrifugal pump, numerical methods, CFD.

На сегодняшний день нефтегазовая отрасль является лидером по использованию насосного оборудования, занимая порядка 17% мирового рынка насосов, более половины из которых являются теми или иными модификациями центробежных насосов [13]. При современном уровне цен на углеводороды для обеспечения прибыльности требуется минимизации себестоимости добычи, обеспечение которой практически невозможно без оптимизации технологий добычи и оборудования. Традиционный подход к конструированию и оптимизации насосных агрегатов сопряжен с проведением значительного числа натуральных экспериментов и, сле-

довательно, является весьма затратным. А в случае анализа малых вариаций, например, вариации геометрического размера в пределах технологического допуска, стоимость возрастает значительно, так как в этом случае опытные образцы необходимо изготовить, используя на порядок более точные методы производства и последующей обработки. Альтернативой натурным экспериментам является численное моделирование (англ. CFD – Computational Fluid Dynamic), в этом случае рабочие характеристики насосного агрегата определяются путем численного решения уравнений динамики жидкости Навье-Стокса. Использование современных методов и алгоритмов анализа [3] позволяет значительно сократить время и стоимость создания расчетной модели на основании геометрии, по-

\* Исследования проводятся при поддержке РФФИ (грант 14-08-31371)

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

лученной с использованием САПР (системы автоматизированного проектирования). Однако многопараметрический анализ конструкции с целью определения доминирующих геометрических факторов требует создания твердотельных моделей для каждого варианта геометрии и выполнения минимум 10 расчетов для каждого варианта с целью построения рабочих характеристик. Тогда размерность матрицы вариантов возможных конструкций при вариации трех геометрических размеров в пределах технологических допусков при условии  $n$  вариантов для каждого размера составит  $n^3$ , а количество требуемых расчетов составит  $n^3 \cdot 10$ .

Для снижения требуемого количества расчетных моделей в данной работе предложено использование методов анализа неопределенностей. Наиболее известным из таких методов является метод Монте-Карло, точность которого напрямую зависит от количества точек коллокации для каждого размера [7, 8]. Существуют способы снижения необходимого количества точек коллокации для метода Монте-Карло с сохранением высокой точности [12], однако даже самые оптимальные из них потребуют проведения расчетов для тысяч вариантов геометрии проточной части. В этой связи для проведения анализа был выбран гораздо менее затратный «неинтрузивный» метод разложения решения в полиномиальный хаос (англ. PCE – polynomial chaos expansion) [9, 11]. Данный метод является стохастическим методом, основанным на спектральном представлении неопределенности, в этом случае отклик системы  $R(X)$  можно разложить на детерминистскую и стохастическую компоненты. Например, для случайной переменной  $\alpha$  (которой может являться, например, один из геометрических размеров насоса) отклики можно записать как:

$$R(X) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i \phi_i(X), \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  – детерминистская компонента;  
 $\phi_i$  – случайная базисная функция, соответствующая  $i$ -ой моде.

Если отклик системы зависит от нескольких некоррелирующих случайных переменных (нескольких геометрических размеров), то плотность распределения вероятности может быть выражена как произведение вероятностей:

$$R(X) = \left( \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i \phi_i(X) \right) \left( \sum_{j=0}^{\infty} \alpha_j \psi_j(Y) \right), \quad (2)$$

где  $X=(X, Y)$  – вектор случайных величин.

Задавшись двухмерным полиномом  $\Phi_{ij}(x)=\phi_i(x)\psi_j(y)$ , выражение (1) можно переписать в виде:

$$R(X) = \sum_{k=0}^{L-1} a_k \Phi_k(X), \quad (3)$$

где дискретная сумма рассчитывается для числа выходных мод  $L$  определяемого следующим выражением:

$$L = \frac{(n+p)!}{n!p!}, \quad (4)$$

где  $n$  – размерность переменной  $X$ ;  
 $p$  – порядок полинома.

В качестве базисной функции используются полиномы Эрмита вида:

$$H_n(\zeta_{i1}, \dots, \zeta_{in}) = e^{\frac{1}{2}\zeta^T \zeta} (-1)^n \frac{\delta^n}{\delta \zeta_{i1} \dots \delta \zeta_{in}} e^{-\frac{1}{2}\zeta^T \zeta}, \quad (5)$$

Так как полиномиальный хаос основан на ортогональных полиномах  $\langle \Phi_i \Phi_j \rangle = \langle \Phi_i^2 \rangle \delta_{ij}$  (где  $\delta_{ij}$  – дельта Кронекера), коэффициенты разложения могут быть оценены при помощи скалярного произведения уравнения (3) и соответствующих полиномов:

$$\begin{aligned} \langle R(X) \Phi_i(X) \rangle &= \left\langle \sum_{j=0}^{L-1} \alpha_j \Phi_j(X) \Phi_i(X) \right\rangle = \\ &= \sum_{j=0}^{L-1} \alpha_j \langle \Phi_j(X) \Phi_i(X) \rangle = \alpha_j \langle \Phi_i^2(X) \rangle, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\alpha_i = \frac{\langle R(X) \Phi_i(X) \rangle}{\langle \Phi_i^2(X) \rangle}, \quad (7)$$

Для полинома заданного порядка  $p$  можно сгенерировать набор случайных точек  $\{\zeta_0, \zeta_1, \dots, \zeta_n\}$  и, зная отклик системы для точек, можно решить следующую систему уравнений:

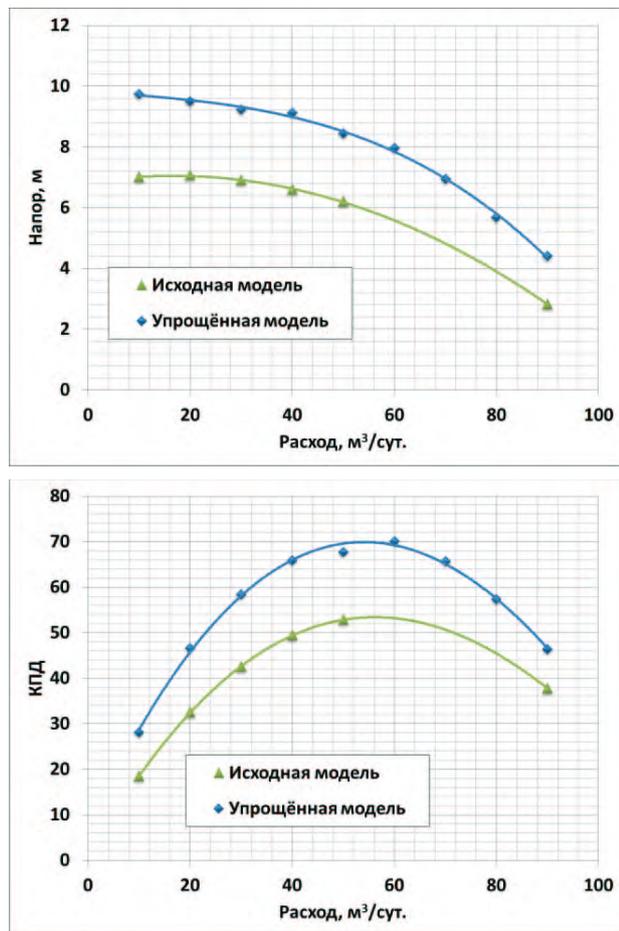
$$\begin{pmatrix} \Phi_0(\zeta_0) & \dots & \Phi_p(\zeta_0) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Phi_0(\zeta_n) & \dots & \Phi_p(\zeta_n) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_0 \\ \vdots \\ \alpha_{L-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R(\zeta_0) \\ \vdots \\ R(\zeta_n) \end{pmatrix}, \quad (8)$$

В качестве анализируемых размеров были выбраны:

- ширина межлопаточного канала рабочего колеса (h);
  - толщина лопатки рабочего колеса (b);
  - выходной угол лопатки рабочего колеса ( $\beta_2$ ),
- существенность влияния которых была продемонстрирована в работе [2]. Для проверки предложенного подхода была разработана упрощенная модель насосного агрегата, а в качестве базовой была выбрана конструкция радиального агрегата ЭЦНД5А-35 [5]. Принятые упрощения геометрии позволили изолированно изучать влияние варьируемых параметров рабочего колеса, то есть, избегая внесения других изменений в проточный тракт. При этом характер рабочих характеристик упрощенной конструкции соответствует характеру характеристик базовой конструкции, в том числе и максимальное значение КПД достигается при примерно оди-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

наковом расходе перекачиваемой жидкости (*рисунк 1*), что было показано в работе [4]. Большие значения напора и КПД в упрощенной модели связаны с меньшими потерями на перенаправление потока, характерного для последовательного соосного расположения рабочего колеса и направляющего аппарата.



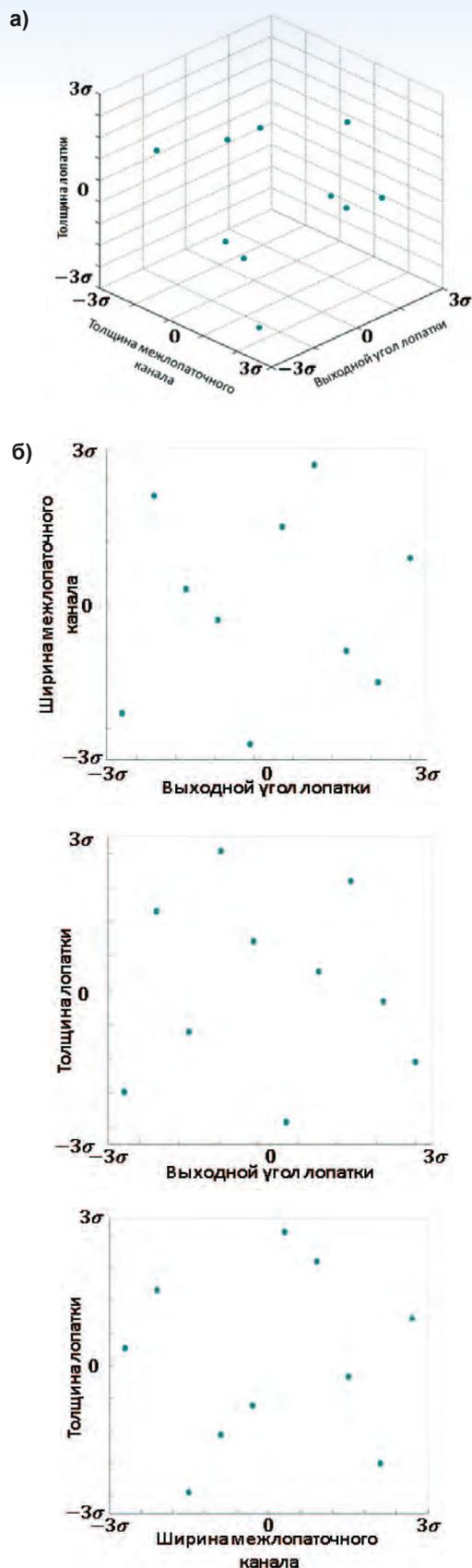
**Рис. 1.** Рабочие характеристики насосных агрегатов: напор (вверху), КПД (внизу)

Согласно способу изготовления элементов конструкции насосного агрегата и их механической обработки, распределение истинных величин всех трех выбранных размеров удовлетворяет закону нормального распределения и может быть описано функцией Гаусса [1] вида:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (9)$$

где  $\mu$  – среднее значение;  
 $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение.

Интервал распределения размеров был ограничен значениями  $\mu \pm 3\sigma$ . Определенное согласно формуле (2) необходимое число точек коллокации для полиномов 1-4 порядков представлено в *таблице 1*.



**Рис. 2.** Выборка точек коллокации: а) трехмерное представление, б) проекции на оси координат

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

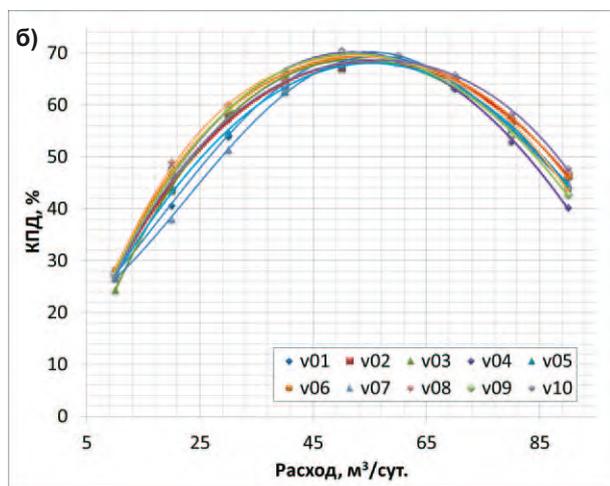
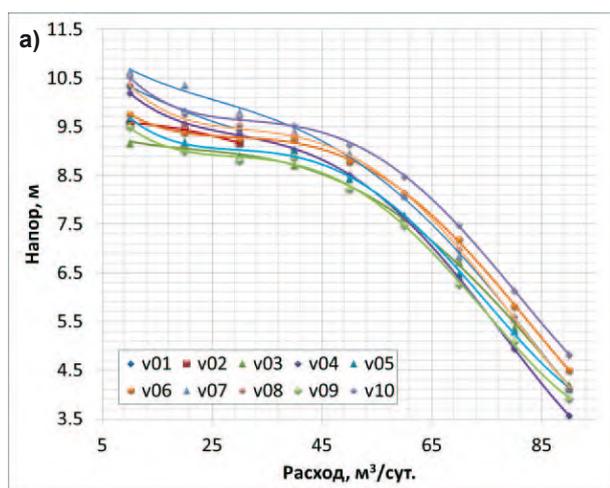
**Таблица 1**  
Необходимое количество точек коллокации

N	p	L-1
3	1	4
3	2	10
3	3	20
3	4	35

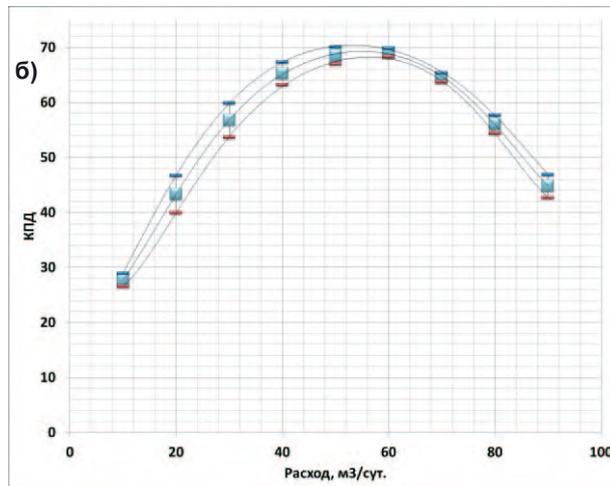
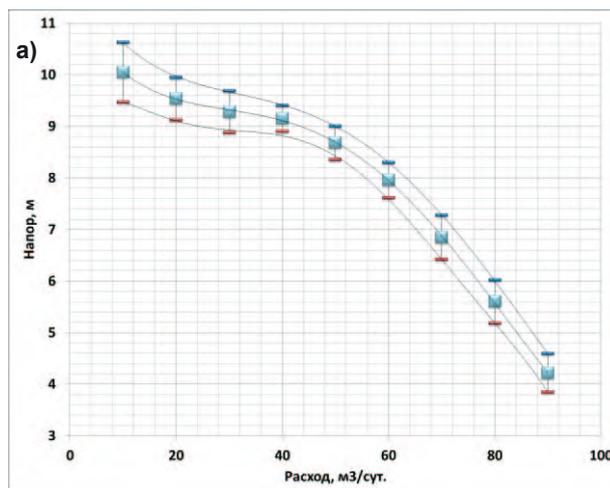
Согласно ряду исследований [6], для задач такого рода второй порядок полинома является достаточным, а следовательно, необходимое количество точек коллокации можно определить как  $L=10$ . Метод генерации выборки точек коллокации также оказывает пренебрежимо малое влияние на результат [10]. Однако во избежание повторяющихся значений для каждого из параметров, генерация выборки точек коллокации была выполнена с использованием метода латинского гиперкуба (англ. LHC – Latin hypercube) в трехмерном массиве с равномерным раз-

биением на 10 интервалов. Итоговая выборка представлена на *рисунке 2*.

Расчетные рабочие характеристики упрощенной модели насосного агрегата для каждой точки коллокации представлены *рисунке 3*. Вариации значений напора и КПД при номинальном расходе  $35 \text{ м}^3/\text{сут.}$  составляют соответственно  $-4.28\% \div 4.95\%$  и  $-8.05\% \div 1.02\%$ . Наибольший разброс как напора, так и КПД приходится на малые значения расхода перекачиваемой жидкости. Средние значения рабочих характеристик и их отклонения в пределах  $\pm 2\sigma$ , полученные с использованием «неинтрузивного» метода PSE, представлены на *рисунке 4*. Ширина полосы распределения величин напоров является неизменной практически на всем диапазоне расходов с незначительным расширением в области малых расходов. В то же время ширина полосы распределения величин КПД имеет четко выраженный минимум, расположенный в окрестности точки максимального КПД.



**Рис. 3.** Рабочие характеристики насосного агрегата: а) напор, б) КПД



**Рис. 4.** Средние значения рабочих характеристик и их отклонения: а) напор, б) КПД

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

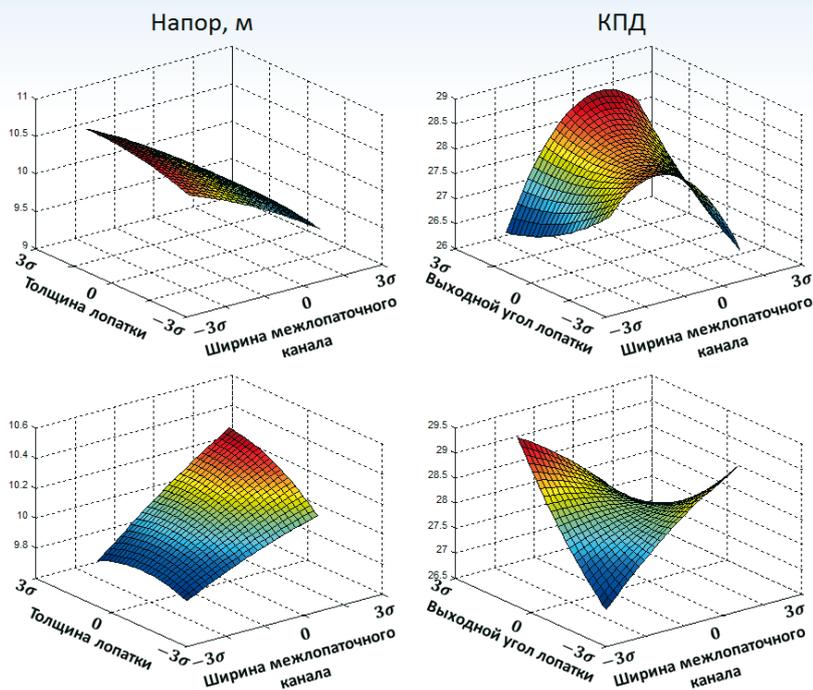


Рис. 5. Поверхности отклика при расходе  $10 \text{ м}^3/\text{сут.}$

На рисунках 5-7 представлены поверхности отклика напора и КПД насосного агрегата для трех величин расхода ( $10, 40$  и  $90 \text{ м}^3/\text{сут.}$ ). Данные поверхности представляют собой визуальное отображение функций  $H(h, b, \beta_2, Q)$  и  $\eta(h, b, \beta_2, Q)$  для фиксированного расхода, а параметры, не отображенные на координатных осях,

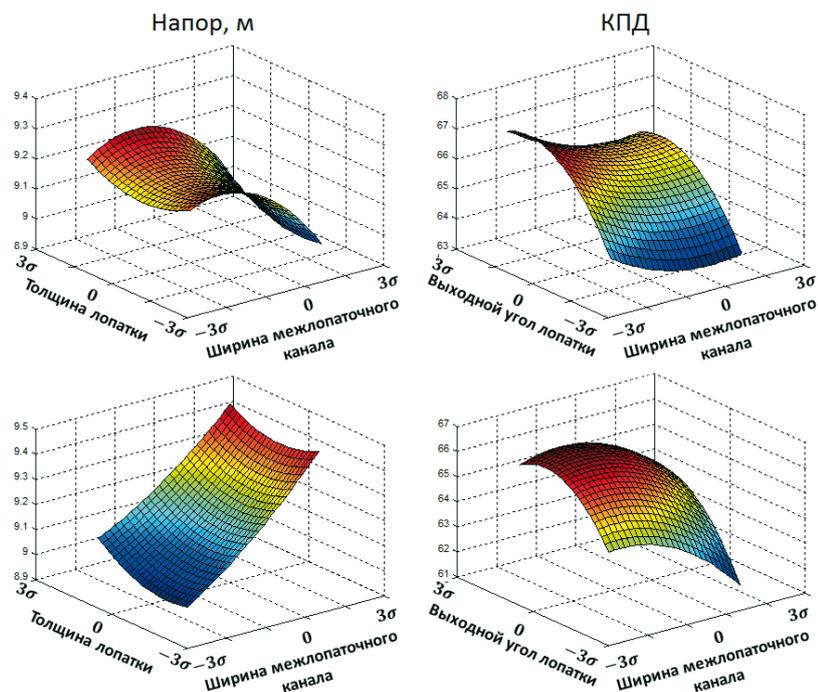


Рис. 6. Поверхности отклика при расходе  $40 \text{ м}^3/\text{сут.}$

учитывались исходя из среднего значения.

В проведенном исследовании с использованием детерминистского CFD кода в дополнении с методом неинтрузивного разложения в полиномиальный хаос проведен анализ рабочих характеристик центробежного насоса с учетом неопределенностей 3-х геометрических размеров, таких как: ширина межлопаточного канала рабочего колеса, толщина лопатки рабочего колеса, выходной угол лопатки рабочего колеса во всем диапазоне расходов перекачиваемой жидкости. Полученные результаты показывают существенную зависимость характеристик насосного агрегата от ширины межлопаточного канала при меньшем влиянии остальных двух параметров.

Максимальный диапазон неопределенности напора приходится на малые расходы перекачиваемой жидкости, в то время как максимальный диапазон неопределенности КПД приходится на диапазон расходов вблизи номинального ( $35 \text{ м}^3/\text{сут.}$ ). Из поверхностей отклика очевидна нелинейность и неоднозначность зависимости величин напора и КПД, в частности при расходе  $40 \text{ м}^3/\text{сут.}$  максимальный КПД достигается при минимальной ширине межлопаточного канала, в то время как максимальный напор соответствует среднему значению ширины канала.

Предлагаемый в работе подход позволяет существенно расширить диапазон информации о характеристиках насосного агрегата, получаемой расчетным путем. А возможность анализа влияния отдельных геометрических размеров и их распределения в пределах погрешностей изготовления на характеристики представляет собой расчетный инструмент, обеспечивающий возможность оптимизации конструкции на уровне требований к методам обработки деталей насоса.

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

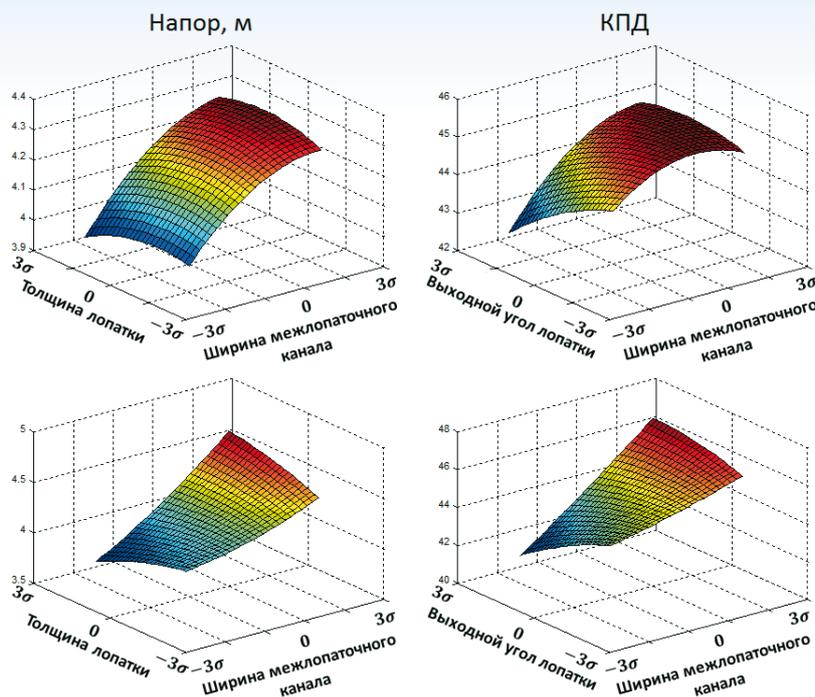


Рис. 7. Поверхности отклика при расходе 90 м<sup>3</sup>/сут.

## Литература

1. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. 6е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1987. 352 с.
2. Петров В.Е., Аксенов В.Е., Влияние отклонения основных размеров рабочего колеса на интегральные характеристики центробежных насосов / Известия Института инженерной физики, 2014. №4(34). С. 19-28.
3. Петров В.Е. Методическое и алгоритмическое обеспечение системного анализа гидродинамических процессов и прогнозирования рабочих характеристик промышленных погружных центробежных насосов: Дис. ... канд. тех. наук: 05.13.01. М., 2011.
4. Петров В.Е. Обоснование модификации конструкции насосного агрегата для анализа влияния неопределенности геометрических размеров проточного тракта на его рабочие характеристики. Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты: сборник материалов XXIII Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. С.С. Чернова. Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2015. 234 с.
5. ТУ 3665-004-00217780-98. Электроцентробежный двухопорный насос 5А-габарита в модульном исполнении без промежуточных подшипников, производительностью 35 м<sup>3</sup>/сут, напором 1350 м.
6. Buccio A., Uncertainty quantification for CFD simulation in turbulent mixing / Politecnico di Milano-2014 /

[Электронный ресурс]. URL: [https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/106782?mode=full&submit\\_simple>Show+full+thesis+record](https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/106782?mode=full&submit_simple>Show+full+thesis+record)

7. Cullen A.C., Frey H.C. Probabilistic techniques in exposure assessment: a handbook for dealing with variability and uncertainty in models and inputs. New York: Plenum Press, 1999.
8. Gamerman D. Markov Chain Monte Carlo. London: Chapman & Hall, 1997.
9. Hosder, S., Walters, R., and Perez, R., "A Non-Intrusive Polynomial Chaos Method For Uncertainty Propagation in CFD Simulations, AIAA-Paper 2006-891," 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, January, 2006, CD-ROM.
10. Hosder S., Walters R.W., Balch M., Efficient sampling for non-intrusive polynomial chaos applications with multiple uncertain input variables. AIAA paper 2007-1939, (2007).
11. O.M. Knio and O.P. Le Maître, "Uncertainty Propagation in CFD Using Polynomial Chaos Decomposition", Fluid Dynamics Research, vol. 38, pp. 616-640, 2006.
12. Shapiro A., Monte Carlo Sampling Methods, Handbooks in Operations Research and Management Science, Elsevier, 2003, Volume 10, Pages 353-425, ISSN 0927-0507.
13. The world pump market report by European Industrial Forecasting (EIF), 2006, [http://www.pump-systemsmatter.org/uploadedFiles/Pumps/Membership/Member\\_Services/Economic\\_Report\\_Services/EIFvolume1.pdf](http://www.pump-systemsmatter.org/uploadedFiles/Pumps/Membership/Member_Services/Economic_Report_Services/EIFvolume1.pdf)

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ



УДК 629.7.015+519.6

## СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ СРЕДСТВ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ

## A METHOD FOR CONTROLLING THE UNMANNED AIRCRAFT IN CONDITIONS OF EXTERNAL INFLUENCES OF AIR DEFENSE

**Дмитрий Вячеславович Смирнов**

доктор технических наук, доцент

Генеральный директор –  
Первый Вице-президент  
МОУ «ИИФ»

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

**Алексей Игоревич Алаторцев**

кандидат технических наук

докторант  
ВА РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухове)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7(4967)78-96-53  
E-mail: alexalat@yandex.ru

**Андрей Николаевич Фурув**

кандидат технических наук

преподаватель  
ВА РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухове)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: AFurov@gmail.com

### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы формирования пространственного маневра беспилотного летательного аппарата на активном участке траектории его движения. Предложен способ уменьшения вероятности поражения беспилотного летательного аппарата средствами противовоздушной обороны.

**Ключевые слова:** активный участок траектории, маневр беспилотного летательного аппарата, экстраполяция траектории полета.

### Summary

In article questions of formation of spatial maneuver unmanned aerial vehicle on an active portion of the trajectory of its movement. A method of reducing the likelihood of injury unmanned aerial vehicle in air defense.

**Keywords:** the active portion of the trajectory, the maneuver UAV, extrapolation of the trajectory.

Для уменьшения вероятности поражения беспилотного летательного аппарата средствами противовоздушной обороны (ПВО), предлагается повысить разведывательную защищенность траектории его полета на активном участке за счет повышения маневренности летательного аппарата в интервалах времени разделения его ступеней, когда отключаются реактивные двигатели ступеней летательного аппарата и пропадает демаскирующее инфракрасное пятно [2].

Функциональная схема устройства, реализующего предлагаемый способ уменьшения вероятности поражения беспилотного летательного

аппарата средствами ПВО, изображена на *рисунке 1*, где обозначено:

1 – приборный отсек беспилотного летательного аппарата с измерителем фазовых координат 1.1 и счетно-решающим блоком (бортовой ЭВМ) 1.2;

2, 3 и 4 – третья, вторая и первая ступени беспилотного летательного аппарата соответственно;

5 – элемент сравнения;

6 – блок запоминания параметров траектории полета;

7 – вычислитель частных производных параметров траектории полета;

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

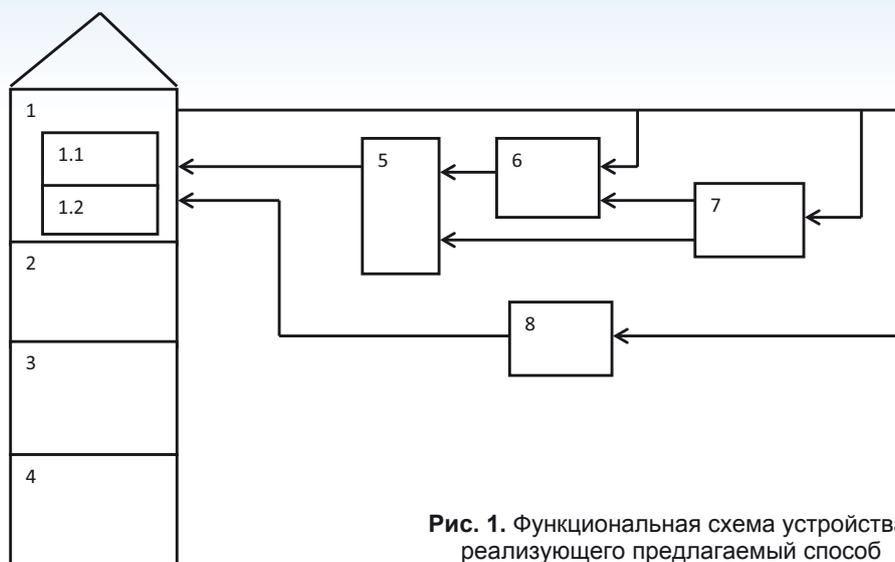


Рис. 1. Функциональная схема устройства, реализующего предлагаемый способ

8 – блок стабилизации полета летательного аппарата во всех точках активного участка траектории его полета, программного разворота по углу тангажа, включения и выключения двигателей, разделения и сброса отработанных ступеней летательного аппарата.

С помощью блока 8 реализуются известные операции [1] по стабилизации полета летательного аппарата во всех точках активного участка траектории его полета, программный разворот по углу тангажа, включение и выключение двигательных установок, разделение и сброс отработанных ступеней летательного аппарата. В процессе полета беспилотного летательного аппарата по заданной траектории на ее активном участке с разделением и сбросом отработанных ступеней средства ПВО отслеживают и прогнозируют путем экстраполяции дальнейший полет летательного аппарата по баллистической траектории с последующим его уничтожением.

Для уменьшения вероятности обнаружения беспилотного летательного аппарата средствами ПВО предлагается повысить разведывательную защищенность траектории его полета на активном участке, когда работает реактивный двигатель, путем повышения маневренности. Работа реактивного двигателя беспилотного летательного аппарата является основным демаскирующим признаком траектории его полета на активном участке.

Выполнение маневренных действий позволяет затруднить экстраполяцию траектории полета маневрирующего беспилотного летательного аппарата средствами ПВО. Однако для выполнения маневренных движений требуется дополнительный расход топлива и соблюдение требо-

ваний недопустимости чрезмерных перегрузок, что технически трудно выполнимо, так как увеличение расхода топлива приводит к уменьшению веса полезного груза, доставляемого летательным аппаратом, а возможные большие перегрузки требуют увеличения прочности корпуса летательного аппарата, которое так же приводит к увеличению его веса и, как следствие, к уменьшению веса доставляемого полезного груза.

В предлагаемом способе уменьшения вероятности поражения беспилотного летательного аппарата повышение его маневренности достигается без дополнительного расхода топлива и без увеличения перегрузок за счет регулирования временной паузы  $\tau_i$  включения (запуска) реактивных двигателей при разделении ступеней беспилотного летательного аппарата, используя математическое выражение:

$$\tau_i = \tau_{pi} + \left( \frac{\partial \tau}{\partial t_{\Gamma i}} \right)_{pi} \cdot \Delta t_{\Gamma i} + \left( \frac{\partial \tau}{\partial V_{ki}} \right)_{pi} \cdot \Delta V_{ki}, \quad (1)$$

где  $\tau_{pi}$  – максимальная временная пауза включения реактивного двигателя последующих ступеней летательного аппарата с учетом возможных максимальных возмущений на активном участке траектории его полета;

$\Delta t_{\Gamma i}$  – отклонение времени работы реактивного двигателя  $i$ -й ступени летательного аппарата от расчетного значения;

$\Delta V_{ki}$  – отклонение действительной скорости движения центра массы летательного аппарата  $i$ -й ступени от расчетного значения на момент окончания работы ее реактивного двигателя.

В свою очередь отклонения  $\Delta t_{\Gamma i}$  и  $\Delta V_{ki}$  определяются по формулам:

$$\Delta t_{\Gamma i} = t_{\Gamma i} - t_{\Gamma pi}, \quad (2)$$

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$$\Delta V_{ki} = V_{ki} - V_{kpi}, \quad (3)$$

где  $t_{Gi}$  – фактическое время работы реактивного двигателя  $i$ -й ступени летательного аппарата;  
 $t_{Gpi}$  – расчетное время работы реактивного двигателя  $i$ -й ступени летательного аппарата, которое определяется с помощью счетно-решающего блока 1.2 и хранится (запоминается) в блоке запоминания 6;

$V_{ki}$  – фактическая скорость движения центра массы летательного аппарата на момент окончания работы реактивного двигателя  $i$ -й ступени летательного аппарата, которая определяется с помощью измерителя фазовых координат 1.1;

$V_{kpi}$  – расчетная скорость движения центра массы летательного аппарата на момент окончания работы реактивного двигателя  $i$ -й ступени летательного аппарата, которая определяется с помощью счетно-решающего блока 1.2.

Время включения реактивного двигателя последующей  $i$ -й ступени летательного аппарата будет определяться как:

$$t_{вкл i} = t_{Gi} + \Delta t_i + \tau_{mri}, \quad (4)$$

где  $\tau_{mri}$  – расчетная временная пауза, соответствующая воздействию гравитационных сил, необходимых для построения заданной траектории полета беспилотного летательного аппарата.

Эта расчетная временная пауза  $\tau_{mri}$  определяется с помощью счетно-решающего блока 1.2 для каждой  $i$ -й ступени летательного аппарата согласно выражению:

$$\tau_{mri} = \left( \frac{\partial \tau}{\partial H} \right)_i \Delta H_i + \left( \frac{\partial \tau}{\partial L} \right)_i \Delta L_i, \quad (5)$$

где  $\Delta H_i$ ,  $\Delta L_i$  – расчетные точки включения реактивного двигателя последующей  $i$ -й ступени, которые учитывают высоту и дальность полета, и рассчитываются с помощью счетно-решающего блока 1.2.

В предлагаемом устройстве гравитационный импульс  $\Delta \tau_m$  рассчитывается с учетом больших для компенсации возмущающих факторов пассивного участка траектории по формуле:

$$\Delta \tau_{Pi} = \left( \frac{\partial \tau}{\partial \rho} \right)_{pi} \Delta \rho_i + \left( \frac{\partial \tau}{\partial C_x} \right)_{pi} \Delta C_{xi} + \left( \frac{\partial \tau}{\partial M} \right)_{pi} \Delta M_i, \quad (6)$$

где  $\Delta \tau_{Pi}$  – расчетная пауза, обеспечивающая стабилизацию пассивного участка траектории полета при разделении каждой  $i$ -й ступени;

$\Delta \rho_i$ ,  $\Delta C_{xi}$ ,  $\Delta M_i$  – отклонения плотности окружающей среды, коэффициента лобового сопротивления и массы летательного аппарата соответственно от расчетных значений.

С учетом выражений (3), (5) и (6), время включения реактивного двигателя последующей  $i$ -й ступени будет равно:

$$t_{вкл i} = t_{Gi} + \tau_{mri} + \Delta \tau_{Pi}, \quad (7)$$

Таким образом, реализуя математическое выражение (7) с помощью счетно-решающего блока 1.2, измерителя фазовых координат 1.1 и вычислителя частных производных параметров траектории полета 7 в замкнутой системе стабилизации 8, обеспечивается компенсация возмущений при маневрировании полетом летательного аппарата за счет реализации алгоритма управления беспилотного летательного аппарата с управляемыми паузами задержки включения реактивных двигателей в интервалы времени разделения ступеней. Так как действия возмущений, их компенсация и значение  $\tau_{mri}$  посредством управляемой задержки (7) включения реактивных двигателей при разделении ступеней являются случайными, то экстраполировать траекторию полета летательного аппарата средствами ПВО крайне затруднительно. Инфракрасное пятно работающего реактивного двигателя, как демаскирующий признак полета летательного аппарата пропадает при его отключении, что обеспечивает высокую разведывательную защищенность траектории полета. В результате использования предлагаемого способа вероятность поражения беспилотного летательного аппарата уменьшается на 10-20 %.

### Литература

1. Патент 2407979 RU на изобретение «Устройство для управления летательным аппаратом», МПК F42B10/00, приоритет: 28.09.2009 г., патентообладатели: «Росатом» и ФГУП «РФЯЦ».
2. Патент RU105882 на полезную модель «Устройство для управления беспилотным летательным аппаратом», МПК B64C19/00, F42B10/00, приоритет 27.01.2011 г., авторы: Алаторцев А.И., Алаторцев И.И., патентообладатель: МОУ «ИИФ».

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 311.4

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ

## INFORMATION SUPPORT OF MONITORING OF PEER-REVIEWED SCIENTIFIC PUBLICATIONS

**Николай Михайлович Емелин**

*заслуженный деятель науки и техники РФСР  
доктор технических наук, профессор*

заместитель директора по научной работе  
ФГБНУ «Госметодцентр»

Адрес: 115998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51

Тел.: +7(499)706-81-24

### Аннотация

Рассматриваются направления повышения качества рецензируемых научных изданий, обеспечения их соответствия мировому уровню путем приближения предъявляемых к ним требований к требованиям для индексирования научных изданий в международных базах. Предлагается совокупность критериев для оценки актуальности и эффективности научных изданий в процессе их мониторинга с использованием веб-ресурсов.

**Ключевые слова:** мониторинг, научные издания, критерий, информационное обеспечение, веб-ресурс.

### Summary

The article considers ways to improve the quality of peer-reviewed publications, ensuring their compliance with the world standards by matching their requirements to the requirements for indexing scientific publications in international databases. The set of criteria is proposed to assess the relevance and effectiveness of scientific publications in monitoring process using web resources.

**Keywords:** monitoring, scientific journals, criteria, information support, web resource.

Сформированный Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (вступил в силу 1 декабря 2015 г.), направлен на повышение качества диссертационных исследований путем развития механизма профессионального и общественного обсуждения их научных результатов, а также донесение результатов и достижений российских ученых, проводящих диссертационные исследования, до мировой научной общественности и повышение общего уровня и конкурентоспособности российской науки в мире. На 7 декабря 2015 года в этот Перечень вошли 1456 научных изданий. Также считаются входящими в Перечень 849 изданий по отраслям науки, соответствующим их профилю, те-

кущие номера которых или их переводные версии входят хотя бы в одну из международных реферативных баз данных и систем цитирования: Web of Science, Scopus, Astrophysics Data System, PubMed, MathSciNet, zbMATH, Chemical Abstracts, Soringer, Agris или GeoRef.

Несомненным достоинством сформированного в соответствии с правилами формирования и требованиями к рецензируемым изданиям [1] Перечня является включение в него наиболее авторитетных научных изданий и их привязка к отраслям науки и/или группам специальностей научных работников. Дальнейшее же повышение качества научных изданий видится нам в обеспечении их соответствия мировому уровню путем приближения предъявляемых к ним требований к требованиям для индексирования научных изданий в международных базах [2, 3].

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Это потребует расширения состава показателей качества научных изданий и, прежде всего, для оценки актуальности и эффективности российских печатных изданий.

Проведенный анализ используемых критериев актуальности и эффективности научных изданий [4, 5] позволил выделить в качестве основных следующие:

- 1) политика и научный контент печатного издания;
- 2) качество формата, языка и библиографической части печатного издания;
- 3) авторитетность печатного издания и редакторов;
- 4) доступность и распространение печатного издания;
- 5) состояние ресурсного обеспечения.

Какое же нужно информационное обеспечение для проведения мониторинга научных изданий по предлагаемым критериям?

Для критерия «Политика и научный контент научного издания» необходима информация об издании почти по максимально возможным доступным характеристикам, начиная со сведений об учредителях, описания политики и системы рецензирования и заканчивая данными о переводной версии и наличии доступа заявителя к международным реферативным БД (в том числе, Web of Science, Scopus и т.д.), а именно:

- формулирование редакционной политики;
- соответствие содержания статей заявленным целям и рубрикации научного издания;
- научная ценность публикуемых научных материалов;
- новизна и актуальность содержания публикуемых материалов;
- соответствие тематики научного издания приоритетным направлениям развития науки и технологий РФ/критическим технологиям/основным направлениям фундаментальных исследований/экономическим национальным приоритетам;
- наличие уникального научного материала;
- соответствие тематики научного издания интересам международного научного сообщества (оценка перспективности для выхода на международный уровень);
- уровень рецензирования;
- географическая распределенность редакционной коллегии;
- географическая распределенность авторов;
- географическая распределенность читателей.

Ключевым моментом для развития научного издания является рецензирование. Оно должно обеспечивать гарантию того, что все материалы

научного издания соответствуют определенному уровню качества представляемых в них научных работ. Отсутствие реальной экспертизы рукописей или проведение ее чисто формальным образом, когда рукописи отбираются одним редактором, приводит к тому, что даже в неплохих по средним показателям печатных изданиях существует большой разброс по качеству материалов.

Оценить, насколько серьезно организована экспертиза поступающих рукописей, можно несколькими способами:

1) интегральная оценка состава редколлегии/редсовета. Этот способ позволяет оценить уровень ученых – членов редколлегии, но при этом нет гарантии, что все эти ученые принимают активное участие в рецензировании и отборе рукописей для публикации в печатном издании;

2) процент отсеиваемых рукописей - показатель, как правило, отражающий качество рецензирования;

3) степень разброса опубликованных в научном издании статей по качеству. Эксперт оценивает этот показатель по содержанию. В библиометрических системах дается показатель процента процитированных статей, что иллюстрирует стабильность качества (при высоком проценте процитированных статей) или обратное (при низком показателе);

4) научные издания должны иметь качественные редакционный совет и/или редколлегию (в случае отсутствия первого), состоящие из ученых разных стран и регионов России. Ученые своей организации должны составлять не более 30%;

5) научное издание должно иметь международный состав авторов; авторы одной организации в каждом выпуске не должны составлять более 30%;

6) научное издание должно содержать 85-90% оригинальных научных статей, не публиковавшихся где-либо еще на этом же языке, и обзоров достаточного объема (объем научных статей, как правило, не должен быть менее 5-8 страниц, обзоры – не менее 10-12 страниц, в зависимости от тематики). К отраслевым, специализированным, научно-производственным журналам предъявляются те же требования, но научные статьи могут составлять 70-80%.

По критерию «Качество формата, языка и библиографической части напечатанных материалов – статей» должна собираться информация, касающаяся периодичности, объема издания, объема авторских резюме, наличия англоязычной части в статьях, наличия списков литературы и т.д.

Для критерия «Авторитетность печатного из-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

дания» требуется информация о характеристиках научного издания, включающая цитируемость издания, продуктивность по количеству публикаций, индексу Хирша главного редактора и двух-трех членов редколлегии, количественные характеристики по числу членов редсовета, географическому разнообразию членов редсовета и авторов и т.д.

Для критерия «Доступность и распространение печатного издания» можно использовать следующие характеристики научного издания: периодичность, тираж выпуска, количество условных печатных листов, средний объем одного экземпляра издания, каналы распространения, наличие зарубежных подписчиков, наличие сайта, число загрузок статей с сайта, наличие DOI, наличие печатного издания в WoS и/или Scopus и т.д.

И заключительный, но важный критерий – «Состояние ресурсного обеспечения». Для его оценки необходима информация, касающаяся [6]:

- уровня состоятельности интеллектуально-капитала издания (человеческого, организационного, отношенческого);
- удовлетворенности потребности заинтересованных пользователей печатным изданием;
- себестоимости издания (стоимость рукописи (авторский гонорар) + расходы издательства по подготовке рукописи к печати (редакционно-издательские расходы) + расходы на полиграфические материалы и работы (типографские расходы) + расходы по продвижению и распро-

странению издания + накладные расходы издательства);

- размера получаемой прибыли издания [разность между валовым доходом и затратами на реализацию товаров (издержками обращения)], оценки затрат на производство и продажу (нижняя и верхняя границы прибыли);

- роста и развития организации, выхода на новые рынки;

- лидерства на рынке (доли рынка);

- уровня оперативности информирования читательской аудитории о книжных новинках и переизданиях.

Отметим, что оценивание предлагаемых критериев актуальности и эффективности научных изданий можно проводить с использованием как традиционных наукометрических показателей (на основе количества публикаций, на основе количества цитирования, на основе количества цитирования и количества публикаций), так и альтернативных (например, число проведенных организацией научных конференций с международным участием, количество положительных или нейтральных упоминаний об издании в СМИ и т.д.), отобранных в результате сопоставления российских и зарубежных ресурсов: библиографических и реферативных баз данных с инструментами для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях.

Для обеспечения проведения мониторинга научных изданий по предлагаемому расширенному числу критериев потребуется доработ-

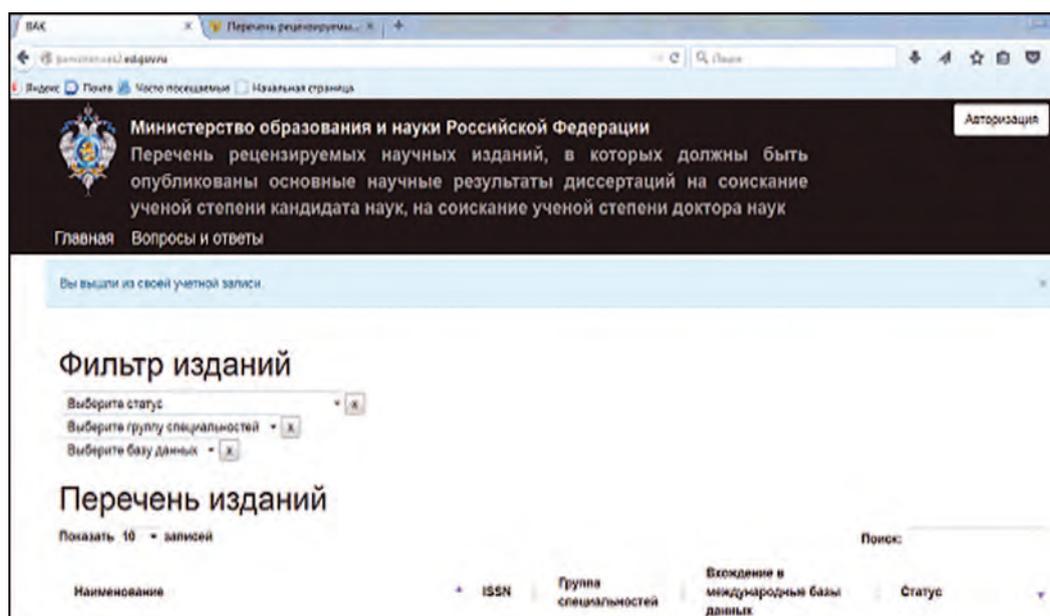


Рис. 1. Главная страница web-ресурса

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ка веб-ресурса <http://perechen.vak2.ed.gov.ru>, использовавшегося для формирования Перечня (главная страница показана на *рисунке 1*) и обеспечивающего решение следующих задач:

- обеспечение высокой надежности и точности сбора информации о рецензируемых изданиях, высокой скорости взаимодействия всех заинтересованных сторон за счет автоматизации процессов контроля выполнения, прозрачности деятельности;

- поддержку систем анализа и оценивания;

- поддержку эффективного накопления, управления и доступа к информации;

- обеспечение кадровой гибкости за счет большей формализации деятельности каждого участника взаимодействия и возможности хранения всей предыстории его деятельности и ее протоколирование;

- сбор поступающей информации, оценка его достоверности, агрегирование и систематизация с последующим анализом полученных данных;

- формирование информационно-аналитических материалов для проведения аналитических исследований.

Доработка веб-ресурса не представляет никаких сложностей, так как в состав системы электронного обмена данными входят инструмен-

ты и программные интерфейсы (API), позволяющие ее пользователям добавлять новые функции и модули, оптимизировать и развивать систему.

### Литература

1. Приказ Минобрнауки России от 25 июля 2014 г. №793 с изменениями, внесенными приказом Минобрнауки России от 3 июня 2015 г. №560.

2. Аксентьева М.С., Кириллова О.В., Москалева О.В. К вопросу цитирования в Web of Science и Scopus статей из российских журналов, имеющих переводные версии // Научная периодика: проблемы и решения, 2013. №4(16). С. 4-18.

3. Кириллова О.В., Диментов А.В. Индекс цитирования Scopus: критерии отбора журналов и перспективы включения российской экономической периодики // Вестник Финансового университета, 2013. №4 (76). С. 90-107.

4. Котляров И. Показатели качества научного журнала // Журнал теоретических и прикладных исследований, 2010. №8(76).

5. Кириллова О.В., Кузнецов А.Ю., Диментов А.В., Лебедев В.В., Шварцман М.Е. Категории и критерии оценки российских журналов и программы их развития // Научная периодика: проблемы и решения, 2014. №5(23). С. 20-34.

6. Конева В.В. Управление экономической эффективностью печатного периодического издания. Дисс. на соиск. канд. экон. наук. Москва, 2009.

УДК 615.038: 615.036: 615.035

## ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ОСТРОЙ РЕАКТОГЕННОСТИ ЭМУЛЬСИИ ПЕРФТОРУГЛЕРОДОВ.

### ЧАСТЬ 1. ПЕРФТОРАН

## POSSIBLE CAUSES ACUTE REACTOGENICITY

### PERFLUOROCARBON EMULSION. PART 1. PERFTORAN

**Евгений Ильич Маевский**

*доктор медицинских наук, профессор*

заместитель директора института,  
заведующий лабораторией Энергетики  
биологических систем

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки «Институт теоретической  
и экспериментальной биофизики» РАН

Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,  
ул. Институтская, д. 3 Тел.: +7(916)147-11-10

ведущий научный сотрудник  
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: eim11@mail.ru

#### Аннотация

Выделены основные характеристики газопереносящих кровезаменителей на основе эмульсии перфторуглеродов (ЭМПФ), которые могут инициировать развитие острых анафилактических реакций (реактогенность). Показано, что реактогенность ЭМПФ связана не только с наличием в составе стабилизирующей частицы ЭМПФ поверхностно-активного вещества (ПАВ) полоксамера, но может встречаться при использовании фосфолипидов в качестве ПАВ, и в значительной мере определяется размером частиц.

**Ключевые слова:** эмульсии перфторуглеродов, причины острой реактогенности, полоксамер, дисперсность эмульсий.

#### Summary

The basic characteristics of the gas is transported perfluorocarbon emulsion (PFE), which can trigger the development of acute anaphylactoid reactions (reactogenicity). It was shown that PFE reactogenicity associated not only with the presence of nonionic surfactant poloxamer in the composition of PFE particles, but may occur when using phospholipid as a surfactant and is largely determined by particle size.

**Keywords:** perfluorocarbon emulsion, acute adverse reaction causes, poloxamer, emulsion dispersion.

Острые потребности здравоохранения в кровезаменителях, средствах протившоковой терапии и лечении ишемических заболеваний более 70 лет являются стимулом создания газопереносящих лекарственных средств. Достижения в этом направлении, в частности, уровень работ по созданию газопереносящих кровезаменителей на основе модифицированного гемо-

глобина и эмульсий перфторорганических соединений (ЭМПФ) представлены в ряде публикаций [2, 7, 10, 12, 34, 37, 38, 42].

Жидкие перфторорганические соединения (ПФ) как кандидаты на роль переносчиков  $O_2$  выбраны в силу их стабильности, химической и метаболической инертности и аномально высокой способности растворять любые газы, в том

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

числе  $O_2$  и  $CO_2$  [7, 38, 42]. Уникальные физико-химические свойства – не растворимость ПФ в воде и липидах не позволяют использовать жидкие ПФ без предварительного получения стабильных биосовместимых эмульсий в водно-солевой среде. Первым лекарственным средством на основе ЭМПФ был японский препарат FluosolDA, созданный в 1978 году. FluosolDA успешно прошел доклинические и клинические испытания в Японии, но не был допущен FDA (Food and Drug Administration) к широкому клиническому применению в США и снят с производства из-за высокой реактогенности [40].

После создания в 1984 году в СССР перфторуглеродного кровезаменителя Перфторана – единственного в мире разрешенного для клинического применения вида ЭМПФ – в различных странах было разработано более десятка новых лекарственных средств на основе различных ЭМПФ, отличавшихся существенно большей стабильностью и кислородной емкостью по сравнению с Перфтораном.

Новые препараты соответствовали принятым научным сообществом в 1988 году физико-химическим и биологическим критериям и концепциям биосовместимости ЭМПФ [43]. Но ни один препарат ЭМПФ за последние 30 лет не преодолел барьер клинических испытаний, в отличие от неканонического Перфторана. Своеобразным признанием Перфторана стало приобретение компаниями Fluomed и FluorO<sub>2</sub>Therapeutics (USA) в 2014 году технологии синтеза ключевого компонента Перфторана – перфторметилциклогексилпиперидина (ПМЦП), патентован состав и способ получения Перфторана (<http://www.fluoro2therapeutics.com>). The US-based company FluorO<sub>2</sub> Therapeutics is a Delaware corporation located in Boca Raton, Florida. На сайте компании указано «Perftoran is a perfluorocarbonnano-emulsion; it is also the only artificial blood approved anywhere in the world: it was approved in Russia, Ukraine, Kazakhstan and, between 2005 and 2010, Mexico. Since it was first approved as a blood substitute in 1997, it has been given to over 30000 people with good results and few side effects».

В США Перфторан переименован в VIDAPHOR®. Новые владельцы надеются на ускоренное прохождение клинических испытаний благодаря российскому опыту.

После продажи прав на Перфторан в России препарат не выпускается. Однако исследования по созданию новых ЭМПФ продолжаются. В связи с этим следует подчеркнуть, что в настоящее время подавляющее большинство разработчиков и исследователей ЭМПФ убеждены в том, что «кислородпереносящие кровеза-

менители на основе перфторуглеродов не нашли широкого применения в клинике из-за их реактогенности» [20, 41].

В представленной работе выделен ряд характеристик Перфторана и некоторых других ЭМПФ, которые были максимально близки к выходу в клиническую практику. Речь идет, прежде всего, о свойствах препаратов, которые в той или иной мере ответственны за реактогенность – инициацию анафилактических реакций. Мы имеем основания считать, в отличие от установившихся представлений, что реактогенность обусловлена не только наличием в составе ЭМПФ поверхностно-активного вещества (ПАВ) полуксамера, стабилизирующего частицы ЭМПФ. Вероятность развития анафилактических реакций, возможно, иной природы, может, весьма велика при использовании в качестве ПАВ фосфолипидов. В частности, особая роль принадлежит сохранению нанодисперсности ЭМПФ. В представленном фрагменте анализа проблемы реактогенности мы учитывали, прежде всего, известные свойства препарата Перфторан.

### Краткая характеристика препарата Перфторан

Как свидетельствует инструкция Р № 001962/01-2002 от 24 декабря 2002 года по медицинскому применению кровезаменителя Перфторана с газотранспортной функ-

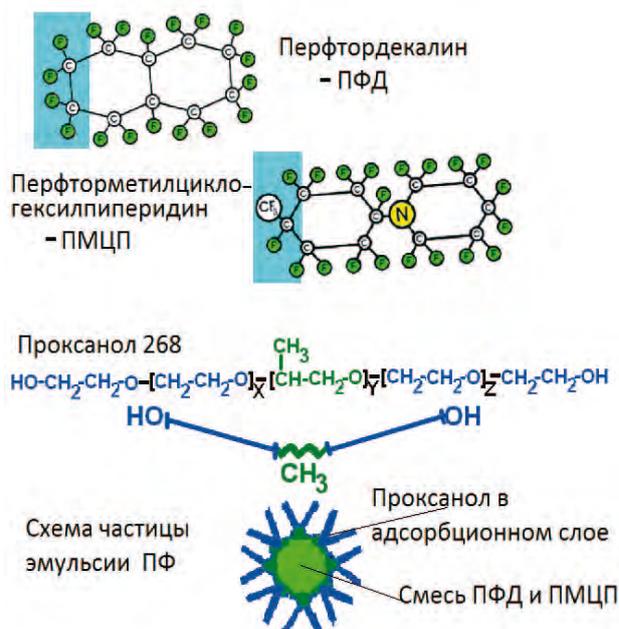


Рис. 1. Схематическое изображение формул ПФД, ПМЦП, Проксанола 268 и строения частицы эмульсии

цией «Перфторан – 10 об. % эмульсия на основе перфторорганических соединений, стабилизированная 4% поверхностно-активным веществом проксанолом 268 – при среднем размере частиц эмульсии 0.03-0.15 мкм, имеющая следующий электролитный состав (г/л): натрия хлорида – 6.0; калия хлорида – 0.39; магния хлорида – 0.19; натрия гидрокарбоната – 0.65; натрия фосфата однозамещенного – 0.2; глюкозы – 2.0. Осмолярность – 280-310 мосм/л; рН – 7,2-7,8. Растворимость кислорода – 6-7 об. % (при  $pO_2 = 760$  ммрт.ст.)».

В качестве ПФ Перфторан содержит смесь перфтордекалинов – ПФД с перфторметилциклогексилпиперидином ПМЦП (рисунк 1). Дисперсионная среда Перфторана по солевому составу, осмотичности и величине рН близка плазме крови.

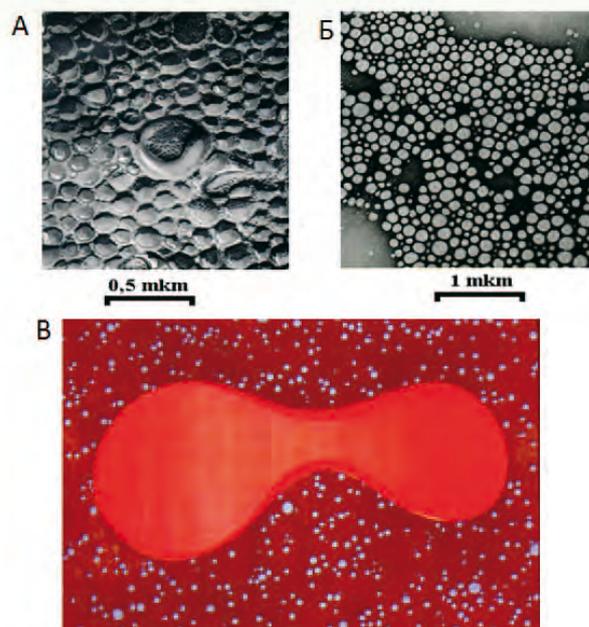
Важнейшей характеристикой и особенностью Перфторана является нанодисперсность: как правило; средний диаметр частиц ЭМПФ менее 100 нм (рисунк 2).

Перфторан переносит всего в 3 раза больше  $O_2$ , чем плазма крови и уступает гемоглобину в 20 раз при  $pO_2$  100 мм рт.ст. Но при этом наноразмерные частицы эмульсии многократно превосходят гемоглобин эритроцитов по скоростям насыщения и отдачи  $O_2$ , кроме того, участвующая в газопереносе диффузионная поверхность частиц эмульсии более чем на порядок превышает поверхность эритроцитов. Наноразмерные частицы ЭМПФ способны проходить через суженные сосуды и капилляры, недоступные для эритроцитов.

Даже при введении малых доз Перфторана его вклад в доставку  $O_2$  ощутим благодаря кардитоническому и вазодилатационному эффектам, физической модификации мембран эритроцитов и эндотелия сосудов, способствующей повышению эластичности эритроцитов и их прохождению через сосуды.

ЭМПФ частично воспроизводит газотранспортную функцию утраченных при кровопотере эритроцитов и функционирует вместе с оставшимися эритроцитами, образуя своеобразный газотранспортный конвейер при участии эритроцитов [7]. Наличие в препарате неионогенного ПАВ Проксанола способствует улучшению реологии крови.

Нами экспериментально показано, что после возмещения массивной 65% кровопотери Перфтораном митохондрии (энергетические станции клеток) – основные потребители  $O_2$  в тканях сохраняли высокую способность к дыханию и синтезу АТФ (Аденозинтрифосфат) [35]. Это прямое свидетельство значимого вклада



**Рис. 2.** Электронные микрофотографии эмульсии ПФ в составе Перфторана, выполненные: А и В методом замораживания – скалывания; Б – контрастирование с уранил ацетатом; А, Б – выполнены Н.В. Шибаевым и В.И. Поповым; В – В.В. Образцовым (в поле съемки эритроцит и множество частиц эмульсии). Микрофотография В окрашена на «Союзнаучфильм» Е. Покровским

Перфторана в кислородное обеспечение тканей на фоне кровопотери.

Доклиническое изучение безопасности и механизма действия Перфторана было выполнено на объектах различного уровня биологической организации от молекул до целостного организма [7].

В клинических условиях обнаружено, что кислородтранспортное, противошоковое и противоишемическое действие Перфторана проявляется практически «на игле» – сразу по мере введения препарата [10]. Сосудорасширяющий эффект наиболее выражен при облитерирующих заболеваниях сосудов уже в первые минуты после введения препарата [36] и затем постепенно ослабевает, но прослеживается в течение нескольких месяцев после выхода Перфторана из кровотока [13].

Детоксицирующая функция печени активируется под влиянием аккумулированного ПФД за счет трехкратной индукции синтеза цитохрома Р450, начиная с двух суток после инфузии Перфторана на период 12-14 дней [2]. Основные показания для применения Перфторана в клинической практике отражены в Инструкции на Перфторан [8] и методических рекомендациях [1, 8, 9, 15, 19].

### Реактогенность эмульсий и перфторуглеродов

Прежде чем рассмотреть реактогенность – ответную реакцию иммунной системы на чужеродный агент, каковым является ЭМПФ, – кратко коснемся роли иммунных клеток, фагоцитов, в фармакокинетике Перфторана.

После инфузии Перфторана порядка 70% ПФ выводятся из кровотока с выдыхаемым воздухом. Оставшаяся часть ПФ в составе частиц эмульсии фагоцитируется и аккумулируется в клетках ретикуло-эндотелиальной системы, из которых ПДФ элиминируется с периодом полувыведения 14 дней, а ПМЦП – с периодом полувыведения 14 недель [6]. После полного освобождения селезенки, печени, костного мозга, легких и лимфоузлов от ПФ «не образуется соединительной ткани...». Участки ткани, ранее занятые клетками и их скоплениями с аккумулярованными в них ПФ, «полностью замещаются элементами паренхимы (гепатоцитами в печени, лимфоцитами в селезенке, лимфатических узлах и вилочковой железе). Эта уникальная биологическая реакция, вероятно, отражает уникальную химическую инертность перфторорганических соединений» [6].

Первоначально загруженные частицами ЭМПФ микро- и макрофаги крови и тканей на некоторое время (4-18 часов в зависимости от величины введенной дозы Перфторана) теряют способность к фагоцитозу [6, 18, 30, 31, 32]. Но вслед за этим периодом блокады наступает фаза активации фагоцитоза.

Существенным недостатком Перфторана является вероятность развития нежелательных побочных анафилактических реакций различной степени выраженности. В инструкции по применению Перфторана [8] указана необходимость предварительного выполнения биологической пробы для выявления возможной индивидуальной реактогенности. При биологической пробе выявляются срочные реакции гиперчувствительности после внутрисосудистого введения первых капель Перфторана. Для профилактики анафилактических реакций рекомендуется проводить премедикацию антигистаминными препаратами, хлористым кальцием и кортикостероидами.

До сих пор не выяснено, чем обусловлена реактогенность: индивидуальной чувствительностью, непереносимостью, физико-химическими или ультраструктурными особенностями частиц ЭМПФ, изменяющимися, например, вследствие нарушения условий хранения, транспортировки или применения, неоднократного перезамораживания или излишне быстрого размораживания,

Чаще всего при инфузии Перфторана развиваются слабые реакции в виде покраснения лица, подкашливания, кожной сыпи, насморка, почесывания носа, бурления кишечника, которые проходят в течение 5-20 минут [10, 12]. Для их купирования достаточно прервать введение Перфторана на несколько минут, переждать нежелательную реакцию, а затем можно продолжить инфузию, желательнее в замедленном темпе.

Намного реже (в среднем по данным разных исследователей в 1-7% случаев) встречаются средние по интенсивности анафилактические реакции, такие как тахикардия, снижение артериального давления, затруднение дыхания, повышение температуры тела, боли за грудиной, головокружение, головная боль, холодный пот, боли в области почек. При появлении этих симптомов следует немедленно прекратить введение препарата и провести комплекс мероприятий, направленных на купирование анафилактических реакций: ввести кардиотонические, антигистаминные и вазопрессорные средства, хлористый кальций, преднизолон или дексаметазон.

Множеству препаратов на основе ЭМПФ путь в клиническую практику перекрыли тяжелые, смертельно опасные анафилактические реакции. Из-за этого был снят в середине 1980-х годов с клинических испытаний японский препарат FluosolDA20 (GreenCrossCorp.). Тяжелые анафилактические реакции встречались в 40% случаев применения FluosolDA20 у больных в США. И это при том, что в Японии FluosolDA20 успешно был использован более чем у 600 больных без выраженных анафилактических реакций. Японских исследователей обвинили в фальсификации данных. И лишь в 1988 г. на III Международном симпозиуме по кровезаместителям [43] в дискуссии было сказано о нарушении условий транспортировки замороженного препарата из Японии в США и озвучены сведения о наличии расовых различий в ответных реакциях на введение FluosolDA: у представителей монголоидной расы реактогенность встречалась намного реже, чем у представителей европеоидной расы. Причины расовых различий до сих пор никем не изучены.

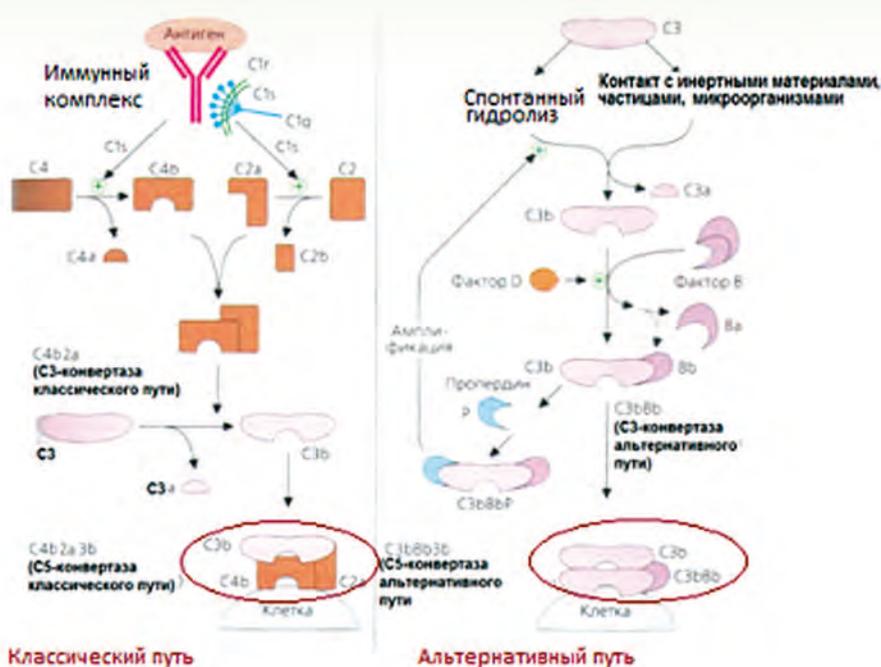
Препарат Oxugent был снят с третьей фазы клинических испытаний в 2005 году, так как анафилактическая реакция вызвала смерть больного, которому вводился препарат Oxugent (AllianceTherapeutics, США). Не опубликована информация о причинах прекращения второй фазы клинических испытаний в 2014 году в США

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

двух новых ЭМПФ – эмульсии перфтордодекапентана компании NuvOxPharm. Inc. [41] и комплексного эмульсионного препарата перфтортетрабутилгексана с модифицированным гемоглобином компании OxygenBiotherapeutics. Мы предполагаем, что наиболее вероятной причиной срыва клинических испытаний этих препаратов, великолепно зарекомендовавших себя в экспериментах на мелких животных, стали излишне грубые по дисперсности ЭМПФ.

Многие исследователи считают, что реактогенность ЭМПФ и, в частности, Перфторана связана с использованием полксамера в качестве стабилизатора эмульсии. Hammerschmidt и Vercellotti [28] полагают, что именно сформированный полксамером адсорбционный слой частиц ЭМПФ обуславливает активацию системы комплемента [20, 25, 26, 28, 36, 38, 41]: способствует запуску альтернативного неспецифического пути активации системы комплемента при контакте адсорбционного слоя частиц эмульсии с кровью подобно тому, как это происходит при контакте крови с инертной поверхностью полимерных мембран гемодиализатора или оксигенатора крови. Активация фактора C3 и последующий каскад превращений приводит к образованию анафилатоксинов – «терминального атакующего комплекса», ответственного за развитие анафилактоидных реакции (рисунк 3).

Hammerschmidt и Vercellotti [28] выполнили, казалось бы, весьма убедительный эксперимент на примере эмульсии перфторадамантана: продемонстрировали преимущество лецитина перед полксамерами. Исследователи регистрировали *in vitro* образование активных факторов комплемента C3a и C5a после смешивания эмульсии перфторадамантана, стабилизированной разными ПАВ, с несколькими образцами донорской плазмы. Замена полксамерного ПАВ на фосфолипидный в составе эмульсии перфторадамантана практически предотвращала образования C3a и C5a. Однако этот результат едва ли дает право распространять вывод,



**Рис. 3.** Активации системы Комплемента по классическому и альтернативному пути (модифицированная нами схема по М. Рокен, Г. Греверс и В. Бургдорф Наглядная аллергология, М.: Бином, 2013. 238 с.). Классический путь активируется антигеном. Альтернативный путь – в результате контакта инертных частиц, эндотоксинов микроорганизмов с компонентами активации фактора C3. Терминальный атакующий комплекс выделен овалом.

полученный при исследовании эмульсии высоко липофильного соединения перфторадамантана, наэмульсий всех видов ПФ.

Различные ПФ обладают неодинаковыми физико-химическими свойствами и имеют на порядок различающуюся степень липофильности [38]. Липофильные ПФ имеют выраженное сродство к фосфолипидным ПАВ, но не могут образовывать стабильных ЭМПФ с водорастворимыми полксамерами. Адсорбционный слой в таких эмульсиях непрочен (как это происходит с ЭМПФ в Перфторане, если нарушены условия хранения и размораживания) и это само по себе может приводить к активации системы комплемента. Напротив, из слабо липофильных ПФ не удастся получать стабильные эмульсии с помощью фосфолипидов. Перфторан является примером компромисса – небезуспешного использования смеси относительно липофильного ПФД с липофобным ПМЦП, стабилизированным в эмульгированном виде полксамером.

Следует отметить, что стремление современных разработчиков ЭМПФ использовать для кровезаменителя только липофильные быстро выводящиеся ПФ, по-видимому, не вполне оправдано. Хорошо известно, что ЭМПФ из смеси высоко липофильных ПФ с ПФД не без-

опасна [24]. Была показана гибель 100% кроликов в течение 2-3 недель после инфузии эмульсии липофильного ПФД в дозах 15-20 мл/кг [21]. Причем, смертельно токсичная для кроликов, эмульсия ПФД была совершенно безопасной для мышей и крыс в дозе 60 мл/кг. Эмульсии из смеси ПФД с другими липофильными соединениями – перфторалкиламинами под названием ПФОЖ-М или перфторгексадецилом оказались столь же высоко токсичными для кроликов. Смерть кроликов объяснялась [21] малой прочностью адсорбционного слоя ПАВ на поверхности частиц липофильных ПФ и образованием «плотных агрегатов размерами в десятки микрон» в кровотоке. Такая нестабильность ЭМПФ в кровотоке и склонность к образованию агрегатов вследствие недостаточной плотности адсорбционного слоя частиц могут иметь для человека не менее критического значение, чем для кроликов, поскольку линейная скорость кровотока у человека намного ниже, чем у кроликов и, тем более, у мышей и крыс. В отличие от эмульсий липофильных ПФ, эмульсии, стабилизированные проксанолом, из смеси липофильного ПФД и липофобного ПМЦП в соотношениях 2:1, 5:1 и 10:1 в дозах 30, 24 и 22 мл/кг соответственно, не вызывали гибель кроликов даже при десятикратном введении. Более того, Перфторан оказался единственным средством спасения животных, которым вводились смертельные дозы эмульсий из липофильных ПФ [21].

Следовательно, выводы о безусловных преимуществах использования фосфолипидов в качестве ПАВ и быстро выводящихся ПФ не могут считаться универсальными. Ясно, что для каждого вида ПФОС при получении эмульсии необходимо подбирать наиболее подходящую по средству систему ПАВ [22].

Представление об исключительной роли полксамера в развитии реактогенности стало еще более сомнительным после сравнительного исследования реактогенности двух видов ЭМПФ: Перфторана и Перфукола [20]. В Перфуколе эмульсия стабилизирована смесью фосфолипида с полксамером, а в Перфторане – только полксамером. Установлено, что после хранения Перфторан в 2 раза менее реактогенен, чем Перфукол (реактогенность оценивалась по нейтропеническому тесту).

В продолжение этих исследований [4, 5] было обнаружено, что реактогенность Перфторана может существенно зависеть от размеров частиц эмульсии. Как уже упоминалось, дисперсность эмульсии из смеси ПФД/ПМЦП в лекарственной форме Перфторана намного превосходит таковую в любой другой известной ЭМПФ.

Средний размер частиц эмульсии в Перфторане менее 100 нм. Напомним, что вывод о безопасном размере частиц эмульсий в диапазоне до 100 нм был сделан еще в 1971 году [26]. Позднее границы критического размера частиц эмульсий липофильных ПФ, стабилизированных фосфолипидами, были расширены до 300 нм [29]. Однако уже не один препарат со столь высоким размером частиц был снят с клинических испытаний в 2014 году самими авторами.

Почему же Перфторан при наноразмерной дисперсности может оказаться реактогенным? Ответ в свете оценки дисперсности прост. Прежде всего, это недостаточная стабильность нанодисперсии в жидком виде. Именно поэтому необходимо замораживать препарат для обеспечения более длительной сохранности нанодисперсии. При комнатной температуре нанодисперсия ЭМПФ в Перфторане сохраняется в неизменном виде, по-видимому, немногим более суток, хотя в инструкции [8] указан срок сохранности размороженного препарата при 2-4°C до 2 недель. Это утверждение основано на многолетнем опыте измерения времени сохранности размера и распределения частиц эмульсии. Однако в настоящее время имеются свидетельства того, что измерение размера частиц не отражает в достаточной мере происходящие изменения ультраструктуры адсорбционного слоя и стабильности частиц ЭМПФ. Согласно инструкции Перфторан хранится в замороженном состоянии при температуре – 18-24°C в течение 3 лет и более, и может переносить более трех сеансов размораживания-оттаивания с интервалом нахождения препарата в размороженном виде 2-3 часа при температуре 2-4°C.

Выполненный нами совместно с О.И. Михалевым в Институте химической физики АН СССР в 80-е годы эксперимент с использованием ЭПР-меченного соединения, имеющего сродство к адсорбционному слою частиц ЭМПФ, показал, что даже в замороженном виде может происходить изменение структуры адсорбционного слоя, особенно в случае хранения при температуре ниже –40°C. При этом происходило изменение агрегатного состояния связанной в адсорбционном слое воды. Иными словами, адсорбционный слой частиц ЭМПФ разрыхлялся, нарушалась его структура.

Кузнецова И.Н. [11] указывала на важность выявления возможных изменений ультраструктуры и плотности адсорбционного слоя в жидком не замороженном препарате. Эти изменения не обязательно выявляются при регистрации размеров частиц ЭМПФ. Следовательно, необходимо использовать дополнительные ме-

тоды, чтобы определять динамику ультраструктуры частиц и плотность адсорбционного слоя ПАВ. Очевидно, необходимо выполнять функциональные нагрузки в виде разведения ЭМПФ водой, смешивания с плазмой или сывороткой крови, высокомолекулярными соединениями, проверять стабильность ЭМПФ при центрифугировании и нагревании. До настоящего времени такие тесты с различными препаратами ЭМПФ лишь частично проводились И.Н. Кузнецовой и никем не были включены в систему исследования стабильности ЭМПФ.

В завершении анализа напомним о состоянии дисперсности других препаратов ЭМПФ как неучтенном факторе и возможной причине упомянутых клинических неудач.

Японский препарат FluosolDA (стабилизирован смесью полоксамера и фосфолипида) имел средний размер частиц порядка 200 нм и проявлял реактогенные свойства в 40% случаев в США. Препарат Oxugent [37, 38] компании AllianceTherapeutics (США) на основе эмульсии перфтороктилбромида, стабилизированной фосфолипидами, имел средний размер частиц от 160 до 260 нм и был снят с клинических испытаний к 2005 году. В 2014 году в США не прошли вторую фазу клинических испытаний две новые, с фосфолипидами в качестве ПАВ, эмульсионные формы: эмульсия перфтордодекапентана компании NuvOxPharm. Inc. [41] с широким распределением и средним размером частиц 250 нм; и композитная эмульсия перфтортетрабутилгексана с модифицированным гемоглобином (компания OxugenBiotherapeutics) с широчайшим распределением частиц в диапазоне 250÷650 нм [23, 29]. Мы считаем, что столь грубая дисперсность не допустима у препаратов, предназначенных для внутрисосудистого введения.

На основании представленных примеров можно полагать, что выход за пределы наноразмерности является фактором, имеющим прямое отношение к реактогенности. Подобную точку зрения декларировал в свое время С.И. Воробьев, но его аргументация была крайне скудной. Суммируя изложенный материал о роли степени дисперсности в инициации острой реактогенности, можно сделать предварительный вывод о необходимости разработки аппаратуры, технологических приемов и составов эмульсионных композиций, позволяющих получать наноразмерные ЭМПФ. Не исключено, что для разных композиций ПФ и ПАВ критические требования по дисперсности будут неодинаковыми. Но во всех случаях следует учитывать, что стабильность лиофобных ЭМПФ возрастает в случае достижения высокой калибро-

ванности частиц (согласно законам коллоидной химии) [22]. Однако до сих пор роль размеров частиц ЭМПФ и их калиброванности в инициации реактогенности в должной мере не изучены.

### Заключение

Представленный материал касается только срочных анафилактикоидных реакций. В рамках настоящей статьи не рассмотрены отсроченные реакции, вызванные активацией каскада превращений арахидоновой кислоты, характерные, по-видимому, для эмульсий, стабилизированных фосфолипидами. Не отражена и роль полиморфноядерных лейкоцитов и моноцитов, располагающихся в сосудах легких, что, скорее всего, является причиной особой чувствительности кроликов к составу и дисперсности эмульсий. Из вышеизложенного следует необходимость систематического исследования зависимости реактогенности от физико-химических факторов, прежде всего, от сродства между ПАВ и ПФ. Как известно, важную роль играют размер и степень калиброванности частиц, плотность и отсутствие деформации адсорбционного слоя. Значительную роль могут играть технология обработки ПФ и ПАВ и условия гомогенизации эмульсии, которых мы также не касались в представленной работе.

При анализе ряда современных патентов обращает на себя внимание поиск способов уменьшения реактогенности и стремление получить более стабильные препараты путем разведения, концентрирования или фильтрации, отсекающей крупные частицы эмульсии ПФОС. При проведении таких процедур не учитывается и не контролируется сохранность сформированного при экструзии равновесия между адсорбционным слоем дисперсной фазы и дисперсионной средой, повреждение гидрогеля адсорбционного слоя и окружающего его «двойного электрического слоя» [22]. Введение в технологию подобных процедур «кондиционирования» требует длительной проверки, включая изучение сохранности дисперсий при хранении.

Вероятность развития острой реактогенности возрастает экспоненциально под влиянием множества «постпроцедурных» внешних факторов, изменяющих ультраструктуру и размер частиц: при нарушении правил хранения и транспортировки, при многократном размораживании, чрезмерно быстром размораживании, интенсивном встряхивании жидкого препарата, хранении замороженного препарата при более низкой температуре – ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ . Для практи-

ки важно определить не только общие закономерности, но создать систему исследований конкретных образцов ЭМПФ, в том числе индивидуальной совместимости препарата для потенциального реципиента. Требуется выяснять как сказывается взаимодействие естественной дисперсии крови с нанодисперсией ЭМПФ, в какой мере и в какие сроки происходит изменение ультраструктуры частиц эмульсии и дисперсности при контакте с кровью [11].

Наряду с физико-химическими и ультраструктурными характеристиками собственно препарата следует установить роль конституциональных и функциональных особенностей пациентов в индивидуальной непереносимости и в вариативности ответной реакции иммунной системы на введение ЭМПФ [33].

Таким образом, решение проблемы реактогенности как наиболее актуального вопроса в области биосовместимости и в определении будущего существования ЭМПФ требует организации комплекса исследований, включающего сопоставление физико-химических, ультраструктурных и дисперсных параметров различных эмульсий ПФОС с их реактогенностью. Комплекс исследований должен включать определение нейтропенического индекса, влияния эмульсий на жизнеспособность кроликов, тестирование образования факторов С3а и С5 *in vitro* при контакте донорской плазмы крови человека с эмульсиями ПФОС, регистрацию состояния кардиореспираторной системы у крупных животных, измерение содержания гистамина и серотонина, отношения количества полиморфоядерных лейкоцитов к лимфоцитам и выраженности тромбоцитопенических реакций. Возможно, удастся использовать опыт китайских исследователей [39], предлагающих использовать кожные пробы с анафилатоксином, реакции преципитации сыворотки крови, взятой от кроликов через несколько минут после инфузии ЭМПФ.

Исследование проблем биосовместимости эмульсий перфторуглеродов потребует привлечения современного арсенала методов физической и коллоидной химии, биофизики дисперсных сред и иммунологии для разработки критериев и тестов возможной реактогенности эмульсий *in vitro* и *in vivo*. С практической точки зрения важно организовать обучение квалифицированному применению ЭМПФ в клинике и приемлемым для лабораторных исследований методам тестирования реактогенности эмульсионных препаратов.

### Литература

1. Барышев Б.А. Перфторан. Кровезаменитель с газотранспортной функцией. СПб.: Человек, 2001. 95 с.
2. Белоярцев Ф.Ф., Иваницкий Г.Р., Маевский Е.И., Образцов В.В., Шехтман Д.Г. Химически инертные фторуглероды – индукторы ферментов монооксигеназной системы микросом печени // Докл. АН СССР, 1986. №3(286). С. 729-732.
3. Белоярцев Ф.Ф., Кнуняц И.А., Иваницкий Г.Р. и др. Создание и апробация трансфузионных сред – переносчиков кислорода на основе эмульсий фторуглеродов (состояние проблемы, итоги работы, перспективы применения) // Анестезиология и реаниматология, 1985. №3, С. 73-74.
4. Воробьев С.И. Использование субмикронных перфторуглеродных эмульсий, стабилизированных проксанолом, в биологии и медицине: Автореф. дис., д-ра мед. наук. М., 1994. 45 с.
5. Воробьев С.И., Кутушенко В.П., Склифас А.Н. и др. Комплементактивирующее действие перфторуглеродных эмульсий. Обзор // Биосовместимость, 1995. Т. 3. №1-2. С. 51-62.
6. Голубев А.М., Белоярцев Ф.Ф., Васильев А.Э., Покровский Ю.Э. Реакции биологических систем при замене крови эмульсиями перфторуглеродов. М.: ТЕИС, 1993. 137 с.
7. Иваницкий Г.Р. Биофизика на пороге нового тысячелетия: перфторуглеродные среды и газотранспортные кровезаменители // Биофизика, т. 46. Вып. 1. С. 5-31.
8. Инструкция по медицинскому применению. «Кровезаменитель ПЕРФТОРАН с газотранспортной функцией». Утверждено Департаментом Государственного контроля лекарственных средств и медицинской техники Минздрава России. Р № 001962/01-2002. 24 декабря 2002 г. 2 с.
9. Использование препарата перфторан в схемах лечения отравлений дихлорэтаном: Методические рекомендации. М.: ГВМУ МО РФ, ВМедА; Сост.: Н.Н. Плужников, Г.А. Софронов, А.Е. Сосюкин и др., 1997. 12 с.
10. Крылов Н.А., Мороз В.В., Белоярцев Ф.Ф. Применение фторуглеродного кровезаменителя – перфторана в клинике // Воен.-мед. жур., 1985. №8. С. 36-40.
11. Кузнецова И.Н. Функциональная активность и стабильность эмульсий перфторуглеродов. Автореф. дисс. д-ра биол. наук. СПб., 1999. 38 с.
12. Маевский Е.И., Аксенова О.Г., Богданова Л.А., Мороз В.В., Сенина Р.Я., Пушкин С.Ю., Иваницкий Г.Р. Анализ побочных и клинических эффектов в ходе 1 и 2 фазы клинических исследований перфторана // Вестник службы крови России, 2001. №4. С. 23-29.
13. Мороз В.В., Маевский Е.И., Иваницкий Г.Р., Кармен Н.Б., Богданова Л.А., Лежнева И.Э., Хижняк Е.П., Хижняк Л.Н., Петрова И.Н., Орлов А.А., Суворова Н.В. Эмульсии перфторорганических соединений как средство для лечения нарушений регионарного кровотока // Общая реаниматология, 2007, Т. III, №3/1. С. 49-53.
14. Общая реаниматология. Т. III. Издание НИИ общей реаниматологии РАМН / Гл. ред. В.В. Мороз. М.: 2007. №3/1, 80 с.

15. Перфторан в интенсивной терапии критических состояний. Методические рекомендации / Под ред. Л.В.Усенко и Е.Н. Клигуненко. Днепропетровск, 1999. 56 с.
16. Перфторорганические соединения в экспериментальной и клинической медицине. Библиографический указатель 1966-2001 гг. под ред. Г.А. Софронова. СПб.: ВМедА., 2002. 268 с.
17. Перфторорганические соединения в экспериментальной и клинической медицине. Информационный бюллетень 2000-2004 гг. под ред. Г.А. Софронова. СПб.: ВМедА., 2004. 86 с.
18. Плузников Н.Н., Лобзин Ю.В., Ковеленов А.Ю., Железкова Е.В. Влияние перфторана на течение экспериментальных иммунодефицитов // Перфторорганические соединения в биологии и медицине. Сб. под ред. С.И. Воробьева и Г.Р. Иваницкого. Пушино: ИТЭБ РАН, 1997. С. 52-61.
19. Применение перфторорганических соединений в экспериментальной и клинической медицине / Сборник методических рекомендаций. Под общ. ред. Г.А. Софронова. СПб.: ГВМУ МО РФ. ВМедА, 2002. 96 с.
20. Пятовская Н.Н., Седова Л.А., Беркос М.В., Кочетыгов Н.И. Сравнительная оценка реактогенности эмульсий перфурола и перфторана // Перфторуглеродные активные среды для медицины и биологии (Новые аспекты исследований). Сб. научных трудов под. ред. Г.Р. Иваницкого и С.И. Воробьева. Пушино: ПНЦ РАН, 1993. С. 167-173.
21. Склифас А.Н., Образцов В.В., Макаров К.Н., Шехтман Д.Г., Кукушкин Н.И. Исследование механизма токсичности эмульсий перфордекалина для кроликов // Перфторуглеродные активные среды для медицины и биологии (Новые аспекты исследований). Сб. научных трудов под. ред. Г.Р. Иваницкого, С.И. Воробьева. Пушино: ПНЦ РАН, 1993. С.129-135.
22. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. М.: МГУ, 1982. 348 с.
23. M.R. Bullock, B. Spiess, D.P. Thompson. Method of treating traumatic brain injury. US Patent No. 8404752 B2. Oxygen Biotherapeutics, Inc., Virginia Commonwealth University 26.03.2013.
24. L.C.Jr. Clark, R.E. Hoffman, S.L. Davis. Response of the rabbit lung as a criterion of safety for fluorocarbon breathing and blood substitutes // *Biomat. Artif. Cells Immobil. Biotechnol.* 1992. V. 20, No. 2-4. P.1085-1099.
25. N.S. Faithfull and S.M. Cain. Cardiorespiratory consequences of fluorocarbon reactions in dog // *Biomat., Art. Cells, Art. Org.* 1988. V. 16. No. 1-3, p. 463-472.
26. T. Fujito, T. Sumaya, K. Yokajama Fluorocarbon emulsion as a candidate for artificial blood. Correlation between particle size of the emulsion and acute toxicity // *Europ. Surg. Res.* 1971. V. 3. P. 436-453.
27. R.P. Geyer. Perfluorochemicals as oxygen transport vesicles // *Biomat., Art. Cells, Art. Org.* 1988. V. 16. No. 1-3, p. 31-51;
28. D.E. Hammerschmidt, G.M. Vercellotti. Limitation of competent activation by perfluorocarbon emulsions: superiority of lecithin-emulsified preparations // *Biomat., Art. Cells, Art. Org.* 1988. V. 16. No. 1-3, p. 431-438;
29. R. Kiral, D.P. Thompson, G.L. Clauson. Emulsions of Perfluorocarbons US patent 20100267842 A1. Oxygen Biotherapeutics, Inc., Virginia Commonwealth University 21.10.2010
30. L. Jaeger, J. Lutz. Phagocytosis of colloidal carbon after administration of perfluorochemicals of first and second generation // *Oxygen transport to tissue: Proc. of 15th Int. Symp. N.Y. Adv. Exp. Med. Biol.* 1994. Vol. 345. P. 221-226.1.
31. M.B. Koester, J. Lutz. Magnetometric measurements of macrophage activity in the liver after administration of different perfluorochemicals // *Adv. Exp. Med. Biol.* 1994. Vol. 345, P. 215-220.
32. T.A. Lane, G.E. Lamkin. Paralysis of phagocyte migration due to an artificial blood substitute // *Blood.* 1984. Vol. 64, N 2. P. 400 -405.
33. K.C. Lowe, A.D. Bolland. Lymphoid tissue responses to emulsified perfluorochemicals: comparative aspects // *Biomater., Artif. Cells, Artif. Organs.* 1988. Vol.1 6, N 1-3. P. 495-504.
34. E. Maevsky, G. Ivanitsky, L. Bogdanova et al. Clinical results of Perftoran application: Present and Future // *Artif. Cells, Blood Substitits and Biotechnol.* 2005, v. 33. No. 1, P. 37-46.
35. E.I. Maevsky, H.R. Ivanitsky, B.I. Islamov, V.V. Mortoz, L.A. Bogdanova, N.B. Karmen et. al. Perftoran // Chapter 26 in «Blood Substitutes», ed. by R.M. Winslow. Amsterdam, Boston, Heilenberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, Singapore, Tokyo. Academ. Press for Elsevier. 2006. p. 289-297.
36. O. Rafikova, E. Sokolova, R. Rafikov, E. Nudler. Control of Plasma Nitric Oxide Bioactivity by Perfluorocarbons. Physiological Mechanisms and Clinical Implications // *Circulation.* 2004. V. 110. P. 3573-3580.
37. J.G. Riess Oxygen carriers ('Blood substitutes') - Raison d'Etre, chemistry, and some physiology. *Chemical Reviews* 2001, 101: 2797-2919.
38. J.G. Riess Understanding the fundamental of perfluorocarbons and perfluorocarbon emulsions relevant to in vivo oxygen delivery // *Art. Cells, Blood Subst. & Biotech.* 2005. V. 33. No.1. p. 47-63
39. Z. Sheng-Nian, L. Chung-Fang, D. Jin-Wu and D. Xun-Cheng. Anaphylactoid reactions induced by fluorocarbon blood substitute // *Biomat., Art. Cells, Art. Org.* 1988. V. 16. No. 1-3, p. 505-510.
40. Supplement to Perfluorochemical Blood Substitites «FC-43 emulsion», «Fluosol-DA, 20% and 35%, as an Oxygen carrying Colloidal Blood Substitute» (Green Cross Technical Information Ser. No.5 1978)/ Publications from October, 1978 to March 1982. R.Naito, K.Yokoyama // The Green Cross Corporation Technical Information. Ser. No.7. RN/KY. Osaka, Japan. July 30. 1981. 111 p.
41. T.W. Swyer, J. Strom, D.F. Larson. Nanoparticle oxygen delivery to the ischemic heart.// *Perfusion.* 2014 Nov; 29(6): 539-43.
42. R.M. Winslow. Ed. «Blood Substitutes». Amsterdam, Boston, Heilenberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, Singapore, Tokyo. Academ. PressforElsevier. 2006. 548 p.
43. III International Symposium on «Blood Substitutes», *Biomat. Art. Cells & Art. Org.* 1988. V.16. No. 1-3.

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

УДК 614.2:577.3

### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕДИЦИНСКОЙ НАУКИ В РФ И ЕЕ РОЛЬ В СИСТЕМЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ КАК СОСТАВНОЙ ЧАСТИ НАУЧНОГО ПРОСТРАНСТВА СТРАНЫ

### MODERN CONDITION OF MEDICAL SCIENCE IN RUSSIA AND IT'S PART IN THE HEALTH CARE SYSTEM AS A PART OF THE SCIENCE AREA OF THE COUNTRY

#### Валерий Кузьмич Курочка

заслуженный врач Российской Федерации  
заслуженный врач Республики Бурятия  
академик Академии проблем безопасности,  
обороны и правопорядка  
кандидат медицинских наук, профессор

генерал-майор медицинской службы в отставке  
советник Президента МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(985)999-18-23 E-mail: kvk1942@ mail.ru

#### Алексей Николаевич Царьков

заслуженный деятель науки РФ  
доктор технических наук, профессор

Президент – Председатель Правления Института  
МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская область, г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: tsarkov@iifmail.ru

#### Аннотация

В статье содержится глубокий анализ положений многочисленных руководящих документов, утвержденных Правительством РФ (с 2008 по 2015 год), определяющих и обосновывающих цели и приоритетные задачи государственной политики страны в области здравоохранения, рассмотрены основные тенденции развития современной медицины, проанализированы основные направления внедрения в современную медицину инновационных методов диагностики и лечения. Проанализированы конкретные предложения по основным концептуальным направлениям развития медицинской науки и системы здравоохранения в целом.

**Ключевые слова:** тенденции, концепция, исследования, медицинская наука, иммунология, рынок лекарственных средств, государственная политика, система здравоохранения.

#### Summary

The article contains the insightful analysis of the provisions of numerous guidance documents are approved by the Government of Russia (2008 to 2015). The purposes and foreground problems of the state policy of the country in the field of health care are identified and substantiated in the documents. The basic trends of development of modern medicine are determined; the basic directions of implementation in modern medicine innovative methods of diagnosis and treatment are analyzed. Specific proposals on the basic conceptual directions of development of medical science and health care system are analyzed.

**Keywords:** trends, concept, research, medical science, immunology, drug market, public policy, health care system.

Основной целью государственной политики в области здравоохранения является совершенствование системы охраны здоровья граждан в целях профилактики заболеваний, сохранения и укрепления физического и психологи-

ческого здоровья каждого человека, поддержания его долголетней и активной жизни, предоставление ему медицинской помощи. Достижение этой цели обусловит снижение уровня заболеваемости и смертности населения.

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

Одной из приоритетных задач при реализации данной цели является развитие медицинской науки и инноваций в сфере здравоохранения, предполагающее, прежде всего, формирование и выполнение научных программ по приоритетным направлениям в целях поддержания здоровья населения и формирование здорового образа жизни, разработки и внедрения новых эффективных технологий профилактики, диагностики и лечения социально-значимых заболеваний в практику системы здравоохранения. Инновационное развитие биомедицины способствует раскрытию потенциальных возможностей организма, включая адаптационные, и в конечном итоге служит залогом безопасности населения.

Внимание к биологическим исследованиям и разработке инновационных продуктов для здравоохранения, к развитию медицинской науки в РФ за последние годы, а также увеличению объемов ее финансирования позволили добиться отдельной положительной динамики в области публикационной и патентной деятельности учреждений, подведомственных Минздраву России. Так, в 2011 году российскими учеными было опубликовано почти 9 000 статей. Число получаемых в течение года охраноспособных результатов интеллектуальной деятельности увеличилось на 33% (с 425 в 2010 году до 634 в 2011 году).

Налаживаются контакты с зарубежными учреждениями науки и образования, что позволяет при необходимости привлекать к работе в российских лабораториях зарубежных ученых, а также направлять молодых российских специалистов на стажировку в крупнейшие зарубежные научные центры.

Важной положительной тенденцией в обеспечении качественных научных исследований стала проводимая Правительством РФ модернизация здравоохранения и, в частности, клинических подразделений научно-исследовательских центров.

Последние десятилетия отмечены успехами в области реализации междисциплинарных исследований иммунологии, лазерно-информационных для хирургии, разработки оригинальных лекарственных средств, раскрытия механизмов атеросклероза, лечения внутрочерепных кровоизлияний, средств профилактики, средств и методов лекарственной терапии злокачественных опухолей, создание технологий протезирования нижних конечностей и др. В последние годы в России наметился прогресс в оказании хирургической помощи больным с заболеванием сердца и сосудов, что, безусловно, связано с открыти-

ем в нашей стране новых специализированных центров сердечно-сосудистой хирургии и развитием на новом качественном уровне научных исследований в этой области медицины.

С 2010 года в России существует национальный проект «Микробиота» (Микробиом) российского человека», объединяющий российские институты Москвы, С.-Петербурга, Красноярска, Новосибирска, работающие в области гастроэнтерологии и молекулярной биологии.

В России разрабатывается и ряд клеточных технологий:

- многослойный пласт кератиноцитов на полимерных пленках;
- дермальный эквивалент и полный эквивалент кожи;
- заместительная клеточная терапия ожогов и трофических язв;
- методы контроля эффективности трансплантации клеточных препаратов;
- технология трансплантации иммуносовместимых кроветворных стволовых клеток для лечения онкогематологических заболеваний и других форм тяжелой иммунологической недостаточности;
- технология применения стволовых клеток костного мозга для лечения сердечно-сосудистых заболеваний.

В диагностике доминируют:

- иммуноферментный анализ;
- полимеразная цепная реакция;
- биохимические анализы на основе технологий point of care;
- иммунохроматографические методы анализа.

Фактически на долю этих тестов приходится более 70% от объема всего рынка диагностики в РФ. Доля импорта составляет 80,8%. Если сравнивать ситуацию с диагностикой и тест-системами в России со странами Европы и США, то Российский рынок далек от насыщенности! Рост рынка лимитируется такими факторами, как плохо поставленный учет некоторых социально-значимых заболеваний, требующих проведения диагностических тестов; низкой информированностью населения относительно того, что ранняя постановка диагноза существенно улучшает результат последующего лечения и др.

Все вышеизложенное показывает, что российская медицинская наука обладает значительным потенциалом.

Тем не менее, вклад российских медицинских исследователей в мировую науку все еще очень мал. Число молодых ученых в научной медицинской среде не превышает 25%, зарегистрированные патенты зачастую низкого качества. Не бо-

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

лее 10% из них посвящены новым субстанциям или устройствам, лишь 7 патентов за последние 4 года получили международный статус.

В немалой степени снижает эффективность научных исследований разобщенность российской медицинской науки.

Деятельность учреждений Минздрава, Минобрнауки России, РАМН, РАН, ФМБА России не скоординирована.

Профиль научных организаций часто не соответствует основным мировым трендам развития биомедицины, не выражена их специализация, нет выделенных приоритетов в постановке им задач, не сложились инновационные цепочки «лаборатория – производитель – клиника».

Слабо развита и инфраструктура медицинской науки. Большое число учреждений не соответствует требованиям GLP, GCP, GMP, не созданы надлежащие условия проведения доклинических исследований, испытаний инновационных препаратов с использованием специальных моделей на животных.

Развитие в России медицинской науки в области создания инновационных лекарств, лечебных и диагностических технологий сдерживает ряд системных проблем, связанных с низким уровнем инноваций и технологий, используемых при разработке и производстве лекарств.

Усугубляется ситуация острой нехваткой специалистов способных производить и продвигать на рынок отечественные разработки инновационных препаратов и технологий. В России нет крупных фармкомпаний, способных осуществлять эту работу (разработку новых лекарств). Отсутствие финансовой поддержки инновациям нанесло серьезный урон в связи с исчезновением отраслевых НИИ, разрабатывающих фармацевтические субстанции. Сегодня в РФ выпускают лекарственные средства на основе импортируемых субстанций! Кроме того, в России отсутствует сеть сертифицированных центров доклинических испытаний новых лекарственных средств. Медицинская наука, как и здравоохранение в целом, до сих пор остается импорт зависимой, использует приборы и реактивы импортного производства.

Из-за низкого уровня зарплаты весьма низок рейтинг науки в молодежной среде!

У практического здравоохранения нет механизмов коммуникации с фундаментальной и прикладной наукой для доведения до них информации о проблемах и неудовлетворенных потребностях в новых методах лечения и профилактики заболеваний. Следствием этого является то, что Россия все еще находится в ряду стран, у которых высоки барьеры к внедрению

инновационных разработок. Поэтому в целом российская медицинская наука остается неконкурентоспособной, а значит, непривлекательной для инвестиций. В этой ситуации необходимо революционализировать медицинскую науку и коренным образом изменить подходы государства к решению данной проблемы. Для выполнения этой задачи, прежде всего, необходимо оптимизировать саму структуру медицинской науки, выявив дублирующие, параллельно работающие учреждения с последующим их репрофилированием и при необходимости, объединением.

Необходимо создание целого комплекса обеспечивающей инфраструктуры, включающей Центры коллективного пользования, Центры доклинических исследований, Центры биоинформатики, Центр стратегических биомедицинских технологий и биобезопасности, а также биобанки и биокolleкции. Это позволит сконцентрировать ресурсы на решение актуальных задач медицинской науки и создать научные платформы по основным направлениям медицины, а также центры лидерства в приоритетных областях на основе ведущих в стратегически важных областях науки учреждений.

В 2011 году Министерством здравоохранения и социального развития РФ начато проведение системной работы по инвентаризации компетенций в области медицинской науки, формированию ее приоритетов и возможных сценариев развития, ориентированной на мировые исследования. Был проведен аудит рейтинговых приоритетных направлений биомедицинских исследований в мире. В рамках проведенной паспортизации был осуществлен детальный анализ компетенций более 5000 лабораторий 200 научных учреждений Минздрава, РАМН, Роспотребнадзора и ФМБА России. Была сформирована и ранжирована база данных научных публикаций российских ученых.

Проведенная работа позволила объективно оценить существующий научный потенциал. Были определены лидеры – руководители научных подразделений и групп, обеспечивающие присутствие РФ в мировой биомедицинской науке. Выявлен системный дефицит ряда критических (фундаментальных) технологий, таких, как: мегасеквенирование, создание тканеинженерных конструкций, получение чистых клеточных линий, технологии визуализации нейронной активности и т.д.

Дефицит отечественной медицинской науки по указанным направлениям делает пока невозможной реализацию прорывных проектов в области биомедицины на территории РФ.

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

Важным элементом стратегического развития медицинской науки явилось решение о переходе к управлению медицинскими исследованиями посредством механизма научных платформ. Медицинская платформа – это комплекс методологических, экспертных, информационных инструментов, позволяющих обеспечить:

- понимание – выработку стратегий и приоритетов исследований и мобилизацию общественных и частных источников финансирования для их достижения;

- оценку – анализ и оценку рыночного потенциала разрабатываемых технологий;

- внедрение – комплексное управление, координацию и обратную связь при решении отдельных задач.

В 2011 году Министерством здравоохранения РФ, совместно с ведущими учеными РАМН и РАН была инициирована разработка научных платформ, предполагающих концентрацию усилий на таких приоритетных направлениях, как молекулярная генетика, протеомика, молекулярная физиология, биоинженерия, клеточные и тканевые технологии, биоинформатика.

Всего было определено 14 приоритетных направлений научных исследований в области инновационного развития здравоохранения. К ним отнесены: онкология, микробиология, сердечно-сосудистые заболевания, профилактическая среда, эндокринология, неврология и нейронауки, педиатрия, репродуктивное здоровье, психиатрия и зависимости, регенеративная медицина, иммунология, инвазивные технологии, фармакология, критические технологии в медицине – это так называемые медицинские платформы.

На наш взгляд, одной из важнейших и далеко не решенных проблем в медицинской науке на сегодня является проблема по дальнейшему развитию такого раздела, как иммунология. Значение этого направления в науке до сих пор до конца не определено. Если проанализировать, как до сих пор шло ее становление и развитие в отечественной медицинской науке, то можно назвать такие важные исторические результаты, как создание учеными-иммунологами учения о вакцинах, практическое применение которого спасло жизни уже, наверное, миллиардам людей, защитив их от целого ряда смертельных инфекций.

Переливание крови, которое сохранило жизни, возможно, не меньшему количеству людей, также обязано работам иммунологов, доказавшим иммунологическую основу несовместимости крови на основе различных ее групп.

Пересадка костного мозга, как терапевтиче-

ское воздействие, вернее ее успехи, также обязаны работе иммунологов, которые доказали, что в основе неудачных пересадок от неродственных доноров лежит гибель реципиента, или пересаженного трансплантата в результате активности клеток иммунной системы.

Сегодня уже доказано, что нарушение функций иммунной системы лежит в основе заболеваний современного человека. Это такие заболевания, как: атеросклероз с его осложнениями в виде инфаркта и инсульта, аутоиммунные и аллергические заболевания, где практически каждый 3-5 человек имеет те или иные проявления аллергии, наконец, рак, одно из самых страшных заболеваний современности. Сегодня мы прекрасно понимаем, что тяжесть протекания любой инфекции, включая вирусные гепатиты, СПИД и др., напрямую связаны с функциями иммунной системы, находясь в прямой зависимости с ее уровнем состояния (В.А. Козлов, директор НИИФКИ, г. Новосибирск).

Для нас, военных врачей, представляется очень важным, что выживаемость военнослужащих от любого поражения, включая химические и радиационные, также, прежде всего, связана с функционированием иммунной системы.

Все сказанное выше о ведущей роли иммунной системы в патогенезе всех социально-значимых, основных заболеваний современного человека свидетельствует, что и успехи в терапии названных заболеваний напрямую будут связаны с успехами в области разработки новых лекарственных препаратов, направленных на коррекцию функций иммунной системы.

Что касается проблем иммуномоделирующей терапии, то мировым сообществом специалистов признано, что, например, наиболее перспективным методом лечения онкологических заболеваний являются методы иммуномодулирующих вакцин на основе дендритных клеток. Активно разрабатываются клеточные вакцины для лечения всех основных заболеваний современного человека на основе различных клеток иммунной системы (д.м.н. М.Т. Абидов, академик РАН В.А. Козлов).

Для нашего Института инженерной физики это очень важно, т.к. имея в арсенале производство такого эффективного иммуномодулятора как «Тамерит+» мы сможем в будущем, взаимодействуя с НИИ иммунологии РФ, отрабатывать совместные проекты по изучению и разработке способов и методик комплексного (совместно с «Тамерит+») воздействия на организм больного для получения максимального эффекта в лечении его заболевания. Мы прекрасно понимаем, что не корректно говорить об отдельном ле-

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

карстве против рака, сахарного диабета, против старения и т.д. Не может быть одного механизма развития любой серьезной патологии, не надо надеяться на одно лекарство против атеросклероза, ревматоидного артрита и т.д. Это системные заболевания, глубоко нарушающие гомеостаз заболевшего организма и восстановление общей саморегуляции внутреннего состояния организма человека – дело сложное и требует комплексного воздействия со стороны врача.

Надо разрабатывать принципы составления иммуномодулирующих коктейлей и здесь Институту инженерной физики одному, без серьезной научно-клинической базы – не справиться! Можно производить большое количество пре-

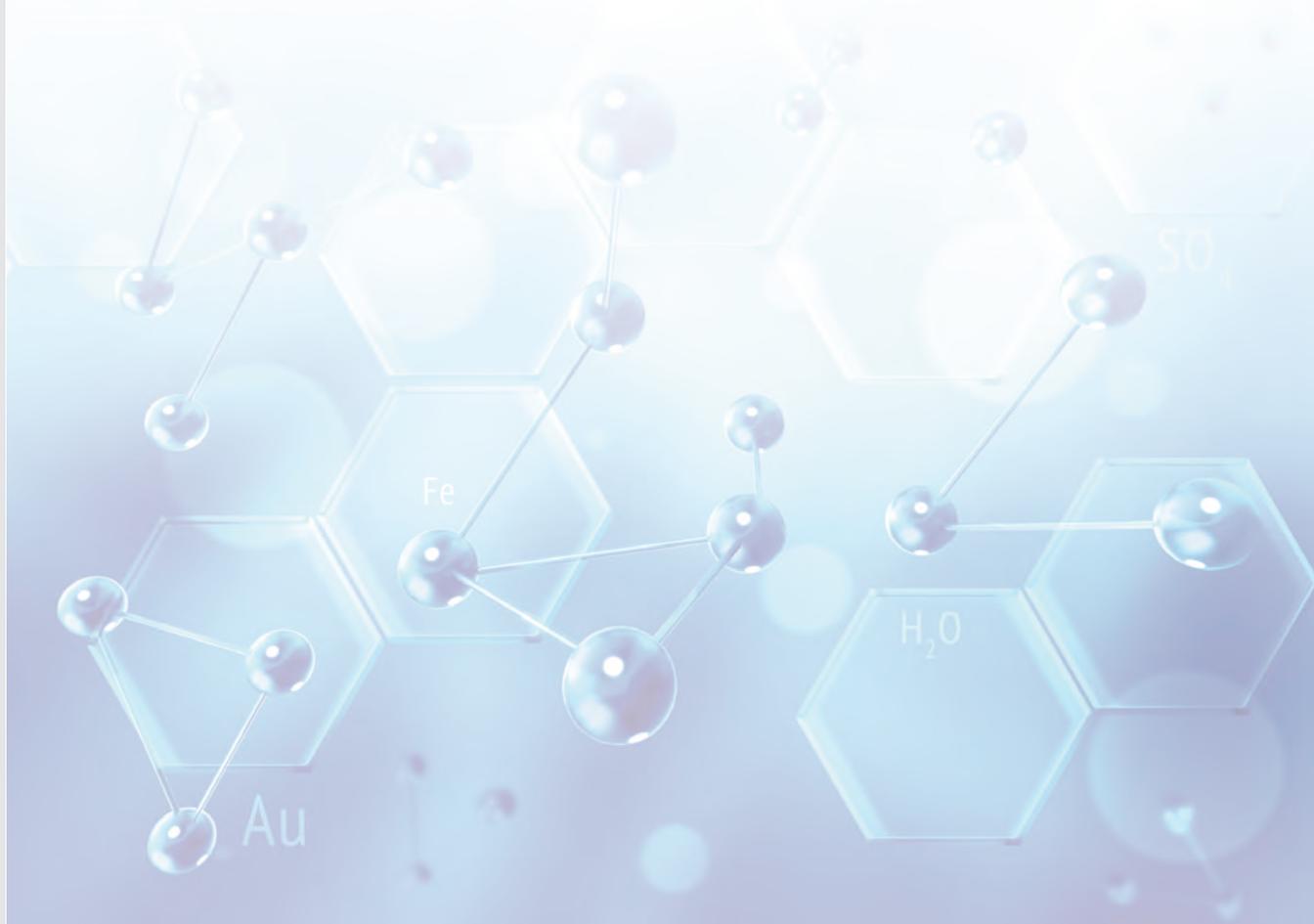
парата и, если не будет комплексного клинического изучения его воздействия на организм, то останется только коммерция, а это уже не имеет ничего общего с научной деятельностью.

### Литература

1. Прогноз развития медицинской науки на период до 2025 года. Утвержден Президиумом Российской академии медицинских наук 31.01.2007 г.

2. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 08.12.2011 г. № 2227-р.

3. Стратегия развития науки и инноваций в Российской Федерации на период до 2015 г. Утверждена Межведомственной комиссией по научно-инновационной политике (протокол от 15.02.2006 №1).



# ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 574

## ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ И ОСОБЕННОСТИ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО АППАРАТА ОЦЕНКИ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРОЕКТОВ

## THE RATIONALE FOR THE DEVELOPMENT AND FEATURES OF SCIENTIFIC-METHODICAL APPARATUS EVALUATION OF THE BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES TO IMPLEMENT INTERNATIONAL PROJECTS

**Сергей Васильевич Иванушкин**

*доктор военных наук*

Первый Вице-президент по развитию

МОУ «ИИФ»

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

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

E-mail: vboroday@iifmail.ru

### Аннотация

В статье проведено обоснование необходимости разработки согласованного со странами-участницами планируемого международного проекта в области обеспечения экологической безопасности научно-методического аппарата оценки наилучших доступных технологий (НДТ). Рассматриваются особенности указанного научно-методического аппарата и основные этапы подготовки межправительственных соглашений для решения наиболее значимых проблем экологического характера с использованием НДТ.

**Ключевые слова:** наилучшие доступные технологии, экология, международное сотрудничество, научно-методический аппарат, нормативная база, межправительственное соглашение.

### Summary

In article justification of need coordinated with the countries – participants of the planned international project in the field of ensuring ecological safety of the scientific and methodical device of an assessment of the best available technologies (BAT). Features of the specified scientific and methodical device and the main stages of preparation of intergovernmental agreements for the solution of the most significant problems of ecological character with use of BAT are considered.

**Keywords:** the best available technologies, ecology, international cooperation, scientific and methodical device, regulatory base, intergovernmental agreement.

В ходе подготовки межправительственных соглашений для решения приоритетных экологических проблем одним из важнейших вопросов является обоснованный выбор технологий и технических систем, обеспечивающих выполнение планируемого объема работ.

Так как этот выбор во многом определяет степень привлечения и, соответственно, финансирования каждой из стран, рассматривающих свою возможность участия в том или ином

международном проекте по обеспечению экологической безопасности, рассматриваемый проект должен быть, по возможности, избавлен от излишней политизированности и необоснованного давления со стороны отдельных заинтересованных хозяйствующих субъектов – как национальных, так и наднациональных.

Для окончательного принятия решений на политическом уровне в рассматриваемой предметной области в качестве необходимых исход-

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

ных данных, по сложившейся международной практике, рассматриваются заключения авторитетных экспертных групп, представляющих каждую из заинтересованных стран. Данное обстоятельство и определяет необходимость проведения исследований на согласованном странами-участницами международного проекта по обеспечению экологической безопасности научно-методическом аппарате и единых исходных данных.

Примерами экологических проблем, имеющих приоритетное значение для Российской Федерации, являются:

- обнаружение и уничтожение химического оружия и других опасных веществ в акватории Балтийского моря (условно, проект «Чистая Балтика-2»)<sup>1</sup>;

- качественное снижение неблагоприятного воздействия антропогенного фактора (прежде всего, связанного с хозяйственной деятельностью) на Кольском полуострове и других регионах Крайнего Севера;

- проведение комплекса мероприятий по обеззараживанию загрязненных районов в различных регионах нашей страны, возникающих в результате промышленного развития, технологических катастроф, повседневной деятельности Вооруженных Сил;

- утилизация систем и комплексов вооружения, военной и специальной техники (в первую очередь – устаревших боеприпасов).

В решении подобного рода задач представляется возможным использование опыта развитых стран в области применения наилучших доступных технологий с учетом наших национальных особенностей.

**Наилучшая доступная технология (НДТ)** – технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения [ФЗ от 21 июля 2014 года № 219-ФЗ «О внесении изменений в ФЗ «Об охране окружающей среды» и другие отдельные законодательные акты Российской Федерации»].

Основными принципами перехода на НДТ является:

<sup>1</sup> К настоящему времени в акватории Балтийского моря рядом стран, в том числе и Россией, выполнен значительный объем работ по ее обеззараживанию. Но проведенный анализ ситуации и результаты мониторинга не позволяют считать данную проблему потерявшей актуальность и значимость.

1. Системный подход к внедрению НДТ.
2. Единая идеология перехода на НДТ и межведомственного взаимодействия при использовании единых исходных данных.
3. Согласованный научно-методический аппарат обоснования и оценки реализуемости НДТ.

Цель внедрения НДТ в Российской Федерации – создание условий для развития промышленности (бизнеса), повышения их конкурентоспособности при одновременном снижении уровня негативного воздействия на окружающую среду. В результате формируется эффективная конкурентоспособная и экологически ориентированная модель развития экономики, снижаются негативное воздействие на окружающую среду и экологические риски, улучшаются условия жизни населения страны (см. *таблицу 1*).

**Таблица 1**  
Раскрытие понятия НДТ

НДТ	<u>Наилучшие:</u> позволяющие минимизировать негативный уровень воздействия на окружающую среду с приемлемым уровнем энерго- и других видов ресурсосбережения.
	<u>Доступные:</u> имеются в наличии, внедрены на двух и более предприятиях и экономически эффективны. Как правило, имеются аналоги и прототипы.
	<u>Технологии:</u> комплекс организационных мер, операций и приемов, направленных на изготовление, обслуживание, ремонт и/или эксплуатацию изделия с номинальным качеством и оптимальными затратами, и обусловленных текущим уровнем развития науки, техники и общества в целом. Технологические процессы, а также технические способы и оборудование.

К основным нормативным и методическим документам, регулирующим применение НДТ в нашей стране, следует отнести:

- Федеральный закон от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» (регулирует вопросы перехода на технологическое нормирование на принципах НДТ);

- Федеральный закон от 31 декабря 2014 г. №488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации» (регулирует вопросы поддержки промышленности, в том числе предприятий, внедряющих НДТ);

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

■ Постановление Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям»;

■ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. №2674-р «Об утверждении Перечня областей применения наилучших доступных технологий»;

■ Федеральный закон от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» (регулирует правовой статус информационно-технических справочников по НДТ);

■ приказы Росстандарта России (от 11 июня 2015 г. №707, от 23 июля 2015 г. №863, от 11 сентября 2015 г. №1145, от 20 октября 2015 г. №1225, от 30 ноября 2015 г. №1484);

■ приказ Минпромторга России от 31.10.2015 г. № 665 «Об утверждении Методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии»;

■ национальные стандарты (ГОСТ 5628.1-2015, 5628.2-2015, 5628.3-2015, 5628.4-2015, 5628.5-2015, 5628.6-2015, 5628.7-2015, 5628.8-2015, 5628.9-2015, 5628.10-2015, 5628.11-2015).

Наилучшие доступные технологии (наилучшие существующие технологии), в контексте нормативно-правовых актов ЕС, призваны стать элементом более качественного и экономически обоснованного контроля и предотвращения негативного воздействия на окружающую среду с учетом особенностей конкретных отраслей промышленности. Основными целями природоохранных директив ЕС являются обеспечение комплексного предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды на основе разработки и выдачи индивидуальных комплексных разрешений промышленным предприятиям, а также регулирование воздействий на всю такую среду в целом и обеспечение высокого уровня ее охраны и защиты. НДТ оптимально удовлетворяют системе критериев по оценке воздействия на окружающую среду, что является основным для получения комплексного разрешения их использования в соответствующих отраслях экономики.

В таблице 2 приведены содержание и основные этапы решения экологических проблем на наднациональном уровне.

17 декабря 2015 года состоялось совместное заседание Межведомственного совета Минпромторга России под председательством первого заместителя Министра Г.С. Никитина и коллегии Федерального агентства по техническому

регулированию и метрологии (Росстандарта) под председательством руководителя Агентства А.В. Абрамова, на котором прошло обсуждение целого комплекса проблем, связанных с использованием НДТ в нашей стране с учетом зарубежного опыта, а также процесса внедрения НДТ в Российской Федерации до 2019 года и далее.

При реализации обсуждаемых на отмеченном выше совместном заседании проблем и принятом решении представляется целесообразным провести обобщение имеющихся к настоящему времени методических материалов и уточнить научно-методический аппарат оценки НДТ.

Представляется, что согласованный в ходе подготовки межправительственных соглашений научно-методический аппарат должен состоять из двух основных составных частей:

■ общей – включающей основные принципы оценки наилучших доступных технологий для реализации рассматриваемого международного проекта;

■ специальной – учитывающей специфику того или иного участника проекта.

К особенностям научно-методического аппарата оценки НДТ, предполагаемого к использованию в ходе подготовки межправительственных соглашений представляется возможным отнести:

■ учет особенностей нормативно-правовой базы в рассматриваемой предметной области каждого из заинтересованного в проекте субъектов международного права;

■ рассмотрение всего комплекса НДТ, применение которых возможно при реализации проекта, а прежде всего тех, которые имеются у стран – предполагаемых участниц проекта;

■ представление предложений об изменениях нормативно-правовой базы в рассматриваемой предметной области заинтересованных субъектов международного права, необходимых для успешной и своевременной реализации рассматриваемого проекта.

Таким образом, для реализации рассматриваемых проблем представляется целесообразным провести обобщение имеющихся к настоящему времени методических материалов и разработать научно-методический аппарат оценки как отечественных, так и зарубежных НДТ.

Основными составными частями такого научно-методического аппарата могли бы стать:

1. Анализ зарубежного опыта в области развития НДТ. Здесь должен быть определен достаточно полный перечень возможных аналогов и прототипов НДТ при решении практических задач в рассматриваемой предметной области.

2. Обоснование основных принципов опре-

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

**Таблица 2**

Содержание и основные этапы подготовки и реализации межправительственных соглашений для решения наиболее значимых проблем экологического характера с использованием НДТ (на примере проекта «Чистая Балтика-2»)

№ п/п	Основное содержание этапа	Перечень стран – потенциальных участниц проекта
1	<u>Первый этап</u> Обсуждение проблематики проекта «Чистая Балтика-2» на всех доступных площадках и в любых формах как в государственных, так и в общественных, а также частных организациях.	Дания
2	<u>Второй этап</u> Обоснование, формулирование и представление предложений (том числе и по возможному применению НДТ) участниками обсуждения по п.1 проблем для уполномоченных органов государственной власти стран – потенциальных участниц проекта.	Германия
3	<u>Третий этап</u> Проведение предварительных переговоров уполномоченных органов государственной власти стран, высказавших готовность принять участие в реализации проекта. Достижение предварительных договоренностей о перечне и содержании первоочередных мер по реализации проекта с каждой из стран – участниц проекта.	Польша
4	<u>Четвертый этап</u> Проведение согласованного комплекса исследований и разработок с участием государственных, общественных и частных организаций в целях: 4.1 анализа правоприменительной практики, уточнения и согласования нормативно-правовой базы (прежде всего, в вопросах опыта внедрения НДТ) стран – участниц проекта; 4.2 обоснования базового перечня НДТ для реализации отдельных направлений и проекта в целом; 4.3 подготовка дополнительных исходных данных, необходимых для принятия решений о целесообразности реализации проекта на политическом уровне стран-участниц проекта.	Россия Литва
5	<u>Пятый этап</u> Заключение межправительственных соглашений между странами, выразившими готовность принять участие в проекте.	Латвия
6	<u>Шестой этап</u> Обоснование мер по обеспечению общественного контроля за реализацией достигнутых межправительственных соглашений и их выполнение.	Эстония
7	<u>Седьмой этап</u> Разработка предложений по уточнению заключенных по проекту «Чистая Балтика-2» межправительственных соглашений, принятии дополнительных соглашений и подготовка новых межправительственных соглашений с учетом вновь возникших обстоятельств и опыта внедрения НДТ государственными, общественными и частными организациями.	Финляндия Швеция

Примечание к таблице 2: 1. Указанные этапы носят несколько условный характер, а сам процесс подготовки соглашений является по сути, итерационным. К примеру, мероприятия по п. 1 и п. 7 должны проводиться практически непрерывно. 2. Приведенный перечень потенциальных стран-участниц не является окончательным ни для проекта «Чистая Балтика-2», ни для других аналогичных проектов и может быть расширен. Более того, в планировании и решении подобных проблем не исключается, а только приветствуется участие наднациональных структур, таких как Евросоюз и Таможенный Союз.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

деления приоритетности использования НДТ при решении наиболее значимых практических задач экологического характера.

3. Разработка методик оценки НДТ при решении практических задач экологического характера. Здесь, в числе прочих, необходимо разработать методику оценки реализуемости НДТ при решении указанных задач с учетом экологических ограничений, учета располагаемого кадрового потенциала и т.д. и т.п.

При планировании и решении наиболее значимых практических проблем в рассматриваемой предметной области, где недостаточно располагаемых ресурсов одной страны, например, для завершения уничтожения отравляющих и других опасных веществ в акватории Балтийского моря (проект «Чистая Балтика-2»), представляется необходимым согласование усилий ряда стран для эффективного решения общей, значимой для всех проблемы.

Как уже отмечалось, в целях разработки основы в виде исходных данных для принятия решения на политическом уровне Россия и заинтересованные страны (в рассматриваемом случае – имеющие выход к Балтийскому морю) согласовывают и уточняют научно-методический аппарат и проводят необходимые исследования.

Полученные результаты исследований рассматриваются и утверждаются органами государственной власти заинтересованных стран, в том числе России (или руководством Евросо-

юза и России), с целью принятия дополнительных соответствующих межправительственных соглашений для решения наиболее значимых проблем экологического характера.

Решение экологических проблем с использованием НДТ имеет для нашей страны безусловную новизну, так как НДТ в России только начинают внедряться.

Таким образом, при планировании совместных работ на наднациональном уровне по экологической тематике необходимо предусмотреть разработку научно-методического аппарата оценки НДТ для реализации международных проектов, согласованного с субъектами международного права, планирующих в данных проектах свое участие, а также проведение комплекса мероприятий для контроля исполнения принятых решений в рассматриваемой предметной области.

### Литература

1. Федеральный закон от 21.07.2014 года №219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации».

2. Наилучшие доступные технологии. Применение в различных отраслях промышленности / Сборник статей. Ч. 2 / Под ред. Д.О. Скобелева. М.: «Перо», 2015. 180 с.

3. Иванушкин С.В. Использование наилучших доступных технологий при решении приоритетных экологических проблем на наднациональном уровне / Сборник трудов Института инженерной физики. Серпухов, 2014-2015.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 681.5; 617

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ БИОМЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ INTELLIGENT BIOMECHATRONIC SYSTEMS

#### Евгений Михайлович Ананьев

*кандидат технических наук*

Первый Вице-президент Института –  
Первый заместитель генерального директора  
МОУ «ИИФ»

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

#### Иван Дмитриевич Грачёв

*изобретатель СССР*

*доктор экономических наук,  
кандидат физико-математических наук*

член Комитета Государственной Думы  
по энергетике

Адрес: 103265, Москва, Охотный ряд, д. 1  
E-mail: stateduma@duma.gov.ru

#### Олег Петрович Скопцов

*изобретатель СССР*

генеральный директор  
ООО «Цифра 101»

Адрес: 129085, Москва, пр-т Мира, д. 101, стр. 2  
E-mail: oleg.skoptsev@gmail.com

#### Игорь Александрович Бугаков

*заслуженный изобретатель РФ  
доктор технических наук, профессор*

Вице-президент Института  
по инновационным проектам  
МОУ «ИИФ»

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

#### Вячеслав Николаевич Дегтярёв

председатель межрегионального  
общественного фонда «Содействие»

Адрес: 142283, Московская обл.,  
Серпуховский р-н, п. Большевик,  
ул. Ленина, д. 104  
E-mail: asv-project@mail.ru

#### Алексей Николаевич Царьков

*заслуженный деятель науки РФ  
доктор технических наук, профессор*

Президент – Председатель Правления Института  
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская область, г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: iifrfinfo@gmail.com

#### Аннотация

Проект направлен на решение проблемы реализации мотивационного управления интеллектуальными биомехатронными системами – ИБМС (системы реабилитации, протезы, применяемые в различных условиях автономные системы для силовых структур, МЧС, Росатома и др.), существенно расширяющего возможности как управляющего ими человека (оператора, пациента), так и возможности самих систем при их полностью или частично автономном функционировании и базирующегося на идеях функциональной системы П.К. Анохина.

**Ключевые слова:** интеллектуальные биомехатронные системы, мотивационное управление, функциональная система, паттерны ЭЭГ, прямая и обратная афферентация, протез, экзоскелет, робот, обучение, моторный опыт, сенсоры, миорецепторы, ассоциативный процессинг, синтезатор речи, пополняемый словарь.

#### Summary

The project aims to solve the implementation of motivational management of intellectual biomechatronic systems – IBMS (rehabilitation, prostheses, used in various Autonomous systems for law enforcement agencies, EMERCOM, Rosatom, etc.) that greatly extends the capabilities of managing them as human (operator, patient) and the capabilities of the systems when they are fully or partially Autonomous operation and based on the ideas of functional systems P.K. Anokhin.

**Keywords:** intelligent mechatronic systems, motivational management, functional system, EEG patterns, direct and inverse afferentation, prosthesis, exoskeleton, robot, learning, motor experience, sensors, mioreceptors, associative processing, speech synthesizer, replenishable dictionary.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

### Проект 1. Разработка принципов и методов мотивационного управления интеллектуальными биомехатронными системами

#### Краткое содержание проекта

Мотивационное управление позволяет ИБМС совершать сложные двигательные процессы, поведенческие программы с минимальным их осознанным командным сопровождением со стороны мозга человека на основе распознавания ИБМС этого намерения и наличия у нее «генетического» опыта действий, априорно формируемого профессиональным учителем (тренером) в процессе предварительного типового или специализированного (под конкретного человека, оператора) обучения ИБМС в условиях ее будущего применения. Дообучение ИБМС и собственной нервной системы вследствие наличия прямых и обратных связей осуществляет конкретный пользователь.

Вычленение мотивационных побуждений происходит на основе обработки комплекса сигналов: паттернов ЭЭГ (прежде всего, снятых с лобной части головы), сигналов миорецепторов, снимаемых со специфических точек тела пациента, сенсорных сигналов внешней среды. При этом используются оригинальные модели рецептивного, ассоциативного и моторного нейронов, обладающих собственными аппаратами ассоциативной памяти, объединенными в многоуровневую распознающую нейронную сеть, ведущую «диалог» с антропоморфной ассоциативной нейронной сетью, управляющей сочленениями как отдельными функциональными подсистемами ИБМС, в аппараты памяти которых записан моторный опыт тренера в соответствии с его намерениями.

#### Ключевые идеи

1. Идея мотивационного управления и механизм вычленения мотивационного возбуждения. В отличие от традиционных интерфейсов мозг-компьютер (ИМК), с помощью которых сегодня осуществляется выполнение той или иной команды, связанной с реализацией конкретного одномоментного акта (включить-выключить устройство, вывести тот или иной символ на экран, изменить направление движения (например, инвалидной коляски) и др.) при мотивационном управлении выполняются команды на реализацию сложных (составных) действий, связанных с реализацией совокупности одномоментных актов, т.е. с реализацией процесса, волевого участия мозга в котором после формирования паттерна соответствующего желания далее явным образом не требуется (но при сохра-

нении той или иной формы контроля со стороны мозга и возможности оперативно вмешаться в ход реализации процесса в случае изменения мотива или в случае, если процесс пошел «не туда»). То есть речь идет об управлении, при котором не требуется представление и контроль мозгом рутинных операций, «самостоятельно» исполняемых актуаторами машины. Учитывая, что такое исполнение только под силу интеллектуальной системе, способной «самостоятельно» выбирать оптимальный путь достижения конечного результата (на что влияет много факторов), то такое управление целесообразно называть мотивационным управлением, вкладывая в это понятие две идеи: идею достаточности для реализации требуемого управления только лишь желания (мотива) человека (в терминах конечной цели) и идею «побуждения» («мотивации») им интеллектуальной машины к достижению поставленной человеком цели.

2. Идея предварительного формирования и последующего тиражирования моторного опыта («мышечной памяти») ИБМС, в том числе для случая реабилитации – передача этого правильного моторного опыта экзоскелета (протеза конечности) пациентам с нарушенной сенсомоторикой (соответствующей травмой).

#### Области применения

Создаваемый в рамках данного проекта научный задел, его оригинальные основные идеи (мотивационное управление, ассоциативный процессинг, предварительное обучение и тиражирование «мышечной памяти») может стать основой для создания в ближайшем будущем широкой «линейки» инновационных ИБМС для сфер протезирования, реабилитации, обучения (людей со здоровыми конечностями профессиональным специализированным движениям), расширения возможностей человека («аватары» и сопровождающие человека роботы), специального применения (беспилотные мобильные системы в различных средах, специальная робототехника и др.).

### Проект 2. Интеллектуальный синтезатор речи для больных ДЦП

#### Краткое содержание проекта

Детский церебральный паралич (ДЦП) с каждым годом становится все более распространенным заболеванием нервной системы детей. При этом более чем у 70% больных ДЦП отмечаются сочетанные двигательные и речевые расстройства как следствие, прежде всего, одновременного органического поражения близлежа-

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

щих корковых и подкорковых речевых и двигательных зон и взаимосвязей между центральными и периферическими структурами нервной системы. Причем наиболее часто в клинической картине этого заболевания представлены разной степени тяжести симптомы дизартрии – нарушения произносительной стороны речи, вызванные патологической иннервацией мышц речевого аппарата.

Предполагается, что создание искусственных цепей прямой и обратной афферентации через активное внешнее устройство – интеллектуальный синтезатор речи (ИСР), позволит не только улучшить воспроизводимость речи, но и сможет оказать реабилитационное воздействие на больного. Методологическая основа проекта – теория функциональной системы П.К. Анохина, ключевые идеи которой, к сожалению, пока в полной мере так и не освоены.

Синтезатор речи будет представлять собой систему анализа (анализатор) электроэнцефалограмм (ЭЭГ) высокого разрешения речевой зоны коры (распознающую команды управления для синтеза и воспроизведения речевых единиц, хранимых в пополняемом словаре синтезатора речи), сигналы которой преобразуются в сигналы стимуляции мышц артикуляторного аппарата (сигналы прямой афферентации) через стимуляцию моторной артикуляторной зоны коры, а регистрируемые системой миорецепторов мышечные сигналы (сигналы обратной афферентации) «учителя» (см. далее) используются для коррекции состояния мышц артикуляторного аппарата пациента.

Для повышения качества распознавания ЭЭГ может использоваться дополнительное четкое мысленное проговаривание пациентом желаемой фразы, которая потом трансформируется в ИСР в искусственную речь и (или) текст на экране этого носимого индивидуального устройства. Предварительно ИСР проходит обучение (формируется словарь ИСР), на начальном этапе которого в его память записываются снимаемые с головы «учителя» (че-

ловека с нормальными функциями) паттерны ЭЭГ и соответствующие им слова, проговариваемые (представляемые) читающим текст (словарь слов) человеком. Далее ИСР учится распознавать «словесные» паттерны ЭЭГ: сначала этого учителя, а затем конкретного пациента, что уточняет и расширяет словарь (в том числе его возможности по связке слов). Комплексная обработка сигналов ЭЭГ с нескольких участков (зон) головного мозга, имеющих отношение к пониманию и воспроизводству речи, а также снимаемых с помощью миорецепторов сигналов мышечного артикуляторного аппарата позволит увеличить идентификационные и реабилитационные возможности.

### Области применения

Протезирование и реабилитация больных ДЦП с нарушениями речевой функции. Реабилитация пациентов после инсультов, других заболеваний, черепно-мозговых травм.

### Литература

1. Анохин П. К. Философские аспекты теории функциональной системы. Избранные труды. М.: Наука, 1978. 399 с.
2. Ананьев Е.М., Бугаков И.А., Грачёв И.Д., Дегтярёв В.Н., Скопцов О.П., Царьков А.Н. Антропоморфные интеллектуальные протезы конечностей основе парадигмы функциональной системы П.К. Анохина // Сборник научных трудов Института инженерной физики за 2014-2015 гг. Серпухов: МОУ «ИИФ», 2015. С. 47-56.
3. Бугаков И.А., Грачёв И.Д., Дегтярёв В.Н., Скопцов О.П., Царьков А.Н. Мотивационное управление техническими средствами реабилитации с использованием паттернов электроэнцефалограмм // Сборник научных трудов Института инженерной физики за 2014-2015 гг. Серпухов: МОУ «ИИФ», 2015. С. 116-126.
4. Скопцов О.П. Парадигма функциональной системы П.К. Анохина // Сборник научных трудов Института инженерной физики за 2014-2015 гг. Серпухов: МОУ «ИИФ», 2015. С. 219-235.
5. Бугаков И.А. Сознание, искусственный интеллект и принцип минимальности // Сборник научных трудов Института инженерной физики за 2014-2015 гг. Серпухов: МОУ «ИИФ», 2015. С. 69-108.

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.642.02

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПО ТОЛЩИНЕ СТЕНКИ МЕТАЛЛА БАЛЛОНОВ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

### THE INVESTIGATION OF THE STRENGTH PROPERTIES OF THE WALL THICKNESS OF THE METAL CYLINDERS LARGE VOLUME

#### Алексей Геннадьевич Попов

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

начальник управления прочностных  
исследований и технической диагностики  
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)12-80-04

#### Николай Дмитриевич Спорыхин

начальник лаборатории  
неразрушающего контроля  
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл. г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)12-80-04

#### Михаил Юрьевич Авилов

заместитель начальника управления  
прочностных исследований и технической  
диагностики  
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл. г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)12-80-04

#### Евгений Владимирович Бородай

специалист 2 уровня лаборатории  
неразрушающего контроля  
и технической диагностики  
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл. г. Серпухов,  
Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(4967)12-80-04

#### Аннотация

В статье проведено исследование распределения прочностных свойств по толщине стенки металла баллонов большого объема. Рассмотрены режимы термообработки и результаты измерения твердости по толщине стенки металла баллонов из сталей.

**Ключевые слова:** прочностные свойства, толщина стенки металла, баллон, термообработка, твердость.

#### Summary

The article investigated the distribution of the strength properties of the wall thickness of the metal cylinders of large volume. Heat treatment regimes are considered and the results of measuring the hardness of the wall thickness of the metal steel cylinders.

**Keywords:** mechanical properties, the wall thickness of the metal cylinder, heat treatment, hardness.

С введением в действие в 2014 году Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности [1] повышается ответственность проведения экспертизы промышленной безопасности в целях продления срока службы баллонов свыше 20 лет, так как она может проводиться на баллонах объемом более 50 литров с высоким уровнем запасенной энергии сжатых газов.

В соответствии с РД 03-421-01 [2], РД 14-001-99 [3] обязательным элементом при диагностировании технического состояния баллонов с целью определения остаточного срока службы, является измерение твердости металла с последу-

ющим определением временного сопротивления и предела текучести по корреляционным зависимостям, например, ГОСТ 22761-77 [4], РД ЭО 0027-2005 [5].

Баллоны, как объекты диагностики, характеризуются возможностью одностороннего доступа только к внешней поверхности при проведении твердомерии и прочностные характеристики в точке измерений определяются по измеренной на наружной поверхности твердости металла баллона.

Вместе с тем, в результате термической обработки возможно изменение прочностных свойств металла по толщине стенки баллона.

Целью настоящей работы являлось исследование распределения твердости и прочностных свойств по толщине стенки металла баллонов.

В связи с невозможностью изготовления образцов, соответствующих разным уровням по толщине стенки металла баллонов, метод прямых измерений прочности по ГОСТ 1497-84 [6] не применим. Поэтому при проведении исследования использовался метод твердомерии.

Исследованию подвергался металл баллонов объемом 100 литров, находившихся в эксплуатации более 30 лет: • рабочее давление 24,5 МПа по ГОСТ 9731-79 [7], изготовлены из стали Д и 38ХА, номинальная толщина стенки 18,7 и 12,7 мм. соответственно; • рабочее давление 39,2 МПа по ГОСТ 12247-80 [8] изготовлены из стали 38ХА, номинальная толщина стенки 19,6 мм.

Образцы для исследования распределения твердости по толщине стенки баллонов вырезались механической пилой ленточного типа при выполнении условий, исключающих изменение механических свойств металла. Торцевая поверхность образцов (по толщине стенки баллонов) зашлифовывалась до чистоты с Ra менее 2,5 мкм, что давало возможность получения четких отпечатков шарика при измерениях твердости.

Измерения твердости производились методом Бринелля по ГОСТ 9012-59 [9] стационарным твердомером HRBV-187,5. Для измерений применялся шарик диаметром 2,5 мм, величина усилия составляла 1839 Н, соответствующее условиям измерений значение  $K=30$ .

Измерения диаметров отпечатка шарика проводились с помощью металлографического микроскопа «Биомед ММР» при увеличении  $100\times$ . Для калибровки микроскопа был использован образец-микрометр ОМ-О, имеющий шкалу 0-1 мм и цену деления 0,001 мм.

В *таблицах 1, 2* приведены результаты измерения твердости по толщине стенки металла баллонов из сталей Д и 38ХА с рабочим давлением 24,5 МПа по ГОСТ 9731-79 [7] и баллонов из стали 38ХА с рабочим давлением 39,2 МПа по ГОСТ 12247-80 [8], а так же соответствующие режимы термообработки.

Из данных, приведенных в *таблице 1* следует, что твердость, следовательно и прочностные характеристики металла баллонов из стали Д однородны по толщине стенки. Разброс измеренной твердости находится в пределах погрешности измерений.

Аналогичная картина наблюдается и для стали 38ХА баллонов с рабочим давлением 24,5 МПа, за исключением единственного баллона с номером 25, *таблица 1*, что вероятно связано с режимом закалки и отпуска.

Измеренная в районе внутренней стенки твердость баллонов из стали 38ХА с рабочим давлением 39,2 МПа в 80% случаев ниже таковой у наружной стенки, что свидетельствует о закономерности снижения прочностных характеристик металла от наружной стенки к внутренней, в отдельных случаях на 20% (баллон 33, *таблица 2*).

Отношение величин твердости,  $HV_5/HV_1$ , измеренных вблизи наружной и внутренней поверхности металла баллонов, как следует из *таблицы 2*, даже при одинаковых условиях термообработки, могут существенно отличаться.

Количественная оценка относительной твердости, в предположении случайного характера величины распределенной по нормальному закону, при доверительной вероятности 0,95 дает  $HV_5/HV_1 = 0,928 \pm 0,045$ .

Следовательно, твердость в районе внутренней стенки металла баллонов из стали 38ХА с рабочим давлением 39,2 МПа с вероятностью 95% не менее 0,883 от измеренной на наружной поверхности. В случае линейной корреляционной зависимости между прочностными характеристиками и твердостью металла аналогичная взаимосвязь имеет место и для прочностных характеристик, которые принимаются в качестве расчетных при оценке технического состояния баллонов.

### Литература

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением.
2. РД 03-421-01. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов/
3. РД 14-001-99. Методические указания по техническому диагностированию и продлению срока службы стальных баллонов, работающих под давлением.
4. ГОСТ 22761-77. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносным твердомером статического действия.
5. РД ЭО 0027-2005. Руководящий документ. Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости.
6. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытания на растяжение.
7. ГОСТ 9731-79. Баллоны стальные бесшовные большого объема для газов на 24,5 МПа (250 кгс/см). Технические условия.
8. ГОСТ 12247-80. Баллоны стальные бесшовные большого объема для газов на 31,4 и 39,2 мпа (320 и 400 кгс/см). Технические условия.
9. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

**Таблица 1**

Режимы термообработки и результаты измерения твердости по толщине стенки металла баллонов из сталей Д и 38ХА с рабочим давлением 24,5 МПа по ГОСТ 9731-79 [7]

Сталь Д							
№ п/п	Режим термообработки	Твердость металла, в точках измерения по толщине стенки баллона, НВ					НВ <sub>5</sub> / НВ <sub>1</sub>
		1	2	3	4	5	
11	Нормализация при 840-860 °С	202 ± 5	202 ± 5	203 ± 7	203 ± 7	203 ± 5	1,005
12	Нормализация при 840-860 °С	209 ± 6	211 ± 5	210 ± 6	212 ± 12	212 ± 11	1,014
13	Нормализация при 840-860 °С	207 ± 10	208 ± 6	207 ± 8	207 ± 7	209 ± 5	1,010
14	Нормализация при 840-860 °С	211 ± 8	206 ± 8	206 ± 7	207 ± 7	201 ± 7	0,953
15	Нормализация при 840-860 °С	208 ± 5	210 ± 12	208 ± 7	212 ± 8	207 ± 5	0,995
16	Нормализация при 840-860 °С	194 ± 7	198 ± 5	199 ± 6	198 ± 8	187 ± 7	0,964
Сталь 38ХА							
№ п/п	Режим термообработки	Твердость металла, в точках измерения по толщине стенки баллона, НВ					НВ <sub>3</sub> / НВ <sub>1</sub>
		1	2	3	4	5	
21	Закалка 930-940°С, отпуск 490-500°С	300 ± 5	304 ± 7	319 ± 6	-	-	1,063
22	Закалка 890°С, отпуск 450-470°С	284 ± 6	283 ± 8	285 ± 5	-	-	1,004
23	Закалка 930-940°С, отпуск 520°С	262 ± 7	262 ± 6	272 ± 7	-	-	1,038
24	Закалка 930-940°С, отпуск 520°С	261 ± 8	261 ± 5	268 ± 6	-	-	1,027
25	Закалка 870-890°С, отпуск 510-530°С	297 ± 7	291 ± 6	263 ± 7	-	-	0,886
26	Закалка 888-890°С, отпуск 510-530°С	279 ± 6	267 ± 9	273 ± 7	-	-	0,978

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

**Таблица 2**

Режимы термообработки и результаты измерения твердости по толщине стенки металла баллонов из стали 38ХА с рабочим давлением 39,2 МПа по ГОСТ 12247-80 [8]

№ п/п	Режим термообработки	Твердость металла, в точках измерения по толщине стенки баллона, НВ					НВ <sub>5</sub> / НВ <sub>1</sub>
		1	2	3	4	5	
31	Закалка 930-940°C, отпуск 490-500°C	252 ± 7	269 ± 10	279 ± 7	274 ± 11	271 ± 6	1,080
32	Закалка 870-890°C, отпуск 520-540°C	307 ± 14	299 ± 9	284 ± 12	283 ± 5	274 ± 9	0,892
33	Закалка 880-890°C, отпуск 520-540°C	326 ± 8	298 ± 7	287 ± 6	285 ± 25	262 ± 10	0,804
34	Закалка 880-895°C, отпуск 520-540°C	310 ± 7	297 ± 8	293 ± 7	294 ± 17	265 ± 8	0,855
35	Закалка 870-890°C, отпуск 510-530°C	334 ± 8	309 ± 7	292 ± 8	301 ± 8	307 ± 8	0,919
36	Закалка 870-890°C, отпуск 520-540°C	313 ± 10	286 ± 9	277 ± 8	279 ± 20	281 ± 8	0,898
37	Закалка 870-890°C, отпуск 510-590°C	314 ± 7	298 ± 6	297 ± 7	303 ± 25	290 ± 8	0,924
38	Закалка 880-890°C, отпуск 450-470°C	309 ± 14	274 ± 10	267 ± 9	260 ± 11	251 ± 8	0,812
39	Закалка 875-890°C, отпуск 520-540°C	285 ± 7	282 ± 5	276 ± 10	285 ± 10	277 ± 9	0,972
310	Закалка 870-890°C, отпуск 525-540°C	309 ± 6	285 ± 5	273 ± 7	274 ± 8	276 ± 6	0,893
311	Закалка 880-890°C, отпуск 520-540°C	301 ± 8	272 ± 9	269 ± 5	257 ± 7	248 ± 8	0,824
312	Закалка 880-890°C, отпуск 520-540°C	328 ± 7	307 ± 8	311 ± 6	317 ± 8	326 ± 10	0,994
313	Закалка 880-890°C, отпуск 520-540°C	311 ± 10	272 ± 8	262 ± 6	265 ± 7	253 ± 7	0,814
314	Закалка 870-890°C, отпуск 520-540°C	301 ± 7	287 ± 9	286 ± 9	298 ± 8	286 ± 7	0,950
315	Закалка 880-890°C, отпуск 530-540°C	280 ± 6	282 ± 5	293 ± 7	291 ± 7	311 ± 6	1,111
316	Закалка 880-890°C, отпуск 530-540°C	266 ± 8	256 ± 7	257 ± 10	259 ± 8	272 ± 7	1,023
317	Закалка 880-890°C, отпуск 520-540°C	317 ± 6	304 ± 5	295 ± 7	306 ± 8	312 ± 8	0,984
318	Закалка 880-885°C, отпуск 520-540°C	325 ± 9	303 ± 6	304 ± 6	313 ± 7	313 ± 8	0,963

УДК 378

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

### METHODS OF ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF E-LEARNING FOREIGN STUDENTS WITH USING DISTANCE LEARNING TECHNOLOGIES

**Николай Михайлович Емелин**

*заслуженный деятель науки и техники РСФСР  
доктор технических наук, профессор  
заместитель директора по научной работе  
ФГБНУ «Госметодцентр»  
Адрес: 115998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51  
Тел.: +7(499)706-81-24*

**Людмила Леонидовна Талиманчук**

*кандидат технических наук  
старший научный сотрудник  
ФГБНУ «Госметодцентр»  
Адрес: 115998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51  
Тел.: +7(499)706-81-25*

#### Аннотация

В статье приводится анализ состояния электронного обучения иностранных студентов с применением дистанционных образовательных технологий и его материально-технической базы. Предлагается иерархическая система показателей для оценки эффективности электронного обучения и методика ее проведения.

**Ключевые слова:** электронное обучение, дистанционные образовательные технологии, показатели эффективности, методика.

#### Summary

The article presents analysis of the e-learning of foreign students using distance learning technologies and material-technical base. It is proposed a hierarchical system of indicators for assessing the effectiveness of e-learning methodology and its implementation.

**Keywords:** e-learning, distance education technologies, performance indicators, methodology.

Применение современных образовательных технологий в условиях реформирования системы подготовки специалистов и повышения ее конкурентоспособности таких, как дистанционные образовательные технологии (ДОТ), несомненно, требует проведения оценки его эффективности.

Проведенный анализ состояния электронного обучения (ЭО) иностранных студентов с применением ДОТ после его легализации в России [1] показывает, что в государственных вузах ЭО с применением ДОТ развивается и имеет большие перспективы [2]. Электронное обучение иностранных студентов с применением ДОТ осуществляется по очной, очно-заочной и заочной формам обучения, включая образование по программам бакалавриата, магистратуры, аспирантуры, довузовскую подготовку и дополнительное образование. Только высшее профессиональное образование реализуется в 45,55% вузов от общего числа, использующих ЭО с применением ДОТ для обучения иностранных студен-

тов, образовательную деятельность по образовательным программам среднего профессионального образования осуществляют в 7,9%. Только дополнительное образование предоставляют 4,95% вузов. Одновременно подготовка абитуриентов, высшее профессиональное образование и дополнительное образование осуществляется в 29,7% вузах, а также подготовка научно-педагогических кадров (аспирантура) – в 9,9%. При этом заочная форма обучения с использованием ДО составляет 51,48% от общего числа вузов, реализующих дистанционное обучение иностранных студентов. Далее в процентном отношении следует комплексное использование очно-заочного и заочного обучения – 31,68%, на третьем месте только использование очных форм – 5,94%, по 4,95% приходится на использование дистанционных технологий при очно-заочных формах и комплексе очного, очно-заочного и заочного обучения, и 1% – на вузы, использующие все вариации форм.

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Материально-техническая база ЭО с применением ДОТ вузов представлена, в основном, специализированными аппаратно-программными средствами и оборудованием – 16,8%, специальным программном обеспечением – 14,85 %, видео, аудио и мультимедиа студиями – 21,78%, телекоммуникационными центрами – 25,74%, центрами дистанционных образовательных технологий – 7,92%, лабораториями заочного и дистанционного обучения – 8,9%, компьютерными классами, оснащенными мультимедийным оборудованием и выходом в Интернет – 7,92%, периферийным оборудованием (веб-камеры, графические планшеты, программируемые конструкторы и т.д.) – 7,92% .

Широкое применение находят сетевое обучение, кейс-технологии, аудио и видеоконференции, лектории, видеокурсы, вебинары, технологии удаленного доступа к оборудованию, комбинированные схемы (модели) организации образовательного процесса и др. В государственных вузах преобладает ЭО с применением ДОТ с обратной связью, обеспечивая таким образом возможность общения обучающего и обучаемого в режиме виртуального взаимодействия.

Проведенный анализ позволил сориентироваться в сегодняшнем состоянии ЭО иностранных студентов с применением дистанционных образовательных технологий ДОТ в России. Для более детального изучения конъюнктуры рынка российских дистанционных образовательных услуг необходимо проведение оценки эффективности применения ЭО с ДОТ. С этой целью предлагается использовать иерархическую систему показателей, которая включает первичные, нормированные, оценочные и обобщенные (комплексные) показатели, ориентированные на их дальнейшее объединение в виде обобщенного показателя.

**Первичные** (исходные) показатели извлекаются непосредственно из исходных информационных данных, составляют материалы статистического отчетов и отражают различные направления оцениваемого объекта.

**Нормированные** показатели рассчитываются на основе первичных показателей путем приведения их к единой нормативной базе. Нормирование, как правило, производится по отношению к численности определенной категории сотрудников или студентов, а также объемам финансирования или доходам, полученным вузом. Нормированные показатели применимы для сравнения результатов деятельности конкретной категории вузов.

**Оценочные** показатели используются для характеристики состояния групп показателей,

объединенных по выделенному признаку, например, кадровый потенциал, материально-технические ресурсы и др. и позволяют установить уровень, эффективность и качество их использования. В зависимости от методик расчета оценочные показатели могут быть представлены как в виде числового значения, так и в векторной форме, что позволяет использовать их для рейтинговой оценки деятельности вуза по выделенному признаку.

**Обобщенные** (комплексные) показатели используются для всестороннего анализа состояния и различных признаков оцениваемого объекта с целью получения обобщенных оценок. Их формирование осуществляется на базе оценочных показателей, при этом последние рассматриваются как основные факторы, комплексное интегрирование которых позволяет характеризовать вузовскую деятельность в рассматриваемой сфере.

Рассмотренные показатели имеют объективные количественные оценки и на уровне анализа первичной информации разделяются, в соответствии с целями исследования, на группы и блоки, пример которых приведен в *таблице 1*.

Таблица 1

Блоки и группы системы показателей

Блок	Группы (Оценочный показатель)
1. Результативность дистанционного образовательного процесса	Доля приема/выпуска на бакалавриат в общем приеме иностранных студентов. Доля приема/выпуска на магистратуру в общем приеме иностранных студентов. Доля приема/выпуска на специалитет в общем приеме иностранных студентов. Процент дистанционно обученных иностранных студентов с положительным средним баллом.
2. Ресурсное обеспечение	Кадровый потенциал – $Q_1 = Sa_1x_1$ Материально-технический потенциал – $Q_2$ Финансовое обеспечение – $Q_3$ Информационно-методическое обеспечение ДО – $Q_4$

При оценке состояния различных составляющих процесса при ЭО возникает необходимость решения ряда методологических задач, среди них: ● обоснованный выбор составляющих процесса ЭО и критериев их оценки; ● определение базовой единой модели оценки, как состояния системы ЭО, так и степени ее приближенности к целевым ориентирам; ● выявление приорите-

тов ряда критериев оценивания при формировании обобщенной оценки (коэффициент значимости показателя); ● приведение системы показателей к единой системе масштабирования состояния объектов исследования.

С учетом указанных задач предлагается методика определения состояния ЭО в вузах, базирующаяся на комплексном многомерном подходе и заключающаяся в двойном «свертывании» нормированных показателей в один интегральный, характеризующий состояние системы и включающий информацию обо всех первичных показателях одновременно.

Методика определяет следующую последовательность оценки эффективности ЭО с применением ДОТ: 1. Разработка системы показателей, соответствующих решению поставленных задач. 2. Дифференциация показателей в группы и блоки согласно направлениям исследований и схемам факторной оценки. 3. Нормирование первичных показателей. Эта операция осуществляется с целью приведения значений первичных показателей к единой шкале масштабирования и возможности проведения сравнительных оценок. 4. Формирование оценочных показателей (критериев) по направлениям исследования (группам). 1-я группа

$$O_1 = \alpha_{11}x_{11} + \alpha_{12}x_{12} + \dots + \alpha_{1l}x_{1l} = \sum_1^l \alpha_{1i}x_{1i},$$

2-я группа

$$O_2 = \alpha_{21}x_{21} + \alpha_{22}x_{22} + \dots + \alpha_{2m}x_{2m} = \sum_1^m \alpha_{2i}x_{2i},$$

K-я группа

$$O_k = \alpha_{k1}x_{k1} + \alpha_{k2}x_{k2} + \dots + \alpha_{ks}x_{ks} = \sum_1^s \alpha_{ki}x_{ki}, \quad (1)$$

где  $O_1, O_2, \dots, O_k$  – оценочные показатели группы;  $x_{k,i}$  – нормированные показатели;  $\alpha_{k,i}$  – весовые коэффициенты.

Для получения обобщенной оценки по направлению исследования вычисляется значение обобщенного оценочного показателя группы, представляющего собой линейную свертку нормированных показателей. Параметры свертки  $\alpha_{k,i}$  могут быть рассчитаны методом Делфи или по компонентам собственного вектора, соответствующего максимальному собственному значению  $\lambda_{max}$ , корреляционной матрицы информационного массива [3].

5. Определение обобщенных показателей по основным блокам оценивания состояния ЭО вуза (результативность дистанционного образовательного процесса, ресурсная обеспеченность и др.).

Обобщенные показатели вычисляются по значениям оценочных показателей групп путем их линейной свертки.

$$P_n = \sum_j^k \beta_{nj} O_{nj} = \sum_j^k \beta_{nj} \sum_1^s \alpha_{ki} x_{ki}. \quad (2)$$

Для вычисления весовых коэффициентов  $\beta_{nj}$  используются подходы, аналогичные вычислению параметров  $\alpha_{k,i}$ .

6. Оценка состояния ЭО в вузах по обобщенным и оценочным показателям и составление рейтинга. Для расчета рейтинга использован гибкий вычислительный алгоритм, реализующий возможности многомерного сравнительного анализа (сопоставление по широкому спектру показателей результатов процесса). Суть такого подхода заключается в установлении эвклидовых расстояний, что позволяет учитывать не только абсолютные значения используемых показателей процесса каждого вуза, но и определять степень их приближенности к целевым ориентирам [4, 5]. Это даст возможность проводить количественную оценку влияния управленческих решений и других воздействий на состояние ЭО. Общий рейтинг вуза определяется соотношением:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}, \quad (3)$$

где  $R$  – рейтинг вуза;  $r_i$  – место  $i$ -го фактора;  $n$  – число факторов.

7. Оценка эффективности ЭО иностранных студентов. Оценка эффективности может проводиться как в рамках выделенного критерия, так и состояния ЭО в целом. Величиной, характеризующей состояние выделенного критерия, является коэффициент эффективности:

$$K_{эф}^{(i)} = \frac{B_{(i)}}{E_{(i)}}, \quad (4)$$

где  $K_{эф}^{(i)}$  – коэффициент эффективности по  $i$ -ой составляющей ДО;  $B_{(i)}$  – результативность  $i$ -ой составляющей;  $E_{(i)}$  – суммарный ресурс  $i$ -ой составляющей.

Основным достоинством применяемой методики является возможность оценки групп разнородных факторов, на базе которых осуществляется оценка эффективности электронного обучения иностранных студентов с применением дистанционных образовательных технологий.

### Литература

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 31.12.2014) «Об образовании в Российской Федерации».
2. Мониторинг состояния дистанционного обучения в российских университетах, осуществляющих подготовку иностранных студентов // Отчет о НИР ФГБНУ «Госметодцентр», рук. Шведова Е.А. М.: 2013. 286 с.
3. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. М.: Финансы и статистика, 1983. 471 с.
4. Баканов М.И., Мельник М.В., Шерemet А.Д. Теория экономического анализа. Учебник / Под ред. М.И. Баканова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика; 2005. 536 с.
5. Блаженков В.В., Емелин Н.М., Голодкова О.В. Кластерный анализ инновационной деятельности российских вузов // Известия Института инженерной физики, 2014, № 4(34). С. 94-98.

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 378.14: 006

### ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И АКТУАЛИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ В ВУЗЕ

### PROBLEMS OF DEVELOPING AND MAINTAINING BASIC EDUCATIONAL PROGRAMS IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION

#### Олег Николаевич Андрух

*кандидат технических наук, доцент*

заместитель генерального директора  
по научно-методической работе  
МОУ «ИИФ»

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

#### Марфа Геннадьевна Заводчикова

*вице-президент*

МОУ «ИИФ»

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

#### Владимир Викторович Коновалов

*доктор экономических наук, профессор*

ведущий научный сотрудник

МОУ «ИИФ»

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

В статье проанализированы основные требования к учебно-методическому обеспечению в сфере высшего образования, причины несвоевременной разработки и актуализации учебно-методических комплексов дисциплин. Представлен комплекс обоснованных мер, направленных на упорядочение процесса формирования федерального образовательного стандарта высшего образования, основной образовательной программы и учебно-методического комплекса дисциплины.

In article the main requirements to educational methodically providing in the sphere of the higher education, reason of untimely development and updating of educational and methodical complexes of disciplines are analysed. The complex of the reasonable measures directed on streamlining of process of formation of the federal educational standard of the higher education, main educational program and educational and methodical complex of discipline is presented.

**Ключевые слова:** основная образовательная программа, профессиональный стандарт, стандартизация, учебно-методический комплекс, федеральный государственный образовательный стандарт.

**Keywords:** main educational program, professional standard, standardization, educational and methodical complex, federal state educational standard.

Роль учебно-методического обеспечения в образовательном процессе имеет огромное значение. В современных условиях учебно-методическое обеспечение в сфере высшего образования становится основой информационно-образовательной среды, способствующей формированию у обучающихся необходимых компетенций для

успешного решения профессиональных задач.

Требования к учебно-методическому обеспечению в сфере высшего образования установлены Федеральным законом №273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», нормативно-правовыми документами Правительства РФ, Министерства образования и науки РФ, по-

ложениями федеральных государственных образовательных стандартов.

Выделим следующие характерные группы требований к учебно-методическому обеспечению.

1. ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» устанавливает принцип информационной открытости образовательной организации. Данный принцип обязывает образовательные учреждения представлять обучаемым в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» свободный доступ к описанию образовательной программы, учебному плану, аннотациям рабочих программ дисциплин, календарному учебному графику, методическим и учебным материалам и т.д. для обеспечения образовательного процесса [13].

2. Стопроцентная обеспеченность учебного процесса учебно-методическими материалами (УММ) по каждой учебной дисциплине [10, 14] (основная и дополнительная литература по дисциплине в соответствии с рабочей программой дисциплины, перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся, фонд оценочных средств по дисциплине и т.д.).

3. Ежегодное обновление основных образовательных программ в части состава дисциплин, установленных вузом в учебном плане, содержания рабочих программ дисциплин, программ практик, методических материалов, обеспечивающих реализацию соответствующей образовательной технологии с учетом развития науки, техники, культуры, экономики, технологий и социальной сферы [5].

Вопросы создания качественного учебно-методического обеспечения широко обсуждаются преподавательским сообществом [2, 3, 4, 15, 17], однако на практике вузам не всегда удается выполнить требования к УММ. Ситуация улучшается в период, предшествующий аккредитации образовательного учреждения, резко ухудшается после утверждения и ввода в действие новых образовательных стандартов и занимает промежуточное положение между этими граничными состояниями в иные времена. И образовательное сообщество [3], и контролирующие организации [12] отмечают, что далеко не всегда преподаватель может представить требуемый комплект учебно-методических материалов по соответствующей дисциплине. Если требования по учебно-методическому обеспечению не выполняются конкретным преподавателем, тогда не выполняются требования по всей иерархической цепочке «преподаватель» – «кафедра» – «факультет» – «вуз».

В чем основные причины такого положения дел? Их несколько.

1. Существенное запаздывание утверждения примерных основных образовательных программ (ПООП) после утверждения и ввода в действие соответствующих федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС).

Примерные программы включают в себя рекомендуемую учебно-методическую документацию (примерный учебный план, примерный календарный учебный график, примерные рабочие программы дисциплин), определяющую рекомендуемые объем и содержание образования определенного уровня и определенной направленности, планируемые результаты освоения образовательной программы, примерные условия образовательной деятельности. Какая огромная помощь могла бы быть предоставлена преподавателям и специалистам для разработки требуемых учебно-методических материалов, если бы ПООП появлялись в нужное время!

Приказ Минобрнауки России от 28.05.2014 №594 [11] регламентирует порядок разработки ПООП, проведения их экспертизы и ведения реестра ПООП (на сайте [fgosreestr.ru](http://fgosreestr.ru)), но не устанавливает никаких сроков разработки примерных программ по отношению к дате утверждения и ввода в действие ФГОС, на основе которого разрабатывается ПООП.

Так, актуализированные ФГОС высшего образования (ВО) массово утверждались в РФ в августе-октябре 2014 года, но ни одной ПООП ВО по состоянию на ноябрь 2015 года не утверждено и на сайте [fgosreestr.ru](http://fgosreestr.ru) не представлено. В результате вузы создают свои варианты основных образовательных программ, потом появляются примерные программы, и вузы (преподаватели, специалисты) начинают перерабатывать свои варианты ООП вновь.

2. Разработку УММ соответствующих уровней осложняет необходимость учета требований профессиональных стандартов (ПС) [6, 7, 8]. Вместо того чтобы разрабатывать ФГОС на основе профстандартов, образовательному сообществу предписывается внести изменения в соответствующие ООП. Анализ сопряженных профстандартов должен выявить важные трудовые функции, не учтенные в ФГОС. Вводится требование придать трудовым функциям статус дополнительных компетенций и обеспечить их формирование, внося требуемые изменения в основную образовательную программу.

В редком случае одному ФГОС соответствует один профессиональный стандарт. Например, анализ материалов [6], устанавливающих при-

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Таблица 1

Примерное соответствие принятых ПС и ФГОС ВО [6]

Сопряженные ФГОС	Наименование профессионального стандарта
27.03.02 «Управление качеством» (Бакалавриат)	40.062 Специалист по качеству продукции 40.060 Специалист по сертификации производства 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции 40.013 Специалист по разработке технологий и программ для оборудования с ЧПУ 40.010 Специалист по автоматизированным системам управления производством 24.024 Специалист по организации спецпроизводства в области атомного флота

мерное соответствие принятых профессиональных стандартов и ФГОС ВО, показывает, что образовательному стандарту 27.03.02 «Управление качеством» соответствует шесть профессиональных стандартов (таблица 1).

Сколько неучтенных важных трудовых функций может выявить анализ этих профессиональных стандартов? В какое разумное количество дополнительных компетенций они могут быть преобразованы? Сколько времени и ресурсов потребуется специалистам для внесения изменений в ООП и для формирования дополнительных компетенций, отсутствующих в ФГОС? Вопросы звучат риторически. Методические рекомендации Минобрнауки России ответов на них не дают.

3. Негативной тенденцией является увеличение аудиторной нагрузки на профессорско-преподавательский состав. Это приводит к перераспределению времени, отводимого на научную и методическую работу. Рост аудиторной нагрузки неизбежно приводит к увеличению количества дисциплин, закрепляемых за преподавателем. Вместо одного учебно-методического комплекса по дисциплине преподаватель сопровождает несколько комплексов. При таком подходе требовать высокое качество разработки и сопровождения учебно-методических материалов сложно.

4. Следующим негативным фактором является чрезмерная либеральность и неопределенность требований ФГОС.

Осуществляется резкое увеличение дисциплин вариативной части и сокращение дисциплин базовой части. Если ФГОС третьего поколения представляли информацию о наименовании дисциплин базовой части, перечне знаний и компетенций, которые они формируют в отношении 50% дисциплин от их общего количества, то в актуализированных ФГОС такая информация представлена только по пяти дис-

циплинам – философии, истории, иностранному языку, безопасности жизнедеятельности, физической культуре. Набор других дисциплин, относящихся к базовой части программы бакалавриата, организация определяет самостоятельно. Наше общество наблюдало примеры того, как развиваются события в условиях отсутствия государственного регулирования – от полного экономического краха в лихие 90-е до чудовищного падения качества профессионального образования. Надеяться на то, что образовательная деятельность станет лучше в условиях отсутствия обязательных требований, не приходится.

ФГОС третьего поколения были основаны на революционном компетентностном подходе, содержали требования к результатам освоения ООП в виде перечня компетенций, но вузам предоставлялась самостоятельность в выборе форм и процедур оценки качества компетенций. Может быть, поэтому преподаватели в основном традиционно оценивали знания, умения и навыки по соответствующим дисциплинам, а не компетенции. В актуализированных ФГОС отдельный раздел «Оценка качества освоения ООП» вообще исключен.

Поскольку подавляющая часть компетенций формируется на основе изучения нескольких дисциплин, разработка современных учебных планов, рабочих программ дисциплин, согласование содержания дисциплин становится задачей со многими неизвестными. И сложности закладываются либеральностью и неопределенностью требований соответствующих ФГОС.

Тем не менее, абсолютно ясно, что разработка и сопровождение соответствующего учебно-методического обеспечения преподавателями и специалистами должна проводиться на высоком уровне. Существующие сложности, недостатки и нестыковки не могут быть оправданием для отсутствия требуемых учебно-методического материалов и документов или их низкого качества.

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Необходимо сформировать и использовать единую терминологическую базу в профессиональных и образовательных стандартах [1]. Так как выпускники вузов получают образование для того, чтобы впоследствии решать профессиональные задачи, основу разработки ФГОС должен составлять профессиональный стандарт или группа взаимосвязанных стандартов. Разрабатываемый ФГОС должен согласовываться с Министерством труда и социальной защиты РФ, а профессиональный стандарт – с Минобрнауки России.

Содержание российских ФГОС ВО по уровню представляемых «свобод» не должно превосходить образовательные стандарты развитых стран. В ФГОС должна быть представлена совокупность обязательных дисциплин базовой части в объеме 30-50% от общего количества дисциплин или резерва времени на освоение образовательной программы. Дисциплины базовой части должны сформировать основу мировоззрения молодого поколения страны. Как могло случиться, что даже такие дисциплины, как математика и физика не вошли в обязательный перечень ФГОС по инженерным направлениям подготовки?

Необходимо обеспечить утверждение и опубликование примерных основных образовательных программ до ввода в действие соответствующего ФГОС, тем более что разработчик и ФГОС, и ООП – один и тот же. Вузы считают престижным отвечать за разработку ФГОС, следовательно, престижной может быть и своевременная разработка примерной программы.

Если мы хотим повысить качество профессионального образования вообще, и качество учебно-методического обеспечения в частности, следует изучить данные по аудиторной нагрузке профессорско-преподавательского состава развитых стран и стремиться к уменьшению аудиторной нагрузки в вузах страны. Что значит 800-900 часов аудиторной нагрузки в год на преподавателя вуза [9]? Для стандартных вузовских 36 недель – это ежедневно 4,5-5,5 аудиторных часа пять раз в неделю. Когда преподавателю заниматься подготовкой к следующим занятиям, саморазвитием, воспитательной, научной и методической работой? Пока законодательно этот вопрос не решен, на уровне вуза следует провести градацию аудиторной нагрузки по уровням квалификации «преподаватель» – «доцент» – «профессор». Если в основном профессора создают учебники и учебные пособия, как можно уравнивать их аудиторную нагрузку с нагрузкой преподавателей?

Требования руководящих документов по ежегодному пересмотру ООП являются избы-

точными. Ведь пересмотру и согласованию подлежат материалы объемом в сотни, иногда тысячи страниц. Пересмотр структурных элементов ООП может иметь место, но в обоснованных случаях, таких как существенные (кардинальные) изменения профильного законодательства (например, утверждение нового ФГОС, нового профильного профессионального стандарта), выдающиеся достижения в науке, технике, культуре, изменения технологий.

Перспективным направлением является стандартизация алгоритмов разработки (актуализации) учебно-методических материалов на уровне образовательной организации. Основой данной стандартизации могут быть учебно-методические конференции вуза, семинары по обмену опытом, обсуждение профессорско-преподавательским составом процедур разработки (актуализации) учебно-методических материалов.

Комплекс предложенных мер позволит упорядочить процедуру разработки и актуализации документов и материалов основных образовательных программ высшего образования, ориентировать учебно-методическое обеспечение в первую очередь на формирование компетенций будущих специалистов, а не на облегчение контролируемых функций надзорных органов.

### Литература

1. Андрух О.Н. Профессиональные стандарты: прошлое, настоящее, будущее // Известия Института инженерной физики, 2015. №2 (36).С. 73-76.
2. Андрух О.Н., Чадунели М.К. Обоснование требований к методическому обеспечению образовательного процесса технических вузов в современных условиях // Материалы I всероссийской научно-практической конференции «Современное непрерывное образование». Серпухов: МОУ «ИИФ», 2011. С. 182-184.
3. Корчмин С.А., Павлов С.Е. Переработка учебно-методического комплекса в соответствии с ФГОС ВПО третьего поколения – назревшая реальность // Материалы Международной научно-практической конференции, 2014. Рязань: Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина. С. 264-267.
4. Линченко С.Н., Грушко Г.В., Горина И.И. О порядке разработки учебно-методических комплексов по дисциплинам высшего профессионального образования // Современные наукоемкие технологии, 2009. №7. С. 93-94.
5. Письмо Минобрнауки РФ от 13.05.2010 №03-956 «О разработке вузами основных образовательных программ».
6. Письмо Минобрнауки РФ от 06.02.2015 №05-268 «Методические рекомендации по разработке дополнительных профессиональных программ на основе профессиональных стандартов».
7. Письмо Минобрнауки РФ от 22.04.2015 №ВК-1032/06 «Методические рекомендации-разъяснения по актуализации действующих ФГОС ВО с учетом принимаемых профессиональных стандартов».
8. Письмо Минобрнауки РФ от 22.01.2015 №ДЛ-

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

2/05вн «Методические рекомендации по актуализации действующих федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования с учетом принимаемых профессиональных стандартов».

9. Приказ Минобрнауки России от 22.12.2014 №1601 «О продолжительности рабочего времени (нормах часов педагогической работы за ставку заработной платы) педагогических работников и о порядке определения учебной нагрузки педагогических работников, оговариваемой в трудовом договоре».

10. Приказ Минобрнауки России от 19.12.2013 №1367 (ред. от 15.01.2015) «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам ВО - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры».

11. Приказ Минобрнауки России от 28.05.2014 №594 (ред. от 09.04.2015) «Об утверждении Порядка разработки примерных основных образовательных программ, проведения их экспертизы и ведения реестра примерных основных образовательных программ».

12. Письмо Рособрнадзора от 25.03.2015 №07-675 «Методические рекомендации представления информации об образовательной организации в открытых источниках с учетом соблюдения требований законо-

дательства в сфере образования (для образовательных организаций высшего образования)».

13. Постановление Правительства РФ от 10.07.2013 №582 (ред. от 20.10.2015) «Об утверждении Правил размещения на официальном сайте образовательной организации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и обновления информации об образовательной организации».

14. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.11.2013 №1039 (в ред. от 09.09.2015 №953) «О государственной аккредитации образовательной деятельности».

15. Савина А.Г., Блок А.В. Формирование структуры и содержания учебно-методических комплексов дисциплин в соответствии с требованиями ФГОС // Фундаментальные исследования, 2014. №5. С. 1092-1098.

16. Федеральный закон от 29.12.2012 №273-ФЗ (с изм. от 02.05.2015) «Об образовании в Российской Федерации».

17. Чадунели М.К. Сравнительная характеристика методического обеспечения образовательного процесса в гражданских и военных вузах// Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве». Серпухов, 2010. С. 218-220.

## МОУ «ИИФ»: ОСНОВНЫЕ ИТОГИ 2015 ГОДА

Институт принимал участие в крупнейших международных выставках, конференциях, презентациях. Наши ученые представляли инновационные разработки руководителям силовых структур и гражданских ведомств с целью продвижения инновационных технологий для военных и гражданских нужд. Институт расширял кооперационные связи и приобретал новых деловых партнеров и заказчиков, участвовал в реализации федеральных целевых программ.

В Климовске на полигоне ЦНИИ точного машиностроения Президент России В.В. Путин высоко оценил работу робота-андроида, экипировку которого с целью предотвращения промерзания основных узлов и деталей и обеспечения стабильной работы в условиях низких температур разработали ученые нашего Института.



Институт был участником и официальным партнером Международного салона «Комплексная безопасность – 2015». Посетителей выставочной площадки Института особенно заинтересовала линейка новых периметровых охранных извещателей серии «Траверс».

МОУ «ИИФ» стал официальным партнером и активным участником Международного военно-технического форума «Армия – 2015», на котором представил инновационные решения по разным направлениям: навигация, военная медицина, система жизнеобеспечения военнослужащих на основе систем локального обогрева, инновации в области модернизации стрелкового оружия, охранные извещатели нового поколения, сборно-разборные огневые сооружения, светопрозрачные бронированные конструкции, механические устройства защиты от несанкционированного доступа и др.

На Международной выставке «День инноваций МО РФ – 2015» Институт представлял свои инновационные разработки. Особый интерес вызвали перспективные разработки в области

медицины: инновационные лекарственные препараты двойного назначения. В Институте создана уникальная лаборатория медико-биологических исследований для отработки технологий получения полифункциональных лекарственных препаратов, организации опытного производства и испытаний.

Институт принял активное участие в научно-практической школе-конференции «Аллергология и клиническая иммунология» и, традиционно, в XIX Международной выставке «Интерполитех – 2015».

Постоянно расширяется спектр и качество услуг, которые оказывает Институт населению и организациям. Наряду с телефонией, Интернетом, системами теле-, видеонаблюдения, охранно-пожарных сигнализаций, сертификации программных комплексов, аттестации объектов информатизации, Институт привлекает все больше клиентов, которым предоставляются услуги спутникового ГЛОНАСС/GPS контроля, а также IP-телевидения. Успешно работает электролаборатория Института.

В 2015 году исполнилось 15 лет с момента создания на базе Института образовательного холдинга и 10-летие выпуска первых инженеров. Студенты вузов на базе Института: Учебного центра «Интеграция» МАИ, базовой кафедры Университета машиностроения (МАМИ), Института информационных технологий и управления, достигают больших успехов в научно-исследовательской работе, учебе, спорте. Пять выпускников аспирантуры защитили кандидатские диссертации.

МОУ «ИИФ» выступил организатором многих социально значимых мероприятий. Институт принял активное участие в патриотических мероприятиях, посвященных 70-летию Великой Победы, в организации установки памятника Святому Варлааму в микрорайоне Владычная слобода, взял шефство над малым ракетным кораблем, носящим имя нашего города – «Серпухов».

Профессиональный, сплоченный коллектив позволяет Институту достигать весомых результатов, успехов в деле укрепления обороноспособности нашей страны.



## AUTHORS

**Alexey I. Alatorsev.** Cand.Tech.Sci., senior scientist. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Eugeniy M. Ananiev.** Cand.Tech.Sci. First vice-president, first general director deputy. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

**Oleg N. Andruh.** Cand.Tech.Sci., docent. General director deputy. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

**Mikhail Y. Avilov.** Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

**Arnoldo Badillo.** PhD. Research scientist of Paul Scherrer Institute. Villigen PSI, Switzerland

**Igor D. Bonkin.** Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

**Eugeniy V. Boroday.** Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

**Igor A. Bugakov.** Dr.Sci.Tech., professor. Honoured devisor of Russia. Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

**Alexey A. Burmistrov.** Scientist. Branch of the Military academy of the Strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Nikolay V. Degtyarev.** Chairman of the interregional public fund "Assistance". Moscow reg., Serpukhov district, Bolshevik, Lenina st., 104.

**Akop I. Dzhelaukhian.** Adjunct. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Nikolay M. Emelin.** Honoured scientist of RSFSR, Dr.Sci.Tech., professor. Federal state scientific institution "Gosmetodcentr". Moscow, Lusinovskaya st., 51.

**Alexander I. Fomin.** Lecturer. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

**Andrey N. Furov.** Cand.Tech.Sci. Lecturer. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Ivan D. Grachev.** Dr.Sci.Econ., Candidate of physical and mathematical sciences. Member of the State Duma Committee on Energy. Moscow, Okhotny Ryad st., 1.

**Ekaterina S. Gress.** Postgraduate student. Moscow Aviation Institute (National research University). Moscow, Volokolamskoye h., 4.

**Dmitriy D. Ivanov.** Scientist. Branch of the Military academy of the Strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Sergey V. Ivanushkin.** Doctor of military sciences. Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

**Alexander V. Karga.** Cand.Tech.Sci. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Eugeniy V. Kolombet.** Junior scientist. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

**Valeriy A. Kolombet.** Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

**Vladimir V. Konovalov.** Doctor of economic sciences, professor. Leading scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

**Alexander A. Kovalskiy.** Senior scientist. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

**Denis A. Koval'kov.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Sergey S. Krylov.** Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Moscow Aviation Institute (National research University). Moscow, Volokolamskoye h., 4.

**Valeriy K. Kurochka.** Honored doctor of Russia, candidate of medical sciences, professor. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

**Vadim N. Lesnykh.** Junior scientist. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

**Eugeniy I. Maevskiy.** Dr.Sci.Tech., professor. Vice-director for research. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

**Andrey N. Mironov.** Dr.Sci.Tech, professor. Mili-



## AUTHORS

tary space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

**Sergey S. Neustroev.** Dr.Sci.Tech, professor. Director. Institute of management education of Russian Academy of Education. Moscow, Makarenko st., 5/16.

**Vladimir Y. Pal'gunov.** Deputy head of educational and methodical department. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

**Alexey V. Pankratov.** Cand.Tech.Sci. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

**Alexander A. Pavlov.** Dr.Sci.Tech., professor. Institute of IT development of education of Russian Academy of Education. Moscow, Pogodinskaya st., 8.

**Viktor E. Petrov.** Cand.Tech.Sci. Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarney l., 1a.

**Alexey G. Popov.** Cand.Tech.Sci., senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarney l., 1a.

**Sergey E. Potapov.** Cand.Tech.Sci. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Sergey N. Riagin.** Doctor of pedagogical sciences. Deputy director on science. Institute of management education of Russian Academy of Education. Moscow, Makarenko st., 5/16.

**Irena V. Robert.** Doctor of pedagogical sciences, academician of the Russian Academy of Education. Head of centre for scientific research. Institute of management education of Russian Academy of Education. Moscow, Makarenko st., 5/16.

**Viatcheslav A. Shevchenko.** Cand.Tech.Sci. Ministry of Defence of the Russian Federation. Moscow.

**Evgeniy A. Shutochkin.** Postgraduate student. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarney l., 1a.

**Oleg P. Skoptsov.** Devisor of USSR. General Director. "Digital 101" ltd. Moscow, Prospect Mira, 101/2.

**Dmitriy V. Smirnov.** Dr.Sci.Tech., associate professor. General director – First Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarney l., 1a.

**Denis Y. Sorokin.** Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarney l., 1a.

**Nikolay D. Sporykhin.** Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarney l., 1a.

**Lioudmila L. Talimanchuk.** Cand.Tech.Sci., senior scientist. Federal state scientific institution "Gosmetodcentr". Moscow, Lusinovskaya st., 51.

**Vasiliy Y. Toiskin.** Cand.Tech.Sci. Lecturer. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Igor S. Toporkov.** Deputy commander of Russian Space Forces on arms. Moscow, Profsoyuznaya st., 84/32.

**Alexey N. Tzar'kov.** Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarney l., 1a.

**Vladimir A. Tsimbal.** Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. Head scientist at Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarney l., 1a.

**Marfa G. Zavodchikova.** Vice-president. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarney l., 1a.

**Vladimir V. Zelenevskiy.** Dr.Sci.Tech, professor. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Yuriy V. Zelenevskiy.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow, Kitaygorodskiy d., 9/5.

**Salavat Kh. Zinnurov.** Postgraduate student. Military space academy in the name of A.F. Mozhaysky. St.-Petersburg, Zhdanovskaya st., 13.

## ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются статьи на русском языке. Рекомендуемый объем статьи – 0,2–0,4 п.л. (8000–16000 знаков).

**Тексты** должны быть представлены:

○ в электронном виде (Word 2003). Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!

○ на бумажном носителе формата А4.

**Текст статьи** должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

**Простые символы и формулы не набирать в математическом редакторе!**

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:

○ рубрика журнала (см. Приложение 1);

○ УДК;

○ название статьи с переводом на английский язык;

○ имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

**Список литературы (Литература)** размещается в конце статьи.

После литературы помещаются:

○ список ключевых слов, краткая аннотация (на русском и английском языках).

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):

○ ФИО;

○ ученая степень, ученое звание, должность и место работы с переводом на английский язык;

○ адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

**Обращаем особое внимание на:**

○ точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);

○ выверенность статьи в компьютерном наборе;

○ полное соответствие файла на электронном носителе (диске, дискете) и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

### Приложение 1

#### РУБРИКАЦИЯ ЖУРНАЛА «Известия Института инженерной физики»

##### Постоянные рубрики

- **Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы.**
- **Радиотехника и связь.**
- **Информатика, вычислительная техника и управление.**

##### Разовые рубрики

- **Техника специального назначения.**
- **Инновационные проекты.**
- **Техническое регулирование.**
- **Профессиональное образование.**
- **Искусственный интеллект и робототехника.**
- **Медицина и фармацевтика.**
- **Диагностические системы.**
- **Научные обзоры. Научные рецензии. Отзывы.**

В соответствии с Решением Межведомственной комиссии РФ по защите государственной тайны №69 от 26 февраля 2001 г., требованиями законов №5485-1 «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г., №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27 июля 2006 г. статьи для публикации принимаются только при наличии экспертного заключения с разрешением на открытое опубликование.



## CONTENTS

### INSTRUMENT MAKING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

**A.V. Karga, D.A. Koval'kov.** The synthesis of optimal control of observation for non stationary multiposition measuring system using functional of generalized works..... 2

**V.A. Kolombet, V.N. Lesnykh E.V. Kolombet.** On the prospects of the fundamental system of triples periods in multiscale technical devices ..... 8

**E.S. Gress, S.S. Krylov.** Functional model of the automated system statistical rating assessment of quality performance..... 12

### RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATIONS

**V.V. Zelenevskiy, A.V. Zelenevskiy, A.I. Dzhelaukhian.** Optimization of parameters of a radio frequency spectral line with VLF-LF band ..... 22

**V.A. Tsimbal, S.E. Potapov, V.Y. Toiskin, E.A. Shutochkin, I.D. Bonkin.** The concept of the use of software-configurable network management for mobile objects..... 25

**A.N. Mironov, V.Y. Pal'gunov, A.A. Kovalskiy.** Mathematical model of achievement of a limit condition of antenna systems of ground stations of a measuring complex of the Plesetsk spaceport ..... 31

**I.S. Toporkov, A.A. Kovalskiy, S.Kh. Zinnurov.** Model and algorithm of management of process of reservation of a resource of a network of satellite communication at service of the diverse non-stationary traffic ..... 37

**V.A. Shevchenko.** The upper limit of the additive bit error probability for binary codes in incoherent communication channels with the metric with the «union of the product» in the presence of a random impulse noise and thermal noise ..... 48

### INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

**A.V. Pankratov, A.I. Fomin.** Features programmable engineering analysis products ..... 55

**S.S. Neustroev, I.V. Robert, S.N. Riagin, A.N. Tsar'kov, D.E. Sorokin, A.A. Pavlov, D.D. Ivanov, A.A. Burmistrov.** Error detection devices store and transfer information ..... 59

**V.E. Petrov, Arnoldo Badillo.** Polynomial chaos expansion for uncertainty quantification of centrifugal pump characteristics ..... 66

**D.V. Smirnov, A.I. Alatortsev, A.R. Furov.** The method for controlling the unmanned aircraft in conditions of external influences of air defense..... 72

**N.M. Emelin.** Information support of monitoring of peer-reviewed scientific publications ..... 75

### MODERN MEDICINE AND PHARMACEUTICS

**E.I. Maevskiy.** Possible causes acute reactogenicity perfluorocarbon emulsion. Part 1. Perftoran ..... 79

**V.K. Kurochka, A.N. Tsar'kov.** Modern condition of medical science in Russia and it's part in the health care system as a part of the science area of the country ..... 88

### INNOVATIVE PROJECTS

**S.V. Ivanushkin.** Rationale for the design and features of the scientific and methodological apparatus evaluation of the best available technologies for the realization of international projects..... 93

**E.M. Ananiev, I.A. Bugakov, I.D. Grachev, N.V. Degtyarev, O.P. Skoptsov, A.N. Tsar'kov.** Intelligent biomedchatronic systems..... 98

### DIAGNOSTIC SYSTEMS

**A.G. Popov, M.Y. Avilov, N.D. Sporykhin.** The investigation of the strength properties of the wall thickness of the metal cylinders large volume ..... 101

### PROFESSIONAL EDUCATION

**N.M. Emelin, L.L. Talimanchuk.** Methods of assessing the effectiveness of e-learning foreign students using distance learning technologies..... 105

**O.N. Andruh, M.G. Zavodchikova, V.V. Konovalov.** Methods of assessing the effectiveness of e-learning foreign students using distance learning technologies... 108

**Events**..... 113

**Authors** ..... 114

**Requirements to authors** ..... 116